

МАССОВЫЕ РАЗМНОЖЕНИЯ СИБИРСКОГО ШЕЛКОПРЯДА В ЛЕСАХ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

Проблема сибирского шелкопряда имеет экономическое, экологическое и социальное значение. Ее решение требует разностороннего подхода к обоснованию эффективной системы лесозащитных мероприятий с учетом как общевидовой специфики массовых размножений этого опасного вредителя, так и особенностей динамики численности его географических популяций. В Приенисейской Сибири циклично повторяющиеся вспышки массового размножения сибирского шелкопряда приводят к глубоким изменениям структуры лесов, разрушению древостоев и даже смене лесных формаций. С 1878 по 1998 гг. в лесах Красноярского края действовали очаги девяти крупномасштабных вспышек массового размножения сибирского шелкопряда на площади свыше 8 млн. га. Наибольший ущерб причинил шелкопряд темнохвойным лесам Ангаро-Енисейского региона в 1954-1957 гг., когда площадь очагов превысила 2.3 млн. га (Кондаков, 1957, 1963). Катастрофические последствия этой вспышки усугублялись опустошительными пожарами в шелкопрядниках (Фурьев, 1966).

Проблема сибирского шелкопряда продолжает оставаться актуальной. В 1989-97 гг. в лесах Красноярского края и Республики Хакасия реализовалась панзональная вспышка массового размножения этого вида. Возникла реальная угроза гибели пихтовых и кедровых лесов на площади свыше 1 млн. га. Для устранения этой угрозы в 1992, 1995-1997 гг. были проведены авиахимические обработки на площади 464 тыс. га. Осенью 1996 г. впервые в практике защиты таежных лесов были проведены авиабактериологические обработки насаждений, заселенных шелкопрядом, на площади 116,2 тыс. га. с применением зарубежных технологий и препаратов.

В основу настоящей работы положены материалы многолетних исследований динамики численности сибирского шелкопряда в лесах Приенисейской Сибири (Красноярский край, Республики Хакасия и

Тыва). С 1954 г. автор имел уникальную возможность не только наблюдать развитие 3-х вспышек массового размножения этого вредителя, но и принимать непосредственное участие в организации и проведении авиалесозащитных мероприятий на площади более 800 тыс. га. Кроме того, были проанализированы многочисленные материалы лесознтомологических обследований, проведенных в лесах Приенисейской Сибири лесопатологами Московской и Брянской специализированных лесоустроительных экспедиций, Красноярской и Абаканской станций защиты леса, Красноярского лесозащитного предприятия.

В проведении экспедиционных и лабораторных работ принимали участие сотрудники Института леса СО РАН, студенты красноярских вузов и работники лесхозов на местах. Всем лицам, оказавшим помощь в работе, выражаю искреннюю благодарность. С чувством особой признательности вспоминаю своего учителя Н.Г. Коломийца, ценными советами и постоянным вниманием которого я пользовался в течение многих лет.

1. Распространение и районы вспышек сибирского шелкопряда в лесах Красноярского края

В лесах бассейна Енисея массовые размножения сибирского шелкопряда отмечались на обширной территории от лиственничников северных отрогов хребта Танну-Ола в Республике Тыва до темнохвойной тайги Западно-Сибирской низменности и Енисейского кряжа.

Северная граница массовых размножений шелкопряда на Обь-Енисейском водоразделе совпадает с северной границей подзоны южной тайги. На восточной окраине Западно-Сибирской низменности очаги шелкопряда проникают в южную часть подзоны средней тайги. Единичные экземпляры бабочек этого вида коконопрядов известны из еще более северных районов (до 63° с. ш.). Эколого-климатическая граница очагового распространения шелкопряда в лесах края определяется теплообеспеченностью в период активного (бездиапаузного) развития шелкопряда, а вероятность возникновения вспышек массового размножения - пространственно-временной изменчивостью условий влагообеспеченности.

Основными факторами модификации численности шелкопряда являются погодные условия вегетационного периода со среднесуточными температурами воздуха выше $+8^{\circ}\text{C}$. Очаги массового размножения возникают в районах, где продолжительность периода от начала сокодвижения березы до конца ее листопада составляет более 150 дней, продолжительность периода с температурой выше 10° не менее месяцев, а термические ресурсы этого периода превышают 1400°C .

Наиболее точно границу очагового распространения сибирского шелкопряда характеризует температурный критерий - средняя многолетняя температура августа $+13,5^{\circ}\text{C}$.

Лимитирующая роль климатических факторов проявляется и в горных лесах юга Красноярского края. Очаги шелкопряда приурочены к нижнему, наиболее теплообеспеченному поясу Саян и Кузнецкого Алатау. Верхний предел очагового распространения сибирского шелкопряда (на абсолютных высотах 800 - 900 м) в горных лесах края ограничивают многолетние показатели суммы активных температур около 1200°C и коэффициент увлажнения (по В.С.Мезенцеву), равный 2,0.

С учетом ландшафтно-экологической специфики в лесах Красноярского края выделяются 9 районов вспышек массового размножения шелкопряда: Чулымо-Кетский, Приангарский, Приенисейский, Канско-Бирюсинский, Кузнецко-Алатауский, Западно-Саянский, Усинский, Сибсис-Тубинский, Манско-Агульский (табл.1). Региональная специфика массовых размножений проявляется в повторяемости, продолжительности развития и интенсивности вспышек, а также в приуроченности первичных резерваций и очагов к определенным лесным формациям, типам леса и элементам рельефа (Кондаков, 1974, 1987; Исаев, Ряполов, 1979; Ряполов, 1981).

В зависимости от ландшафтно-экологических условий происходят значимые изменения в структуре популяций шелкопряда, видовом составе и биологии его энтомофагов, предпочтительности кормовых пород и биогеоценотических отношениях с лесной растительностью и преобладающими видами хвоегрызущих насекомых. Все это в значительной мере определяет лесохозяйственное значение и экологические последствия массового размножения сибирского шелкопряда. Наибольшей интенсивностью отличаются вспышки массового размножения шелкопряда в южно-таежных темнохвойных лесах центральной части Красноярского края (Чулымо-Кетский, Приангарский и Приенисейский районы).

2. Цикличность вспышек

Вспышки массового размножения сибирского шелкопряда, эволюционно обусловленные и циклично повторяющиеся, определяют направленность и ритмику экологических сукцессий в таежных лесах. Они оказывают селективное давление на таежные биогеоценозы, способствуя широкому распространению березы и осины за счет сокращения площади темнохвойных насаждений.

Изучение пространственной и возрастной структуры мелколиственных лесов энтомо-пирогенного происхождения позволяет объек-

Таблица 1

Вспышки массового размножения сибирского шелкопряда в лесах Красноярского края

Районы вспышек	Ландшафтный комплекс типов леса	Высота над уровнем моря, м	Основные кормовые породы ¹	Интенсивность вспышек	
				Площадь очагов, га ²	Частота повто- ряемости ³
1	2	3	4	5	6

Западно-Сибирская равнинная лесорастительная область

Чулымский – Южно-таежный 150-250 П,К 10⁶ 7

Средне-Сибирская плоскогорная лесорастительная область

Приангарский Южно-таежный 170-350 П 10⁵ 6
 Приенисейский Горно-таежный 200-450 П 10⁵ 5
 Канско-Подтаежно-лесостепной 200-350 Лд 10³ 4

Таблица 1 (окончание)

1	2	3	4	5	6
<i>Алтае-Саянская горная лесорастительная область</i>					
Манско-Агульский	Подтаежно-лесостепной	350-500	Лц	10 ³	5
Кузнецко-Алатаусский	Таежно-черневой	450-800	П	10 ⁴	6
	Подтаежно-лесостепной	450-800	Лц	10 ⁴	7
Сисим-Тубинский	Таежно-черневой	450-800	П	10 ³	3
Западно-Саянский	Таежно-черневой	350-900	П.К	10 ³	2
Усинский	Подтаежно-лесостепной	700-1200	Лц	10 ³	5

Примечание: 1 – кормовые породы: П – пихта, К – кедр, Лц – лиственница;

2 – площадь очагов в год кульминации вспышки, га

3 – частота повторяемости вспышек с 1920 по 1997 гг.

тивно восстановить хронологию массовых размножений сибирского шелкопряда в подзоне южной тайги Красноярского края. Другим источником достоверной информации является дендрохронологический метод изучения периодичности и интенсивности вспышек массового размножения хвоегрызущих насекомых (Кондаков, 1965; Ваганов, Исаев, Кондаков, 1972).

Ретроспективный анализ, основанный на дендрохронологической методике и материалах многолетних лесознтомологических исследований Института леса СО РАН, показывает, что в темнохвойных лесах южной части Красноярского края с 1878 г. по 1998 г. действовали очаги 9-ти вспышек массового размножения сибирского шелкопряда (табл. 2).

Таблица 2

Цикличность вспышек массового размножения сибирского шелкопряда в лесах Красноярского края

Циклы	Периоды, годы		Площадь, тыс. га.		
	вспышки	интенсивных повреждений	очагового распространения	выявленных очагов	насаждений с повреждением крон свыше 50%
1	1878-1889	1884-1886	1500		
2	1894-1902	1898-1901	1000		
3	1909-1917	1914-1916	500		
4	1920-1928	1924-1926	1200		
5	1935-1947	1942-1945	700	86.2	200.0
6	1950-1959	1954-1957	2500	2336.8	1338.8
7	1962-1969	1967-1968	800	260.0	17.8
8	1978-1985	1982-1984	50	9.8	3.0
9	1989-1997	1994-1995	1000	782.6	287.0

Некоторые вспышки принимали панзональный характер, т. е. были синхронны с массовыми размножениями шелкопряда в других регионах Сибири. Примером таких вспышек служат градационные волны 20-х и 50-х годов, когда очаги шелкопряда действовали в различных частях ареала от Урала до Приморского края. Следует подчеркнуть, что синхронность развития панзональных вспышек относи-

тельна, так как не вызывает сомнений специфичность градационных процессов в каждом крупном ландшафтно-экологическом районе.

Наибольшее лесохозяйственное значение, а, следовательно, прогностическую актуальность имеют крупномасштабные вспышки сибирского шелкопряда в южно-таежных темнохвойных лесах Красноярского края и сопредельных регионах Сибири.

3. Фазы вспышки

Сибирский шелкопряд - *Dendrolimus superans sibiricus* Tschetv. (Lepidoptera, Lasiocampidae) относится к группе лесных насекомых с эруптивным типом динамики численности. Вспышки массового размножения этих видов в своем развитии во времени и в пространстве проходят несколько этапов или фаз.

По характерным изменениям количественных и качественных показателей в многолетней динамике численности насекомых обычно выделяют 4 фазы вспышки: начальную, протромальную (фазу роста численности), эруптивную (фазу собственно вспышки), фазу кризиса (затухания). Временной интервал между вспышками именуется межвспышечным периодом или фазой стабильно низкой численности. Такая периодизация градационного цикла принята в руководствах по надзору за хвое- и листогрызущими насекомыми, учебных пособиях по лесной энтомологии и лесозащите (Надзор ..., 1965; Воронцов, 1978; Защита леса, 1988).

Эколого-математический подход к анализу многолетней динамики численности лесных насекомых позволил обосновать объективную диагностику 5 фаз вспышки: нарастания, максимума, разреживания, депрессии и восстановления численности (Исаев и др., 1984). Важнейшими критериями различных фаз вспышки сибирского шелкопряда являются плотность и структура (пространственная, размерно-возрастная, половая) популяции, продолжительность генерации, соотношение гетероциклических поколений, плодовитость, выживаемость, интенсивность и направленность миграции.

Ретроспективный анализ массовых размножений сибирского шелкопряда в лесах Красноярского края (Кондаков, 1974) показал значительную изменчивость продолжительности развития вспышек (7-14 лет) и отдельных фаз (1-7 лет). Наиболее показательны различия в повторяемости, интенсивности и продолжительности вспышек (градаций) шелкопряда в пихтовых и лиственничных лесах.

Специфика многолетней динамики численности сибирского шелкопряда в темнохвойных (пихтовых) лесах заключается, прежде всего в скоротечности вспышек, интенсивном подъеме численности до максимума (3-5 лет) и столь же быстром ее спаде (2-4 года). При

проведении авиахимических обработок темп спада численности резко усиливается.

Средняя продолжительность вспышки в пихтовых лесах - 10 лет. За этот период проходит развитие 7 доминантных поколений вредителя, из которых минимум 2 развиваются по однолетнему циклу. Гетероцикличность вносит коренные изменения в динамику численности шелкопряда, особенно в продромальной и в начале эруптивной фазы вспышки. На этом этапе массового размножения плотность популяции увеличивается более чем в 500 раз (Кондаков, 1974). Это предопределяет высокий уровень повреждаемости темнохвойных лесов. Средняя продолжительность эруптивной фазы - 3 года, минимальная - 2 года. Продолжительность фазы кризиса обычно не превышает двух лет. Характерные особенности градаций сибирского шелкопряда в пихтовых лесах (периодичность, высокая эруптивность и скоротечность) определяются прежде всего лесозоологическими особенностями этих лесов. В лиственных лесах вспышки развиваются более медленно и нередко принимают затяжной характер.

Границы изменчивости популяций сибирского шелкопряда в разных фазах вспышки детерминируются резкими изменениями в рядах динамики количественных и качественных показателей вспышки.

Количественными показателями уровня и пространственного распределения численности шелкопряда служат различные категории заселенности насаждений. Размерность абсолютной, основной и максимальной заселенности определяется числом особей (шт.) на единицу учета (дерево, ветвь, м²). Относительная заселенность определяется в долях (изменяется от 0 до 1) или процентах и характеризует особенности пространственной дисперсии вредителя в насаждениях.

Качественными показателями вспышек являются плодовитость, соотношение полов, выживаемость, миграционная активность. Между этими показателями существует тесная эволюционно обусловленная взаимосвязь, характеризующая баланс рождаемости, смертности и расселения (Уильямсон, 1975; Гиляров, 1990).

По материалам многолетних исследований автора в темнохвойных лесах Красноярского Приангарья эта взаимосвязь определяется уравнением:

$$N_{j+1} = N_j * Y * E * W * Mg,$$

где N_{j+1} - численность популяции в $j+1$ генерации; N_j - численность популяции в j генерации; Y - соотношение полов (число самок), в долях; E - плодовитость (число яиц, отложенных самкой), шт; W - выживаемость, в долях; Mg - миграционный индекс, в долях.

Анализ фазовой изменчивости основных эколого-популяционных характеристик (табл. 3) показывает, что выживаемо-

Анализ фазовой изменчивости основных эколого-популяционных характеристик (табл. 3) показывает, что выживаемо-

Таблица 3

Качественные показатели динамики популяций в разные фазы градационного цикла сибирского шелкопряда в темнохвойных лесах Приангарья

Фаза вспышки	Поколение	E, шт.	Y, %	Выживаемость, %		Mg, доли	Коэффициент размножения	
				факт.	теор.		факт.	теор.
Нарастания	1	233	57.4	17.5	2.2	0.13	3.0	23.4
	2	271	66.1	32.6	1.9	0.06	3.3	58.4
	3	322	76.3	68.2	5.5	0.08	13.4	167.6
Максимум	4	251	54.8	51.4	4.2	0.08	5.7	70.7
	5	206	44.3	27.3	3.8	0.14	3.5	24.9
Разреживания	6	174	37.8	5.2	0.09	0.02	0.06	3.4
Депрессии	7	128	32.5	0.6	0.07	0.12	0.03	0.25
Межвспышечный период	8	176	48.5	1.3	1.2	0.91	1.0	1.1

Примечание: E – плодовитость (число яиц, отложенных самкой), шт; Y – соотношение полов (число самок), %; Mg – миграционный индекс, в долях.

сть и миграции являются основными совместно действующими факторами многолетней динамики численности сибирского шелкопряда.

Количественная оценка миграционных процессов возможна лишь с применением косвенных методов (Кондаков, 1974). Миграционный индекс, определяемый по соотношению между теоретической и реальной выживаемостью, характеризует численный уровень (в долях) немигрирующей части популяции и служит показателем интен-

сивности обмена особями при разлете бабочек из одних насаждений и концентрации их в других древостоях. При $Mg < 1$ в популяции преобладают процессы эмиграции, и, наоборот, при $Mg > 1$ интенсивно развивается иммиграция.

Миграционная активность шелкопряда проявляется во всех фазах градационного цикла, но имеет различную направленность и интенсивность. Миграции функционально скоррелированы с плотностью популяции и служат своеобразным механизмом регуляции численности. Они обуславливают выход популяции из-под контроля энтомофагов, определяют темп развития и затухания очагов. Наибольшая миграционная активность присуща гетероциклическим популяциям с преобладанием одногодичной генерации.

4. Пространственно-временные аспекты развития вспышки 1989-1997 г.г.

На фоне засух 1989, 1990, 1992 и 1994 г.г. реализовалась крупномасштабная вспышка массового размножения сибирского шелкопряда, охватившая лесные массивы 14 лесхозов Красноярского края и республики Хакасия. Очаги вредителя выявлены в темнохвойных лесах Чулымо-Кетского, Приангарского, Приенисейского, Канско-Агульского районов и лиственных лесах Кузнецко-Алатауского района на площади около 1 млн. га.

Подъем численности шелкопряда отмечался и в других ландшафтно-экологических районах (Сисим-Тубинский, Усинский). Развитие вспышки приняло панзональный характер (южная тайга, подтайга, лесостепь, горная тайга), но наибольший ущерб шелкопряд причинил темнохвойным лесам подзоны южной тайги в центральной части Красноярского края. Эпицентр вспышки находился в темнохвойных лесах Нижнего Пиангарья (Усольский и Мотыгинский лесхозы).

В развитии вспышки можно выделить несколько этапов или фаз (табл. 4), продолжительность которых соответствует параметрам вспышки 1909-1917 г.г. Характерные особенности этих градаций: замедленное развитие популяционных процессов в начале вспышки, резкий рост площади очагов при переходе от продромальной к эруптивной фазе, столь же быстрый спад численности на завершающем этапе массового размножения.

Таблица 4

Развитие градационных процессов в южно-таежных темнохвойных лесах Красноярского края в 1988-1999 г.г.

Фазы вспышки			Особенности градационных процессов
Ильинский, 1952	Исаев и др. 1984	Годы	
Предвспышечный период		1988	Концентрация численности шелкопряда в резервациях. Рост числа заселенных стадий.
Начальная и продромальная	Нарастания численности	1989-1993	Формирование и развитие первичных и вторичных очагов. Трансформация пространственной и размерно-возрастной структуры популяций. Активизация миграционных процессов. Резкий рост площади очагов. Массовый переход на однолетний цикл развития. Появление первых участков с сильным и сплошным повреждением крон.
Эруптивная	Максимум численности	1994-1995	Катастрофический рост площади очагов. Дифференциация очагов на зоны с различной степенью повреждения крон. Массовый характер приобретают расселительные миграции. Темп размножения снижается из-за обострения конкурентных отношений. В регуляции численности доминируют факторы, зависящие от плотности популяций.
Кризиса (затухания)	Разреживания численности	1996-1997	Резкий спад численности под воздействием энтомофагов и внутривидовых факторов, повышенной энтоморезистентности насаждений в третичных очагах. Основные факторы смертности: активность теленомуса и патогенных микроорганизмов, эндогенный отпад гусениц в весенне-летний период.
Межвспышечный (латентный) период	Депрессии численности	1998-1999	Жесткий пресс регулирующих и модифицирующих факторов приводит к глубокой депрессии численности вредителя, который сохраняется в ограниченном числе стадий (рефугиях).

4.1. Предвспышечный период

Пространственная структура популяций сибирского шелкопряда в межвспышечный период охватывает все многообразие местообитаний (оптимальных, субоптимальных и пессимальных) в границах крупного лесного массива или лесорастительной провинции. Этим обусловлено неограниченно долгое воспроизводство популяций на обширной территории (масштаба ландшафта).

Мозаичность распределения шелкопряда в межвспышечный период обеспечивает оптимальное использование экологических ниш и снижает до минимума конкуренцию при сохранении информационных и функциональных связей внутривспышечных группировок (ценопопуляций). В этот период шелкопряд заселяет насаждения, которые характеризуются оптимальными и субоптимальными экологическими условиями (местоположение, освещенность, теплообеспеченность, дренаж, тип леса, состав, полнота и возраст насаждений, и т.д.). Такие участки леса принято называть резервациями.

Фитоценоотическое своеобразие и различный уровень заселенности насаждений (Кондаков, 1974; Ряполов, 1980, 1981), позволяют выделять первичные, вторичные и третичные резервации. Они населены популяциями с различными структурно-динамическими характеристиками (численность, темп размножения, возрастной состав гусениц, миграционная активность).

Локальные популяции шелкопряда в оптимальных местообитаниях (первичных резервациях) способны к длительному самовоспроизведению, они автохтонны и характеризуются наиболее высокими показателями заселенности насаждений (табл. 5) и наименьшей величиной отпада в связи с благоприятными условиями развития и зимовки гусениц. Это определяет повышенную вероятность обнаружения гусениц в первичных резервациях как при весенне-летних, так и при летне-осенних учетах.

В субоптимальных местообитаниях (вторичных резервациях) формируются полузависимые популяции (Беклемишев, 1960), существование которых детерминировано собственным репродуктивным потенциалом и притоком особей из первичных резерваций. Темп размножения шелкопряда во вторичных резервациях по сравнению с первичными более замедленный, а отпад более высокий.

Своеобразно протекают градационные процессы в третичных резервациях. Популяции в них практически не способны к самовоспроизведению, так как их репродуктивный потенциал не компенсирует смертность. Численность шелкопряда в третичных резервациях

Таблица 5

Заселенность гусеницами сибирского шелкопряда темнохвойных насаждений в межвспышечный период

Период учета	Заселенность насаждений, гус./дерево		
	абсолютная, шт.	относительная, доли	основная, шт.
	Первичные резервации		
Весна	0.65	0.49	1.33
Осень	4.28	0.95	4.50
	Вторичные резервации		
Весна	0.37	0.30	1.22
Осень	1.90	0.81	2.38
	Третичные резервации		
Весна	0.17	0.17	1.00
Осень	0.57	0.43	1.31

поддерживается за счет иммиграции бабочек из оптимальных и субоптимальных местообитаний. В межвспышечный период гусениц сибирского шелкопряда в третичных резервациях можно обнаружить только при осенних учетах. Аллохтонный характер локальных популяций в третичных резервациях обуславливает их временное существование. Проведение надзора в этом типе резерваций нецелесообразно.

Особенности пространственной и демографической структуры популяций сибирского шелкопряда в предвспышечный период характеризуются материалами лесопатологических обследований, проведенных в 1988 г. в темнохвойных лесах центральной части Красноярского края.

На площади свыше 36 тыс. га. в лесных массивах 7 лесничеств (Енисейское, Назимовское, Верхне-Казанское, Усть-Питское, Кулаковское, Дементьевское и Прединское) лесопатологами Брянской специализированной лесоустроительной экспедиции отмечено 115 таксационных выделов, заселенных сибирским шелкопрядом. Общая площадь насаждений, на которой обнаружен шелкопряд, составила 6650 га или 18 % от площади обследования. Показатели заселенности насаждений в выявленных резервациях соответствовали межвспышечному периоду. Максимальная заселенность не превышала 5 гусениц на дерево, относительная колебалась от 20 % (Прединское лесничество Б.Муртинского лесхоза) до 50.3 % (Назимовское лесничество Енисейского лесхоза).

На площади 5496 га. (82.6 % от площади резерваций) сибирский шелкопряд встречался в комплексе с другими сопутствующими видами хвоегрызущих чешуекрылых: еловым кистехвостом (*Dasychira abietis* Schiff.), лунчатым шелкопрядом (*Selenephra lunigera* Esp.), пяденицами рода *Ectropis* (*Boarmia*) и рода *Semiothisa* и др. Характерно, что плотность популяций сопутствующих видов чешуекрылых в некоторых резервациях значительно превышала показатели заселенности насаждений сибирским шелкопрядом. Например, в резервациях Енисейского лесхоза максимальная заселенность пихты еловой углокрылой пяденицей (*Semiothisa signaria* Hb.) составляла 274 гусеницы на одно дерево при относительной заселенности 92,6 %.

В полидоминантных темнохвойных насаждениях, характерных для резерваций сибирского шелкопряда, его гусеницы отдают явное предпочтение пихте сибирской (табл. 6). Это еще в большей степени

Таблица 6

Предпочитаемость кормовых пород сибирским шелкопрядом в межвспышечный период.

Кормовая порода	Число гусениц	
	на 1 дерево, шт.	% от всех учтенных
Весенне-летний учет (май-июнь)		
Пихта	0.126	85.7
Кедр	0.049	3.5
Ель	0.062	10.8
Итого	0.108	100
Летне-осенний учет (август-сентябрь)		
Пихта	0.747	80.9
Кедр	0.548	10.7
Ель	0.260	8.4
Итого	0.622	100

подчеркивает агрегативный характер распределения численности шелкопряда в межвспышечный период. Реализованная экологическая ниша - площадь, заселенная шелкопрядом, - составляла в среднем 42,7 % от площади резерваций и всего лишь 7.7 % от площади обследования.

Анализ показателей заселенности насаждений в резервациях и лесных массивах (табл. 7) свидетельствует о различных уровнях численности и асинхронности развития градационных процессов в различных частях подзоны южной тайги Красноярского края. В пред-

Таблица 7
Показатели заселенности гусеницами шелкопряда темнохвойных насаждений в предвспышечный период

Заселенность насаждений	Регионы	Лесной массив			Резервация		
		Размах колебаний	Среднее	Кратность колебаний	Размах колебаний	Среднее	Кратность колебаний
Абсолютная, гус./дерево, шт.	ЗС	0.069-0.350	0.117	5.1	0.390-0.654	0.600	1.7
	ЕК	0.014-0.036	0.029	2.5	0.200-0.470	0.364	2.4
	ЮТ	0.014-0.350	0.094	25.0	0.200-0.654	0.521	3.3
Относительная (число заселенных деревьев), доли	ЗС	0.053-0.269	0.136	5.1	0.300-0.503	0.462	1.8
	ЕК	0.014-0.025	0.024	1.8	0.200-0.333	0.306	1.7
	ЮТ	0.014-0.269	0.077	19.2	0.200-0.503	0.427	2.5

Примечание: ЗС – темнохвойные леса юго-восточной части Западно-Сибирской низменности;

ЕК – темнохвойные леса Енисейского края и Нижнего Приангарья;

ЮТ – южная тайга центральной части Красноярского края.

вспышечный период наиболее активно эти процессы развивались в темнохвойных лесах Енисейского лесхоза (юго-восточная окраина Западно-Сибирской низменности). Характерно, что при относительно небольших изменениях плотности аборигенных популяций резко возрастает площадь насаждений, заселенных сибирским шелкопрядом. В 1988 г. в лесах Енисейского и Назимовского лесничеств она увеличилась в 7 раз (по сравнению с предыдущим годом), а число резерваций - в 5 раз.

Установлена четко выраженная приуроченность резерваций (особенно первичных и вторичных) к определенному рельефу, типам леса, составу, полноте и возрасту насаждений.

В левобережной части южно-таежной подзоны первичные резервации шелкопряда формируются на возвышенных участках рельефа (террасовые поверхности, пологие нижние склоны водоразделов, гривы), занятых коренными темнохвойными формациями с преобладанием в составе пихты (пихтачи осочково-вейниковые, кисличниковые, осоково-зеленомошные, осочково-разнотравные).

В правобережной (заенисейской) части южнотаежной подзоны оптимальные местообитания шелкопряда также приурочены к повышенным элементам рельефа (плакоры и пологие склоны южных экспозиций с абсолютными отметками 170-250 м над уровнем моря) с хорошим дренажем и освещенностью. Наиболее благоприятная экологическая обстановка для размножения шелкопряда складывается на участке перехода плакорных поверхностей в склоны южных экспозиций (Исаев, Ряполов, 1979).

Ландшафтно-экологические особенности формирования и развития резерваций определяют пространственно-временную картину развития очагов шелкопряда на разных этапах вспышки массового размножения.

4.2. Фаза нарастания численности

Продромальная фаза вспышки массового размножения протекает под воздействием достаточно мощного модифицирующего фактора. Для ее реализации необходимо, чтобы критическая погодная ситуация (засуха) повторялась в течение 2 или 3 лет. В темнохвойных лесах центральной части Красноярского края вероятность повторной засухи в период развития двух смежных поколений шелкопряда составляет 9% (Кондаков, 1974). Следует подчеркнуть, что благоприятная экологическая ситуация, стимулирующая нарастание численности хвоегрызущих насекомых, создается в результате не только прямого, но и косвенного влияния модифицирующих факторов на таежные биогеоценозы.

Закономерная последовательность макросиноптических процессов, предопределивших развитие вспышки массового размножения шелкопряда, прослеживалась с осени 1988 г. В центральной части Красноярского края осень 1988 г. была теплой и сухой (табл. 8), с поздним установлением снежного покрова. Гидротермический режим весенне-летнего периода 1989 г. способствовал раннему выходу гусениц с мест зимовки, их интенсивному развитию в июне, дружному и раннему лету бабочек. В структуре популяций около 70 % составляли особи, развивавшиеся по двухлетней генерации. Интегральный показатель засушливости (Кондаков, 1965) в 1989 г. почти в два раза превысил критическую норму (равную 3.5 баллам), а дефицит летних осадков (июнь-август) составил 54 %.

На фоне засухи одновременно с ростом численности сибирского шелкопряда в темнохвойных лесах начался подъем численности и других видов чешуекрылых: лунчатого шелкопряда, хвойной волнянки, углокрылой и дымчатой пядениц. Следует подчеркнуть, что в фенологии и экологии этих видов имеется много общих черт: зимовка в фазе гусеницы, лет бабочек в наиболее теплое время года (июль), питание гусениц в раннелетний и позднелетний периоды. Развитие сопряженной вспышки массового размножения нескольких видов хвоегрызущих чешуекрылых свидетельствует об одновременном воздействии модифицирующих факторов, выполняющих роль триггера градационных процессов (Уатт, 1971), на популяции лесных насекомых.

Погодные условия вегетационного периода 1990 г. отличались повышенной теплообеспеченностью и обильными осадками ливневого характера. В течение всего вегетационного периода накопление тепла шло с опережением средних многолетних сроков. Сумма эффективных температур в конце августа составила 1300-1500°C, что выше нормы на 130-180 градусов, а в Приангарье - на 200 градусов. Исключительно благоприятные условия сложились в период окукливания и лета бабочек шелкопряда. Продолжительность периода с температурой воздуха выше 15°C составила 87 дней (при норме 68 дней), а сумма положительных температур за этот период на 475 градусов превышала средние многолетние показатели.

Экспедиционными обследованиями 1990 г. повышенная численность сибирского шелкопряда выявлена в Енисейском лесхозе в спелых и перестойных кедровых насаждениях с участием в составе древостоев от 3 до 5 единиц пихты, в мшистых, мшисто-ягодниковых и осочково-разнотравных типах леса. Средние таксационные показатели этих насаждений: 4К4П2Е+Б, Ос (200 лет); бонитет III-IV, полнота 0.6-0.7, запас древесины 240 м³/га. Общая площадь заселенных стадий - 1288 га.

Таблица 8

Погодные условия вегетационных периодов на разных этапах градационного цикла сибирского шелкопряда (1987-1996 гг.) в темнохвойных лесах Усольского лесхоза (метеостанция Троицкое)

Погодные показатели	Средние	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
	много- летние	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2										
Дата перехода	5°C	2,05	7,05	10,05	2,05	6,05	8,05	21,05	28,04	3,05	25,04
температуры	10°C	22,05	29,05	12,05	2,05	31,05	10,05	22,05	23,05	26,05	17,05
воздуха выше	15°C	14,06	30,06	9,07	21,06	4,06	19,06	10,06	3,06	25,06	18,06
Продолжи- тельность	5-5°C	141	151	143	168	156	143	132	149	144	126
периода в	10-10°C	108	98	119	123	111	113	105	110	115	100
температур- ных границах,	15-15°C	61	60	48	49	86	64	82	75	59	55
дни											
Средняя	21.05-	11,9	11,7	12,2	6,7	14,3	13,3	12,7	14,4	14,9	11,6
температура	20.06										13,4
воздуха за	21.06-	17,5	16,5	14,2	12,1	17,8	17,2	18,5	19,0	20,9	18,1
20.07	20.07										18,7

Таблица 8 (окончание)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
21.07- 20.08	16,1	17,0	15,8	17,5	18,3	17,7	18,1	16,8	16,7	19,2	17,2
ГТК за период											
21.05- 20.06		1,14	1,35	1,69	0,72	0,65	0,08	0,74	0,85	0,76	0,62
21.06- 20.07		1,31	1,93	0,45	0,83	0,61	0,25	0,45	0,74	0,42	0,31
21.07- 20.08		1,28	2,95	0,68	0,38	2,08	0,61	1,41	0,31	0,23	1,55
21.08- 20.09		1,41	1,40	0,49	1,64	0,97	2,04	1,58	0,87	1,42	1,68

Показатели абсолютной и максимальной заселенности насаждений незначительно отличались от уровня численности шелкопряда в предвспышечный период. Максимальная заселенность не превышала 10 гус./дер., но резко возросла относительная заселенность (до 75-100%), что непосредственно связано с интенсификацией миграционных процессов. Приток иммигрантов в оптимальные и субоптимальные местообитания нарушает ранее сложившееся соотношение численности шелкопряда и паразитов и способствует выходу его популяций из-под контроля энтомофагов.

В 1990 г. как и в предыдущем году, в структуре аборигенных популяций шелкопряда преобладали особи с двухлетним циклом развития. Учеты численности в конце августа - начале сентября 1990 г. показали следующее соотношение возрастных групп гусениц: II возраст - 30, IV - 60 и V - 10 %. Присутствие гусениц второго возраста свидетельствует о развитии части популяции по одногодичной генерации. Модификация численности шелкопряда в первый год продормальной фазы не обеспечивает выход популяции из зоны устойчивости. Для реализации вспышки необходимо повторное воздействие модифицирующего фактора.

Новый этап в развитии вспышки массового размножения шелкопряда сопряжен с весенне-летней засухой 1991 г., когда интегральный показатель засушливости вегетационного периода составил 4.7 баллов. Выход гусениц с мест зимовки начался в первой декаде мая в условиях умеренно теплой погоды. Сумма осадков в мае составила 20 % многолетней нормы, а в июне-августе - 71 %. Благоприятные погодные условия мая и первой декады июня обеспечили переход части гусениц межлетнего поколения (до 40 %) на однолетний цикл развития. Массовое окукливание гусениц поколений 1989 и 1990 гг. отмечалось во второй половине июня.

Лет бабочек, начавшийся 10 июля в условиях теплой и сухой погоды, закончился в течение двух недель. Это определило ранние сроки отрождения гусениц дочернего поколения - третья декада июля и первая декада августа. Качественные показатели популяции шелкопряда (плодовитость, соотношение полов, выживаемость) в 1991 г. соответствовали продормальной фазе вспышки массового размножения. Структура популяции, по данным осенних учетов численность шелкопряда (сентябрь 1991 г.), характеризовалась следующим соотношением возрастных групп гусениц: II возраст - 35.3 %, III - 54.8 %, IV - 6.7 %, V-VI - 3.2 %. Анализ возрастной структуры гусениц, уходящих на зимовку, позволяет сделать вывод о почти полной элиминации особей межлетнего поколения.

Резкое снижение численности межлетнего колена связано не только с переходом части популяции на однолетний цикл развития, но

и с активизацией энтомофагов, прежде всего паразитов гусениц средних и старших возрастов. Контрольные учеты численности шелкопряда на ключевом участке надзора и в сопредельных насаждениях Назимовского лесничества (кв. 1201 - 1202, кв. 1247) показали, что зараженность гусениц четвертого возраста апантелесом в первой декаде июля 1991 г. составляла не менее 30%. В продромальной фазе вспышки энтомофаги хотя и оказывают существенное влияние на структурные изменения популяции, но не имеют определяющего значения в динамике численности шелкопряда.

Лесопатологические обследования, проведенные в конце августа - начале сентября специалистами Брянской экспедиции, выявили широкое распространение шелкопряда в пихтово-кедровых насаждениях Назимовского, Енисейского и Лосиноборского лесничеств Енисейского лесхоза. Это связано прежде всего с интенсивными миграциями бабочек в июле 1991 г. в период массового лета.

Вредитель был обнаружен с той или иной численностью (единичной, слабой, повышенной, угрожающей, очаговой) во всех темнохвойных насаждениях с параметрами (состав, возраст, тип леса), благоприятными для его развития.

Наиболее высокая численность шелкопряда и сопутствующих ему видов чешуекрылых выявлена в средневозрастных и приспевающих среднеполнотных пихтовых насаждениях осочково-разнотравных и мелкотравно-зеленомошных типов леса, занимающих наиболее возвышенные участки рельефа с абсолютными отметками 180 - 190 м.

В границах лесопатологического обследования площадь насаждений, отнесенных по их фитоценоотическим параметрам и ландшафтной приуроченности к первичным очагам, составила 2324 га. В окружающих лесных массивах на площади 4438 га были выделены вторичные очаги шелкопряда. На участках с повышенной численностью абсолютная заселенность насаждений составляла 94 - 240 (максимум 435) гусениц на модельное дерево при 100 %-й относительной заселенности. Показатели заселенности соответствовали завершающему этапу продромальной фазы вспышки.

Весна 1992 г. отличалась жаркой и сухой погодой, особенно во второй половине мая. В центральной части Красноярского края такой температурный режим не отмечали после 1940 г. Подъем гусениц в кроны начался в первой пентаде мая и завершился в течение 10 - 12 дней. Дружный выход гусениц с мест зимовки был сопряжен с необычно высоким накопления тепла. Переход минимальной температуры выше +5° наблюдался 10 мая, а с переходом среднесуточной температуры выше +15°, который отмечался 14-15 мая, гусеницы приступили к питанию.

Во второй половине мая среднесуточные температуры воздуха на 8-12 градусов превышали средние многолетние данные. Наиболее высокий дефицит влажности воздуха (10 мб) отмечали 14-23 мая. В течение 11 дней максимальные температуры воздуха превышали +20°, а в течение 4 дней - +30°. Сумма осадков в мае 1992 г. составила 9 мм или 23 % многолетней нормы (табл. 9). Жаркая и сухая погода второй

Таблица 9

Погодные условия весенне-летнего периода 1992 г. (метеостанция г.Енисейск)

Месяц, декада	Температура воздуха, °С			Осадки, мм	Дефицит влажности воздуха, мб
	средне-суточная	максимальная	минимальная		
Май					
1	4.8	16.9	-5.0	0.8	1.0
2	15.2	31.7	1.0	-	10.3
3	12.5	31.0	-0.8	7.8	5.1
Июнь					
1	10.1	25.8	-3.5	22.9	6.4

половины мая, несмотря на резкое снижение среднесуточных температур с 28 мая, предопределила переход части популяции на однолетний цикл развития.

Для уточнения численности и состояния популяции шелкопряда в лесных массивах, запроектированных под авиахимическую обработку, в третьей декаде мая 1992 г. было проведено контрольное обследование в соответствии с методическими указаниями, разработанными научными сотрудниками Института леса СО РАН (Кондаков, 1992).

Наибольшая численность сибирского шелкопряда при этом отмечалась в насаждениях, занимающих повышенные элементы рельефа и относимых по своим лесоводственно-таксационным характеристикам (тип леса, полнота, участие пихты в составе древостоя) к первичным резервациям. Абсолютная заселенность насаждений составляла 80-89 гусениц на дерево при 100 %-й встречаемости и максимальной численности от 105 до 201 гус./дер. Угроза повреждения крон на этих участках оценивалась от средней до сильной степени. Несмотря на закономерное снижение численности (по сравнению с осенними уче-

тами) плотность популяции оставалась высокой, что свидетельствует о благополучной зимовке гусениц всех возрастов. В третьей декаде мая отмечалась массовая линька гусениц. На 25 мая 1992 г. преобладали (48 %) гусеницы IV возраста. Доля гусениц III возраста составляла 38%, а гусениц старших возрастов (V и VI) не превышала 6 % (табл.10).

Таблица 10

Возрастная структура популяции сибирского шелкопряда в темнохвойных лесах Енисейского лесхоза в 1991-1992 г.

Дата учетов	Учтено особей, шт.	Соотношение возрастных групп и стадий развития шелкопряда, %						Средний возраст гусениц
		II	III	IV	V	VI	куколка	
25.9.91	1006	35.3	54.8	6.7	3.2	-	-	2.7
25.5.92	660	7.8	38.2	48.5	4.8	0.7	-	3.5
13.6.92	559	2.3	6.9	85.5	3.9	1.0	0.4	4.0
30.6.92	180	-	10.6	43.1	9.6	36.7	-	4.7
30.6.92	207*	-	-	121	7.2	72.9	7.8	5.8
5.9.92	387	80.8	0.7	3.3	15.2	-	-	2.5

Примечание: * - учет проводился в центральной части очага.

Холодная и дождливая погода с 28 мая по 4 июня 1992 г. не только замедлила темп развития гусениц, но и привела к значительному (от 30 до 80%) снижению численности популяции шелкопряда. Избирательная элиминация гусениц младших возрастных групп резко изменила возрастную структуру популяции. Эти изменения были наиболее значимы на участках с повышенной и высокой численностью вредителя. Неслучайно на этих участках отмечено наиболее раннее (30 июня) окукливание шелкопряда.

С учетом отпада в Енисейском лесхозе по однолетнему циклу развивалось 30-40 % гусениц поколения 1991 г. Контрольные учеты численности вредителя 29-30 июня 1992 г. показали, что в центральной части очага заселенность насаждений оставалась высокой (326-456 гус./дер.); были отмечены повреждения (до 20 %) верхней части крон деревьев. Уровень заселенности темнохвойных насаждений лесхоза соответствовал завершающему этапу продромальной фазы вспышки.

Анализ состояния популяции сибирского шелкопряда на грани двух поколений (июль 1992 г.) выявил специфические особенности динамики численности вредителя в мае-июне 1992 года. Переход части популяции шелкопряда на однолетний цикл развития обусловил переход вспышки в эруптивную фазу, но одновременно произошло снижение (на 30 - 80%) численности гусениц, развивающихся по двухлетней генерации. Оставшиеся в живых гусеницы старших возрастов (гусеницы, развивающиеся по однолетней генерации) интенсивно питались и с 29 июня началось их массовое окукливание.

В первичном очаге число коконов в кронах модельных деревьев достигала более 200 шт. По данным авиатаксации и наземного лесопатологического обследования (16.7.92.) в границах очагового распространения сибирского шелкопряда выявлены насаждения со сплошной и сильной степенью повреждения крон на площади 120 га. Наиболее интенсивные повреждения отмечены в центральной зоне первичного очага. Таксационная характеристика насаждений этого выдела: состав 6П2К1Е1Б, возраст - 70 лет, полнота - 0,8, запас древесины - 190 м³/га. В периферийной зоне первичного очага повреждение крон - мозаичное.

Вес куколок самок шелкопряда, взятых для анализов в первичном очаге, колебался в пределах 1,5-2,4 мг (в среднем 1,7 мг). Плодовитость самок шелкопряда достаточно высокая (175-225 яиц) и соответствует показателям, характерным для действующих очагов.

В насаждениях с высокой плотностью шелкопряда отмечено наличие энтомофагов, главным образом паразитов гусениц (рогас, апантелес, аниласта), но их роль в снижении численности шелкопряда незначительна. Погодные условия июля и первой декады августа были благоприятными для шелкопряда. Среднесуточные температуры в этот период составляли 18-20° при максимальных значениях 25-30 °С.

Массовый лет бабочек шелкопряда наблюдался в третьей декаде июля. Отрождение гусениц дочернего поколения (1992 г.) началось 7 августа и завершилось к середине этого месяца. Активность паразитов-яйцеедов в нарастающих очагах была невысокой, отмечены лишь единичные кладки яиц, зараженные теленомусом. Показатели заселенности насаждений после лета бабочек оставались высокими - до 350-480 гусениц на одно модельное дерево. Перед уходом на зимовку преобладали (81,5%) гусеницы второго возраста. Постоянный контроль численности сибирского шелкопряда в темнохвойных лесах Енисейского лесхоза позволил своевременно выявить и локализовать возникающие очаги вредителя. Осенью 1992 г. в Енисейском и Назимовском лесничествах на площади 1500 га были проведены авиахимические обработки, характеризующиеся высокой технической и лесохозяйственной эффективностью.

Иная ситуация сложилась в правобережной (заенисейской) части южнотаежной подзоны: Приенисейский, Приангарский и Канско-Бирюсинский районы массового размножения сибирского шелкопряда в центральной части Красноярского края.

Развитие вспышки массового размножения сибирского шелкопряда в темнохвойных лесах Нижнего Приангарья и Енисейского края сопряжено с засухами 1989, 1990, 1992 и 1994 г.г. Погодные условия вегетационного периода в эти годы благоприятствовали развитию всех фаз онтогенеза шелкопряда (табл. 8). Необычайно высокий темп роста численности шелкопряда и повреждения лесов Приангарья обусловлен продолжительной и интенсивной засухой 1992 г. По данным метеостанции Троицкое интегральный показатель засушливости в этом году в 7 раз превысил критическую норму и развитие вспышки приобрело необратимый характер.

К сожалению, отсутствие надзора не позволило своевременно выявить возникающие очаги шелкопряда. Первые сведения о массовых повреждениях темнохвойных лесов Усольского и Мотыгинского лесхозов поступили только в июле 1994 г. (эруптивная фаза вспышки). По далеко не полным данным площадь очагов шелкопряда в лесах Приангарья к осени 1994 г. составила 127 тыс.га. Интенсивность повреждения насаждений (пихтовых, кедровых, еловых и лиственничных) повсеместно оказалась высокой. В Усольском лесхозе (эпицентре вспышки) площадь усыхающих и погибших темнохвойных насаждений составила 39 % от площади всех выявленных очагов.

Быстрый рост площади очагов шелкопряда сопряжен с интенсификацией миграционных процессов, особенно на завершающих этапах фазы нарастания численности, когда активность расселения достигла максимума. Интенсивность миграций зависит от погодных условий в период лета бабочек, (они были особенно благоприятны в 1992 и 1994 г.г.) и от соотношения между поколениями однолетнего и двухлетнего циклов развития. Наибольшая миграционная активность наблюдалась в популяциях с преобладанием однолетней генерации. Направленность миграционных потоков определяется особенностями рельефа и направлением ветров. Благодаря расселительным миграциям быстро растут площади очагов, формируется сложная демографическая структура популяции, продолжается рост численности вредителя и подготавливается переход вспышки в фазу максимума.

По материалам наземных лесэнтомологических обследований, аэротаксации и аэрофотосъемки площадь очагов шелкопряда при переходе в фазу максимума численности превышала 300 тыс.га (рис. 1).

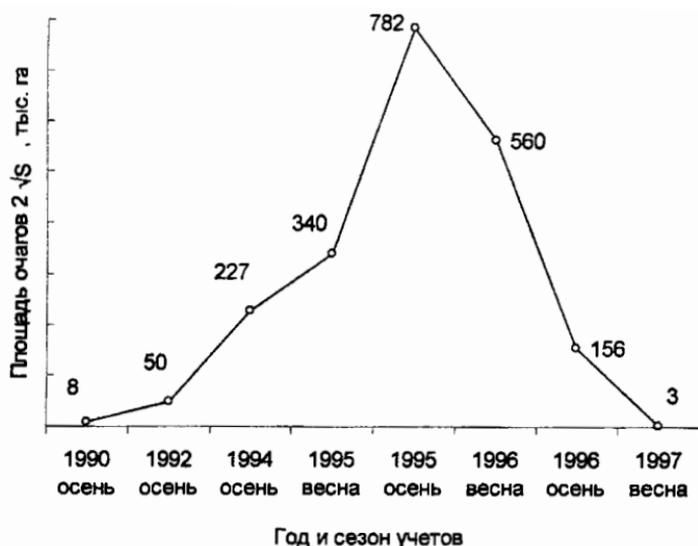


Рис. 1. Динамика площади очагов сибирского шелкопряда (S , тыс.га) в темнохвойных лесах Красноярского края в период вспышки 1990-1997 гг.

4.3. Фаза максимума численности

Переход вспышки в фазу максимума характеризуется наибольшими численными показателями заселенности насаждений, коэффициента нарастания вспышки, интегрального коэффициента размножения и других параметров популяций шелкопряда (Кондаков, 1974).

Максимальная заселенность темнохвойных насаждений в год кульминации вспышки (второй год эруптивной фазы, по терминологии А.И.Ильинского) достигает 20 тыс. гусениц на одно дерево. В переплотненных очагах вредитель начинает испытывать недостаток корма. Несмотря на все еще продолжающийся рост площади очагов (табл. 11), темп размножения шелкопряда снижается из-за обострения конкурентных отношений. По сравнению с предшествующей фазой резко (в 1.5 раза) снижается плодовитость и выживаемость (в 2.5 раза). Соотношение полов изменяется в пользу самцов (56%). В регуляции численности шелкопряда большее значение приобретают факторы, зависящие от плотности популяции, прежде всего специализированные паразиты: *Telenomus tetratomus* Thoms., *Rhogas dendrolimi* Mats., а в лиственных лесах – тахина *Masicera sphingivora* R.D. (= *M.zimini* Kol.).

По материалам обследования темнохвойных лесов Приангарья, зараженность яиц шелкопряда в 1995 году составляла от 20 до 32%, а

в Казачинском лесхозе – свыше 60%. Отпад младшевозрастных гусениц, зараженных рогазом, не превышал 24%. В раннелетний период (первая декада июня) при установившейся прохладной погоде наблюдался повышенный (до 40-60%) отпад гусениц III-IV возрастов. При переходе вспышки в фазу максимума (поколения 1994-1995) и (1995-

Таблица 11

Повреждение насаждений Усольского лесхоза в фазе максимума численности сибирского шелкопряда

Степень повреждения крон	Период учета и площадь поврежденных насаждений, тыс.га (%)			
	осень 1994	весна 1995	лето 1995	осень 1995
Слабая	23.7 (47.9)	49.3 (61.6)	47.5 (39.4)	43.0 (31.8)
Средняя	3.5 (7.1)	6.1 (7.7)	12.5 (10.4)	7.1 (5.2)
Сильная	12.8 (25.8)	15.2 (18.9)	25.2 (20.9)	14.6 (10.8)
Сплошная	9.5 (19.2)	9.4 (11.8)	35.2 (29.3)	70.8 (52.3)
Итого	49.5 (100)	80.0 (100)	120.4 (100)	135.5 (100)

1996 годов) резко проявлялась дифференциация очагов на зоны с различной степенью повреждения крон. Массовый характер приобретали миграции бабочек и гусениц из участков с высокой плотностью популяции. Наряду с хаотичным расселением отмечался разлет бабочек по миграционным путям, ориентированным в направлении юг-север и запад-восток. Наблюдения показали, что среди мигрантов преобладали самки с достаточным запасом зрелых яиц. Для миграционных очагов характерна высокая плотность (до 12.5 тыс. гусениц на одно дерево) и однородная возрастная структура населения гусениц. При проведении учетов численности шелкопряда в августе-сентябре 1995 г. повсеместно преобладали гусеницы I-III возрастов. Наиболее активно миграционные очаги формировались в восточной части зоны очагового распространения сибирского шелкопряда. В Манзенском лесхозе площадь очагов миграционного происхождения достигала 110 тыс. га.

В результате массовых миграций бабочек площадь очагового распространения шелкопряда в южнотаежных темнохвойных лесах Красноярского края в 1995 году превысила 800 тыс. га. По материалам аэрофотосъемки площадь поврежденных лесов в год кульминации вспышки достигала 480 тыс. га (рис. 2), а площадь усыхающих и погибших насаждений составила 287 тыс. га с запасом древесины 116.7 млн. куб. м.

Наибольший ущерб сибирский шелкопряд причинил темнохвойным лесам Усольского, Мотыгинского и Чунского лесхозов. В меньшей степени пострадали леса Чулымо-Кетского района (в левобережной части подзоны южной тайги, где площадь поврежденных насаждений (Пировский, Таежинский и частично Енисейский лесхозы) не превышала 10 тыс. га.

Очаги шелкопряда обычно формируются в насаждениях с преобладанием пихты и кедра. Эти насаждения в наибольшей степени пострадали от сибирского шелкопряда. По материалам наземных обследований, проведенных в год кульминации вспышки, поврежденность пихтово-еловых насаждений составила 82%, кедровых – 68%, сосново-лиственничных – от 30 до 69% и хвойно-лиственных – 46%.

Развитие шелкопряда в разных типах местообитаний имеет специфику:

1 – Оптимальные местообитания (мелкотравно-зеленомошные, осочково-зеленомошные и осочково-разнотравные пихтарники) - развитие шелкопряда в 1995 году проходило ускоренно, преимущественно по однолетней генерации;

2 – Субоптимальные местообитания (темнохвойные насаждения зеленомошной группы типов леса) - развитие вредителя шло по смешанной генерации с различным соотношением однолетнего и двухлетнего циклов;

3 – Участки с неблагоприятными лесорастительными условиями - преобладал двухлетний цикл развития шелкопряда.

В фазе максимума численности вспышки проявляется не только межочаговое, но и внутриочаговая изменчивость эколого-популяционных показателей, прежде всего плодовитости и выживаемости. Характерны в этом отношении различия в плодовитости самок, взятых из разных зон очага – центральной (ядро очага), срединной (переходной) и краевой. По данным П.П.Окунева (1962), наибольшая плодовитость (205-340 яиц) присуща самкам в краевой зоне очага, средняя (167-216 яиц) – в переходной зоне и наименьшая (135-152 яйца) – в центральной зоне, где поврежденность крон деревьев превышает 75%.

Развитие градационных процессов в 1995 году приобрело катастрофический характер и потребовало проведения авиалесозащитных мероприятий на площади 238.8 тыс. га. Несмотря на высокую техническую эффективность авиационных обработок (с применением пиретроидного пестицида «Дециса») значительные площади темнохвойных лесов в зоне очагового распространения шелкопряда спасти не удалось. Многолетняя практика авиационной защиты таежных лесов от сибирского шелкопряда показывает, что лесохозяйственная эффективность авиационных мероприятий, проводимых на завер-

шающем этапе эруптивной фазы, т.е. в год кульминации вспышки, не превышает 60%.

По результатам лесознтомологических обследований, проведенных в летне-осенний период 1995 г. в темнохвойных лесах 11 лесхозов Красноярского края, было запланировано проведение авиахимических обработок весной 1996 г. на площади 492 тыс. га.

4.4. Фаза разреживания численности

Динамика популяций сибирского шелкопряда при переходе вспышки в фазу разреживания численности (1996 г.) характеризовалась следующими особенностями:

1 – значительный отпад гусениц в период зимовки;

2 – снижение численности межлетнего поколения (массовая гибель гусениц III и IV возрастов) в мае-июне;

3 – высокая зараженность яйцекладок шелкопряда теленомусом *Telenomus tetratomus* Thom.;

4 – повышенная смертность гусениц (преимущественно I и II возрастов в преддиапаузный период (август-сентябрь).

Контрольное лесознтомологическое обследование очагов шелкопряда, проведенное в мае 1996 г., показало, что под воздействием ряда факторов (неблагоприятные погодные условия позднего периода 1995 г., неполноценное питание гусениц в переуплотненных очагах, активность энтомопатогенных микроорганизмов и др.) произошло резкое снижение численности шелкопряда в период зимовки. Наиболее высокий отпад зимующих гусениц отмечался в приангарской группе лесхозов (Манзенский, Чунский, Усольский).

Микробиологический анализ погибших гусениц, проведенный д.б.н. А.И.Машановым, показал, что причиной их гибели являются следующие заболевания: мускардиоз (Усольский и Чунский лесхозы), гранулез (Казачинский и Усольский лесхозы), бактериоз (Чунский, Манзенский и Долгомостовский лесхозы). Кроме того, выявлен разнообразный комплекс условно патогенных микроорганизмов.

По результатам весеннего контрольного обследования, объем авиахимических работ, запланированный на весну 1996 г., был снижен почти в 2 раза (с 492 тыс. га до 223,4 тыс. га). Полностью была отменена авиахимборьба в Долгомостовском и Иланском лесхозах, а в Манзенском лесхозе площадь обработки сократилась в 25 раз.

Спад численности шелкопряда в темнохвойных лесах Красноярского Приангарья сопровождался глубокими изменениями в демографической структуре аборигенных популяций. В затухающих очагах наиболее быстрыми темпами снижается абсолютная заселенность на-

Таблица 12.

Динамика смертности сибирского шелкопряда в весенне-летний период 1996 г. (с 26 мая по 15 июля)

a	Временной интервал	Число особей, шт.			Демографические параметры							
		N _a	N _s	I _a	d _a	q _a	lg N _a	K	S _a	Q		
1	26-31.V	640	29	1.000	0.045	0.045	2.8062	0.0202	0.096	2.39		
2	1-5.VI	611	108	0.955	0.169	0.177	2.7660	0.0844	0.359	3.00		
3	6-10.VI	503	72	0.786	0.113	0.143	2.7016	0.0671	0.239	3.60		
4	11-15.VI	431	37	0.673	0.057	0.086	2.6345	0.0390	0.123	4.20		
5	16-20.VI	394	26	0.616	0.041	0.066	2.5955	0.0297	0.086	5.40		
6	21-25.VI	368	25	0.575	0.039	0.068	2.5658	0.0305	0.083	6.00		
7	26-30.VI	343	2	0.536	0.003	0.006	2.5353	0.0025	0.007	6.50		
8	1-5.VII	341	-	0.533	-	-	2.5328	-	-	6.70		
9	6-10.VII	341	2	0.533	0.003	0.006	2.5328	0.0026	0.007	6.80		
10	11-15.VII	339	-	0.530	-	-	2.5302	-	-	6.80		
	Итого	339	301	0.530	0.470	-	-	0.2760	1.000	-		

Примечание к таблице см. на следующей странице

Примечание:

$$N_0 = 640; S_{\Sigma} = 301$$

N_0 – первоначальное число жизнеспособных особей, шт.

S_{Σ} – общее число погибших особей, шт.

N_a – число живых особей в начале пентады, шт. или то же l_a – в долях от N_0

N_S – число особей, погибших за пентаду, шт. или то же

d_a – в долях от N_0

q – поэтапный коэффициент смертности в долях от N_a для каждой пентады

S_a – удельная смертность, в долях от S_{Σ}

K – кей факторный параметр

Q – средний возраст гусениц в начале пентады.

Формулы для расчета параметров:

$$l_a = N_a / N_0$$

$$d_a = l_a + l_{a+1}$$

$$q = d_a / l_a$$

$$K = \lg N_a - \lg N_{a+1}$$

$$q = N_S / N_a$$

$$d_a = N_S / N_0$$

$$S_a = N_S / S_{\Sigma}$$

саждений, а относительная заселенность до конца фазы разреживания численности оставалась высокой (более 80%).

Факторы смертности оказывают определяющее влияние не только на динамику численности шелкопряда, но и существенным образом определяют возрастную структуру популяций и соотношение генерационных циклов. В этой связи особый интерес представляет анализ динамики смертности шелкопряда в период от начала питания гусениц до окукливания (табл. 12).

Интенсивный отпад гусениц межлетнего поколения (III-IV возраст) начался в третьей декаде мая и продолжался в течение 15-20 дней. Общая смертность гусениц в мае-июне 1996 г. составила 47%. Основные факторы смертности (в % от числа перезимовавших гусениц): рогас-12,0; апантелес-0,8; болезни-7,8; отпад, вызванный внутривидовыми механизмами, - 26,5%.

Наездник-браконид *Rhogas dendrolimi* Mats.- активный паразит гусениц межлетнего поколения шелкопряда. Заражает гусениц преимущественно II-III возраста, перед уходом их на зимовку. Развитие паразита продолжается весной следующего года. Выход наездников наблюдался в июне. Зараженность гусениц рогасом в разных лесхозах колебалась от 13 до 52%. Рогас в сильной степени подвержен заражению вторичными паразитами, что ограничивает его роль в регуляции численности сибирского шелкопряда (Коломиец, 1962).

Наездник *Apanteles ordinarius* Rtz. - паразит гусениц старшего возраста. Лет наездников начинается в первой половине июля, а в августе появляется второе поколение апантелеса. При развитии шелкопряда по однолетней генерации регуляторная роль апантелеса незначительна.

Повышенная смертность гусениц шелкопряда весной 1996 г. определялась, главным образом, внутривидовыми факторами (конкуренция, эффект массы, близкородственное скрещивание и др.) и качеством (биохимическим составом) кормовых объектов. В фазе разреживания численности смертность гусениц резко увеличивается из-за возникновения эндогенного отпада, вызванного самим процессом массового размножения (Окунев, 1962). Эндогенный отпад наблюдался и при лабораторном воспитании гусениц. Микробиологический анализ погибших гусениц не выявил энтомопатогенных возбудителей. Наиболее интенсивно отмирают гусеницы III-IV возрастов. Эндогенный отпад резко снижается при переходе гусениц в V возраст.

Повышенная смертность гусениц межлетнего поколения под воздействием ряда факторов (зараженность паразитами, эндогенный отпад, аномальные погодные условия и др.) неоднократно наблюдалась в темнохвойных лесах Красноярского края. Элиминация численности гусениц III-IV возраста резко изменяет возрастную структуру

аборигенных популяций сибирского шелкопряда. Создается иллюзия массового перехода шелкопряда на однолетний цикл развития.

Аналогичная ситуация сложилась в мае-июне 1996 г. в темнохвойных лесах Красноярского края. Из оставшихся в живых гусениц поколения 1995 г. окуклилось 90,9%, но с учетом смертности гусениц в мае-июне на однолетний цикл развития перешло лишь 42,2% особей материнского поколения.

Таким образом, в мае-июне 1996 г. были отмечены следующие особенности градационных процессов:

1 - переход части популяции на однолетний цикл развития;

2 - снижение численности межлетнего поколения (особей, развивающихся по двухлетней генерации).

Повышенные температуры воздуха в июле (среднесуточные температуры на 5-7° выше нормы) способствовали интенсивному развитию куколок и лету бабочек. Суммы эффективных температур (>5°) к началу массового лета бабочек шелкопряда превысили среднюю многолетнюю норму на 50-100° и составили 800-900°. Теплая погода удерживалась и в первую декаду августа.

Статистические показатели плодовитости самок и соотношения полов на фазе разреживания численности отличаются высоким уровнем изменчивости (табл. 13). Это связано с многообразием условий

Таблица 13

Эколого-популяционные показатели сибирского шелкопряда на грани двух поколений (июль 1996 г.)

Эколого-популяционные показатели	Статистические показатели						
	Lim	M	$\pm m$	$\pm \sigma$	V	As	E
Масса куколок, мг							
Самцы	700-1920	1389	21	242	17.4	-0.443	0.229
Самки	1500-3500	2268	33	449	19.8	0.682	-0.449
Плодовитость (число яиц), шт.	45-364	147	10	76	51.7	1.006	0.819

питания и развития гусениц в очагах различного типа. Основными факторами, снижающими плодовитость шелкопряда в переуплотненных очагах, являются: недостаток корма, отрицательное взаимное

влияние гусениц друг на друга (интерференция), близкородственное скрещивание и др.

Тенденции снижения веса куколок наиболее четко проявляются при анализе куколок-самцов ($M < M_0$; $A_s = -0,443$). Характерно, что при относительно невысокой средней плодовитости самок ($M = 147$ яиц) в популяциях встречаются бабочки, имеющие повышенную (свыше 200 яиц) и высокую плодовитость (свыше 300 яиц).

В фазе разреживания численности половой индекс популяций шелкопряда изменяется в зависимости от условий развития и питания гусениц. В переуплотненных очагах отмечается преобладание самцов, а в очагах миграционного происхождения - самок.

Роль паразитов куколок шелкопряда в темнохвойных лесах Красноярского края была ограничена из-за отсутствия в составе региональной паразитофауны эффективного энтомофага-тахины *Masicera sphingivora* R.D. Зараженность куколок шелкопряда мухами из семейства саркофагид (*Sarcophagidae*, *Diptera*) не превышала 7%. В затухающих очагах шелкопряда саркофагиды играют важную роль в распространении возбудителей болезней, в том числе и *Bacillus thuringiensis* (Коломиец, Артамонов, 1994).

Ключевой фактор динамики численности нового поколения шелкопряда - массовая зараженность его яиц теленомусом (*Telenomus tetratomus* Thoms.). Средневзвешенная зараженность яиц теленомусом в лесхозах края составила 80,9% с колебаниями от 48 до 92%. Гистограмма распределения 140 проб яиц по градациям зараженности теленомусом приведена на рис. 2.

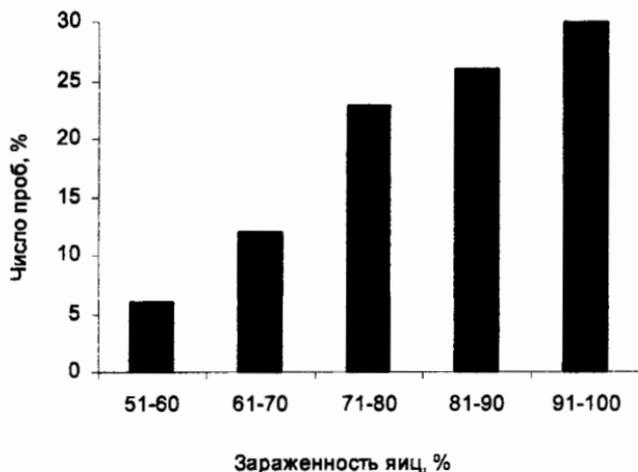


Рис. 2. Зараженность яйцекладок сибирского шелкопряда теленомусом (*Telenomus tetratomus* Thoms.)

Благодаря фозезин теленомус активно заражает яйцекладки шелкопряда в очагах миграционного происхождения. Он очень чувствителен к инсектицидам контактного действия. При проведении авиахимборьбы его численность сокращается в 8-12 раз.

В фазе разреживания численности продолжают расселительные миграции бабочек, но их интенсивность по сравнению с предыдущими годами резко снижается. Значительная часть мигрирующих бабочек оседает в насаждениях, нехарактерных для обитания шелкопряда. Такие насаждения служат станциями переживания (рефугиями), в которых популяция избегает полного уничтожения энтомофагами и болезнями.

В южно-таежных районах развитие нового (дочернего) поколения шелкопряда в позднелетний период проходило при неблагоприятных погодных условиях. Средняя месячная температура воздуха в августе 1996 г. составляла 12-16°, что на 1-2° ниже нормы. Аномально-холодная погода второй половины августа обусловила затяжной выход гусениц из яиц и повышенную их смертность в I-II возрасте (рис. 3).

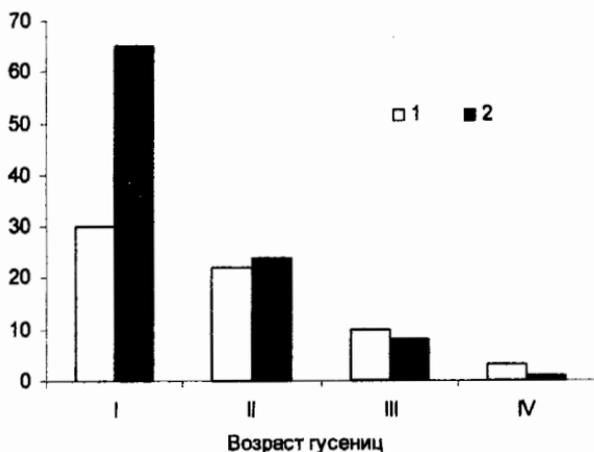


Рис. 3. Смертность гусениц сибирского шелкопряда разного возраста в августе-сентябре 1996 г. 1 смертность гусениц, %; 2 – доля гусениц данного возраста, %

Естественный отпад гусениц в период от выхода из яиц до наступления осенней диапаузы составил 57,5%. Повышенный уровень смертности гусениц I возраста (37%) связан с их морфофизиологическими особенностями. По сравнению с гусеницами старших возрастов они значительно хуже переносят голодание, недостаток пищи, неблагоприятную погоду и другие лимитирующие факторы.

Смертность гусениц второго возраста по данным кей-факторного анализа (Бигон и др., 1989), составила 24,6%. Естественный отпад гусениц третьего возраста не превышал 10%.

За 30-дневный период авиабактериологических обработок и учета их эффективности естественный отпад гусениц в южно-таежных темнохвойных лесах Красноярского края составил 32,5%. По данным Красноярского лесозащитного предприятия, естественный отпад шелкопряда в лесах Приангарья осенью 1996 г. варьировал от 10% (Казачинский лесхоз) до 52% (Усольский лесхоз).

Холодная и дождливая погода в третьей декаде августа и сентябре обусловила замедленный рост и развитие гусениц в преддиапаузный период. Возрастной индекс популяций шелкопряда в период осенних авиазащитных работ изменился от 1,5 до 2,0 баллов. Уход гусениц в диапаузу начался во второй декаде сентября и резко интенсифицировался после 10 сентября. С переходом в диапаузу смертность гусениц стабилизировалась в пределах 1-3%. Абсолютная заселенность насаждений сократилась в 1,5-5,0 раз. Динамика численности сибирского шелкопряда в августе-сентябре 1996 г. представлена на рис. 4. По ключевым точкам кривой выживания гусениц прослеживается специфика градационных процессов на рабочих и контрольных участках и роль отдельных факторов смертности (зараженность яиц теленомусом, детская смертность гусениц, воздействие авиабактериологических обработок) в снижении численности шелкопряда.

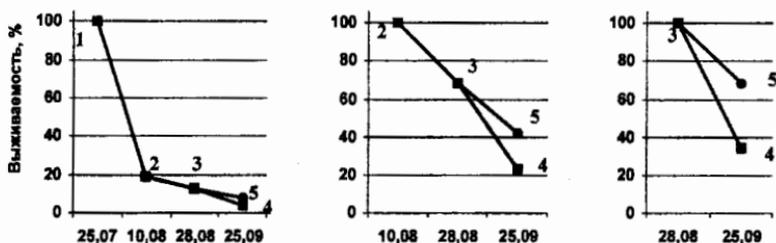


Рис. 4. Динамика численности сибирского шелкопряда в августе-сентябре 1996 года. Ключевые точки: 1 - откладка яиц; 2 - отрождение гусениц; 3 - до начала авиабактериологических обработок; 4 - после проведения авиабактериологических обработок; 5 - контроль.

Проведение крупномасштабных авиалесозащитных работ в фазе разреживания численности предопределило быстрое затухание очагов массового размножения шелкопряда в темнохвойных лесах центральной части Красноярского края. Обследование весной 1997 г. показало,

что все очаги шелкопряда в лесах южно-таежной зоны полностью за- тухли под воздействием естественных факторов. Небольшие по пло- щади очаги (менее 5 тыс. га) были выявлены в мае 1997 г. в горно- таежных лесах Восточного Саяна в пихтово-кедровых насаждениях Ирбейского лесхоза. Эти очаги были ликвидированы при их обработ- ке (на площади 3200 га) бактериальным препаратом – лепидоцидом с нормой расхода препарата 5 л/га. С 1998 г. в динамике популяций си- бирского шелкопряда наступила депрессия численности. Вспышка продолжалась 9 лет и потребовала огромных затрат руда и средств. Общая сумма затрат на проведение авиалесозащитных мероприятий в период вспышки 90-х годов составила более 34 млрд. неденоминиро- ванных рублей (Андреева, 1997). Крупномасштабные авиакимиче- ские и авиабактериологические обработки очагов сибирского шелко- пряда проводились с привлечением средств Федеральной службы лес- ного хозяйства России, Красноярской краевой администрации и при финансовой поддержке Всемирного банка реконструкции и развития.

5. Эффективность авиакимических и авиабактериологических обработок очагов сибирского шелкопряда

В связи с развитием крупномасштабной вспышки массового размножения сибирского шелкопряда в лесах Красноярского края возникла угроза гибели ценных лесных массивов, главным образом пихтовых и кедровых, на площади около 1 млн. га. С целью локали- зации и подавления многочисленных очагов шелкопряда в темно- хвойных лесах Усольского, Мотыгинского, Чунского, Манзенского, Таежинского, Енисейского, Казачинского, Ирбейского, Абанского и

Таблица 14

Авиакимические и авиабактериологические обработки насаждений в разные фазы вспышки

Фазы вспышки	Год, сезон	Пре- парат	Норма рас- хода, л/га	Площадь обработ- ки, тыс. га	Техничес- кая эффек- тивность, %
Нарастания	1992, осень	Децис	20	1.5	95 (92 - 97)
Максимума	1995, весна	Децис	20	96.2	96 (85-100)
Максимума	1995, осень	Децис	20	142.6	97 (84-100)
Разреживания	1996, весна	децис	20	223.5	92 (76 - 98)
Разреживания	1996, осень	дипел	3	116.6	66 (23-100)
Депрессии	1997, весна	лепи- доцид	5	3.2	85

Пировского лесхозов в 1992-1997 гг. проведены авиахимические и авиабак-териологические обработки на площади свыше 583 тыс. га. Проведение массивованных обработок связано с миграциями шелкопряда и заселением им огромных территорий.

Специфика этих лесозащитных работ заключается в том, что впервые в практике защиты таежных лесов от сибирского шелкопряда применялись новые технологии (УМО, компьютерная техника, спутниковая навигация и т. п.) и новые пестициды (децис, дипел). Авиахимические и авиабактериологические обработки темнохвойных насаждений, заселенных шелкопрядом, проводились в разные фазы вспышки (табл. 14).

5.1. Авиахимические обработки

Наибольший объем авиахимических работ выполнен в 1995 г. (фаза максимума численности). Несмотря на достаточно высокую техническую эффективность авиахимборьбы, проводимую в 9 лесхозах, предотвратить сильные повреждения темнохвойных насаждений на всей обрабатываемой площади не удалось. Лесохозяйственная эффективность авиалесозащитных мероприятий, проводимых в фазе максимума численности, не превышала 60 - 70 %. По данным экспедиционного обследования 1995 г., лесохозяйственная эффективность весенних авиахимических обработок в Усольском лесхозе составила 47 %. В Шумихинском лесничестве на рабочем участке №1 (9735 га) погибло 29, 7 % обработанных децисом насаждений, а в Троицком лесничестве на рабочих участках № 2 - 3 (12224 га) лесохозяйственная эффективность составила 22,2 %. Техническая эффективность авиахимборьбы на этих участках превышала 90 %.

Лесохозяйственный эффект авиалесозащитных обработок определяется рядом факторов, среди которых приоритетное значение имеют своевременность обработок (фаза нарастания численности), оптимальные сроки обработки (весной и осенью), качество летных работ и сигнализации, возрастной состав гусениц и др. Своевременная качественная обработка первичных очагов шелкопряда до перехода вспышки в эруптивную фазу позволяет не только резко сократить численность вредителя, но и предотвратить массовое повреждение насаждений. Сравнительная оценка лесохозяйственной эффективности лесозащитных мероприятий, проводимых в лесах Красноярского края на разных фазах вспышек 60-х и 90-х годов, приведена в таб. 15.

Сроки проведения авиалесозащитных обработок (особенно авиабактериологических) должны быть тесно связаны с особенностями сезонного развития сибирского шелкопряда и погодными условиями отдельных лет. Оптимальные сроки проведения весенних

авиахимических обработок зависят от температурного режима мая. Обработку очагов шелкопряда следует начинать после перехода среднесуточных температур воздуха через +10 °С. Фенологическим сигналам

Таблица 15

Сравнительная оценка интенсивности вспышек и лесохозяйственной эффективности мероприятий по защите лесов Красноярского края от сибирского шелкопряда

Показатели	Градационные циклы, год		
	1950-1959	1962-1969	1989-1997
Зона очагового распространения, тыс. га	2500	800	1000
Площадь очагов в год кульминации вспышки, тыс. га	2336.8	257.8	782.6
Площадь поврежденных насаждений, тыс.га	2323.3	37.0	479.9
в том числе с дефолиацией крон более 50 % тыс.га.(%)	1334.7(57.4)	17.8(48.1)	287.0(59.8)
Коэффициент эруптивности вспышки	0.571	0.069	0.367
Площадь авиалесозащитных обработок, тыс.га	13.0	190.9	583.5
в том числе:			
авиахимические	13.0	189.8	463.7
авиабактериальные		1.1	119.8
Охват очагов авиазащитными обработками, %	0.5	73.8	74.6
Число сезонов, в которые проводились обработки	2	4	6
Распределение площади обработок по фазам вспышки, %			
-продромальная		30.6	0.3
-эруптивная	100	53.8	40.9
-затухания (кризиса)		15.6	58.8
Лесохозяйственная эффективность авиалесозащитных мероприятий, %	-	90.6	50.8

лом к развертыванию авиахимических работ служит "зеленение" березы, появление молодых листочков. Оптимальная продолжительность авиахимических и авиабактериологических обработок - не более 15 дней.

Осенние обработки очагов следует начинать во второй половине августа и заканчивать до начала массового ухода гусениц в диапаузу. Эти сроки устанавливают по данным учета экскрементов на марлевых полах. Авиахимические и особенно авиабактериологические обработки очагов сибирского шелкопряда предпочтительно проводились в весенний период. При проведении авиалесозащитных мероприятий в 1967-69 г.г. на площади 189,8 тыс. га большая часть (71%) очагов шелкопряда была обработана в мае-июне. Осенние авиахимические работы проводились только в 1968 г. на площади 54,8 тыс. га.

В 1995 - 1996 г. 45 % площади очагов обрабатывалось осенью при неблагоприятных погодных условиях. Техническая эффективность обработок резко снижалась при переходе гусениц шелкопряда в осеннюю диапаузу.

Дальнейшее усовершенствование авиахимической защиты таежных лесов от сибирского шелкопряда основывается на технологиях, обеспечивающих снижение нормы расхода применяемых препаратов (химических и биологических) до 3 л/га. Одним из таких методов является ультрамалообъемное мелкокапельное авиаопрыскивание с применением препаратов (масляных растворов и концентрированных эмульсий) заводского изготовления и авиационной аппаратуры с ротационными разбрызгивателями.

В 1968 - 1969 г.г. по инициативе и под научно - методическим руководством Института леса в темнохвойных лесах Больше-Муртинского и Усть-Ангарского лесхозов была апробирована новая технология авиахимической защиты таежных лесов. На площади 3300 га проведены опытно-производственные обработки очагов сибирского шелкопряда методом ультрамалообъемного опрыскивания, в процессе которых были установлены оптимальные нормы (3,5- 5,0 л/га), сроки и тактические принципы применения ультрамалообъемного опрыскивания в условиях таежных лесов. Лесхозами Красноярского управления лесного хозяйства в 1968 - 1969 г.г. по новой технологии были обработаны очаги сибирского шелкопряда на площади 16500 га. Снижение нормы расхода до 3,5 л/га позволило более чем в 2 раза повысить производительность самолета: 162 га в летний час и 972 га - в рабочий день (Кондаков, Петренко, 1984).

Новый качественный этап модернизации средств защиты таежных лесов связан с применением высокоэффективных пестицидов -

пиретроидного инсектицида дециса и бактериального препарата дипела. Первый опыт применения дециса был успешно осуществлен в 1992 г. в Енисейском лесхозе. Широкомасштабное использование этого инсектицида началось весной 1995 года. Авиацимическое опрыскивание темнохвойных насаждений, заселенных шелкопрядом, проводилось самолетами АН-2 с использованием стандартной аппаратуры и 2,5 % концентрированной эмульсии пиретроидного препарата - децис. Норма расхода препарата 80 г/га. Расход рабочей жидкости - 20 л/га. Среднестатистический показатель технической эффективности применения дециса в защите темнохвойных лесов (площадь обработки 462 тыс. га) равен $92,4 \pm 0,7$ % (табл. 16).

В интерквартильной области размещается 50% обрабатываемых участков с показателями технической эффективности 90,9 – 97,2%. Коэффициент изменчивости этого показателя 7%.

Децис с нормой расхода 80г/га оказывает токсическое действие

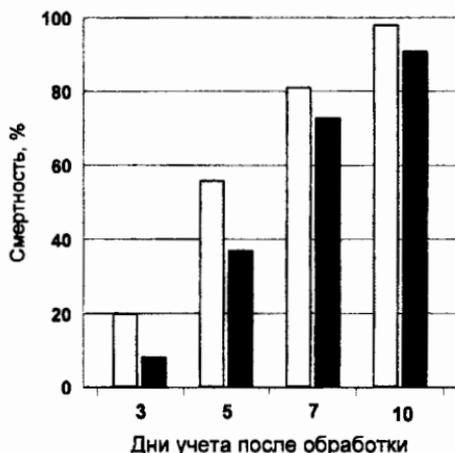
Таблица 16

Статистический анализ технической эффективности авиацимического (АХО) и авиабактериологического (АБО) опрыскивания

Статистические показатели	Техническая эффективность	
	АХО (20л/га)	АБО (3л/га)
Средняя арифметическая	92,4	66,4
Медиана	93,4	66,0
Мода	98,0	66,0
Лимиты	66,7 - 100	27 - 100
Среднее квадратичное отклонение	$\pm 6,5$	$\pm 17,8$
Коэффициент вариации, %	7,1	26,9
Ошибка средней арифметической	$\pm 0,8$	$\pm 3,1$
Нижний квартиль	90,9	55,0
Верхний квартиль	97,2	79,0
Коэффициент асимметрии	-1,88	-0,38
Коэффициент эксцесса	4,15	-0,02
Точность оценки параметров, %	$\pm 0,8$	$\pm 4,7$

на гусениц сибирского шелкопряда всех возрастов, но степень их воздействия зависит как от возраста, так и от их физиологического состояния и интенсивности питания. Наиболее эффективно применение дециса против гусениц младших возрастов (рис. 5). Техническая эффективность осенних авиацимических обработок резко снижается при уходе гусениц в диапаузу.

Рис.5 Динамика отпада гусениц сибирского шелкопряда, обработанных децисом, июнь 1996 г. Светлые столбики – гусеницы II-III возраста; темные столбики – гусеницы IV- V возраста.



5.2. Авиабактериологические обработки

Осенью 1996 г. впервые в темнохвойных лесах Сибири проведены крупномасштабные авиабактериологические обработки очагов сибирского шелкопряда с применением новой технологии и бактериального препарата дипел.

Обработку насаждений, заселенных шелкопрядом, проводили 13 самолетов Ачинского авиапредприятия, оборудованные ротационными атомизерами и электронными расходомерами фирмы Микронейр. Новое авиационное оборудование позволяет проводить ультрамалообъемное опрыскивание таежных лесов с нормой расхода пестицида 3 л/га. Для наведения самолета на рабочий участок применялась спутниковая система наведения "Seltoc", которая позволяет пилоту корректировать полет и обработку участка, контролировать расход рабочей жидкости по монитору, расположенному в кабине самолета.

Ультрамалообъемное опрыскивание темнохвойных лесов дипелом проводилось в 7 лесхозах Красноярского края с 26 августа по 13 сентября 1996 г. на площади 116648 га. Под обработку были отведены насаждения с различным уровнем заселенности: от 50 до 200 гусениц на 1 учетное дерево. Максимальная заселенность достигала 900 гус./дерево (Чунский лесхоз). Демографическая структура популяций в период проведения осенних авиабактериологических обработок почти повсеместно характеризовалась преобладанием гусениц дочернего поколения (I - II возраст).

Авиабактериологические обработки очагов шелкопряда осенью 1996 г. проводились в условиях аномально холодной и дождливой погоды. Среднесуточные температуры воздуха в период обработки и учета эффективности колебались в пределах от 4 до 6,7 °С. Максимальная температура воздуха только в отдельные дни незначительно превышала температурный порог развития гусениц I - III возраста, равный 9 °С (Прозоров, 1952). Критическая ситуация сложилась в первой декаде сентября, когда в отдельных районах устанавливался временный снежный покров. Температура воздуха опускалась до 2 - 4°. Такой холодной погоды в начале сентября не было с 1940 г. Осадки выпадали в виде дождя и снега в течение 6 - 9 дней, их сумма превысила 50 мм. Влажность воздуха из-за обильных осадков составила в среднем за декаду 80 - 90 %.

Холодная погода сохранялась и во второй декаде сентября. Среднесуточные температуры воздуха составляли 5-8°С, что на 2-4° ниже нормы, а в самые холодные дни 11-12 сентября они опустились до -2 и -5°С, что на 5-8°С ниже нормы. Ночные температуры достигали 2-8°С мороза. По сравнению с первой декадой интенсивность осадков заметно снизилась, а в Тасеевском и Енисейском лесхозах выпало 40-70 % нормы декадных осадков. Неблагоприятные погодные условия последней декады августа и первой половины сентября замедлили темп развития шелкопряда, способствовали переходу гусениц к различным формам физиологического покоя (оцепенение, диапауза). Активность питания гусениц резко снижается при осадках более 5 мм, ночных похолоданиях, а также в период массовой линьки гусениц.

В первой половине сентября гусеницы сибирского шелкопряда (независимо от возраста) впадают в состояние диапаузы и прекращают питание задолго до их ухода в подстилку. Диапаузирующие гусеницы остаются в кронах, сохраняя способность к передвижению. При похолодании они собираются колониями в комлевой части стволов. Проведение истребительных мероприятий в этот период нецелесообразно. Фитоценоотическое своеобразие пихтовых лесов, погодные условия и особенности питания гусениц в осенний период не позволяют рекомендовать к практическому использованию в темнохвойных лесах Сибири широко известный метод оценки эффективности авиабактериологических обработок по соотношению количества (или массы) экскрементов гусениц до и после обработки насаждений.

В качестве альтернативного варианта научными сотрудниками Института леса СО РАН Ю.П. Кондаковым и А.И. Машановым предложена методика оценки эффективности, учитывающая специфику проведения авиалесозащитных мероприятий в пихтовых лесах Сибири. Эта методика прошла практическую реализацию в 9 лесхозах Красноярского края осенью 1996 г. Для учета эффективности исполь-

зовались марлевые полога: большие (30 - 36 кв. м) и малые (1 кв. м). Учеты проводились в течение 15, 20 и 30 дней после обработки насаждений. Для проведения микробиологического анализа проводился сбор гусениц как на рабочих участках, так и на контрольных участках.

По материалам учетов гусениц рассчитывались техническая и реальная эффективность (табл. 17) авиабактериологических обработок очагов сибирского шелкопряда. Анализ полученных материалов свидетельствует о значительной изменчивости показателей технической эффективности авиабактериологических обработок (коэффициент вариации 27 %), которая отражает многообразие лесорастительных, погодных и организационно-технических условий проведения авиалесозащитных работ в таежных лесах Сибири.

Несмотря на широкий диапазон варьирования технической эффективности (по лесхозам и рабочим участкам) от 27 до 100 % в интерквартильной области размещаются рабочие участки с эффективностью 55-79 %. Отрицательный коэффициент асимметрии ($A_5 = -0,92$) подчеркивает тенденцию снижения технической эффективности авиабактериологических обработок.

Таблица 17

Оценка технической и реальной эффективности применения дипела в темнохвойных лесах Красноярского края

Лесхозы	Площадь обработ-ки, га	Естествен-ный отпад гусениц, %	Техническая эффектив-ность, %	Реальная эффектив-ность, %
Казачинский	4460	10	52,0	46,8
Пировский	4167	5 - 19	67,0	60,3
Усольский	29333	52	60,6	29,1
Мотыгинский	23439	20	87,4	70,0
Ирбейский	2990	51	59,4	29,1
Чунский	42660	30	67,9	47,5
Енисейский	9599	75	28,7	7,2
Итого	116648	32,5	66,4	44,8

Отпад гусениц на учетные полога продолжался в течение 25-30 дней (рис.6), характерно повышение интенсивности отпада в интервале 7- 15 дней после обработки насаждений. Продолжительный период проведения учетных работ предопределяет необходимость установления реального эффекта воздействия дипела с учетом смертности гусениц от естественных (экзо- и эндогенных) факторов. На основе к-

факторного анализа смертности гусениц 3-х географически удаленных популяций сибирского шелкопряда (казачинской, усольской и долгомостовской) установлена средняя величина естественного отпада гусениц за период проведения авиабактериологических обработок и учета эффективности. Она оказалась равной 32,5 %. По данным Красноярского лесозащитного предприятия естественный отпад гусениц осенью 1996 г. в лесхозах южно-таежной подзоны варьировал от 10 до 52 %.

Реальная эффективность авиабактериологической защиты таежных лесов от сибирского шелкопряда устанавливалась по формуле:

$$Э_{\text{реал.}} = Э_{\text{техн.}} \cdot (100 - S_{\text{к}} / 100),$$

где $Э_{\text{реал.}}$ - реальная эффективность, %; $Э_{\text{техн.}}$ - техническая эффективность (смертность гусениц на обработанных участках), %; $S_{\text{к}}$ - смертность гусениц на контрольных участках (эндогенный отпад гусениц, зараженность паразитами и др.), %.

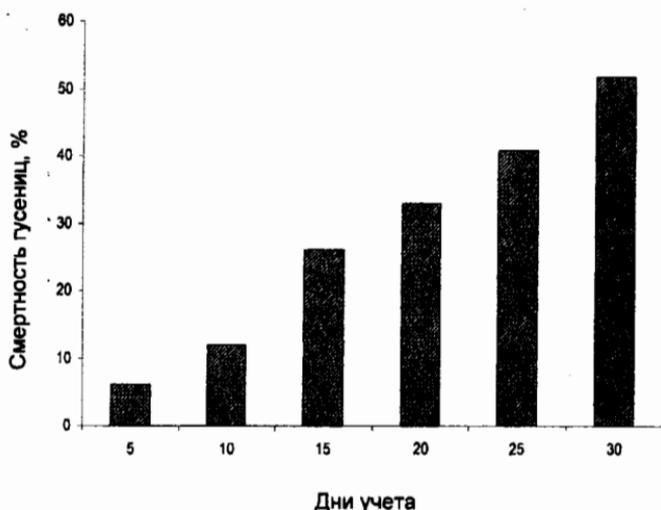


Рис. 6. Динамика отпада гусениц сибирского шелкопряда в пихтовых насаждениях, обработанных дипелом, август-сентябрь 1996 г.

Количественная оценка эффекта воздействия дипела на динамику численности шелкопряда проведена по результатам обработок очагов в лесхозах Красноярского края (табл. 17).

Несмотря на относительно невысокую техническую эффективность авиабактериологические обработки, проведенные осенью 1996 г. в темнохвойных лесах Красноярского края, не только в 2 раза сократили численность сибирского шелкопряда, но и с учетом естественных факторов смертности обеспечили сохранение экологической

Таблица 18

Сравнительная оценка летно-технических показателей малообъемного (МО) и ультрамалообъемного авиаопрыскивания (УМО) очагов сибирского шелкопряда в темновых лесах Красноярского края

Показатели	Год проведения и способ авиаопрыскивания		
	МО, 1968 г.	МО, 1996 г.	УМО, 1969 г. УМО, 1996 г.
Норма расхода, л/га	20	20	3,5 3,0
Производительность самолета:			
в летный час, га	59/42-76	69/39-94	162/137-205 197/110-221
в рабочий день, га	320/210-400	547/255-53	953/370-1168 972/492-1487
Продолжительность производственного полета, мин.	56/26-84	51/38-79	105/85-127 97/90-114
Количество полетов за рабочий день	5,7/3,6-7,8	9,3/4,9-10,8	3,2/2,7-5,4 3,0/2,5-4,7
Дневная продолжительность производственных полетов, час	5,4/3,3-6,7	7,9/4,8-9,8	5,7/3,2-7,0 4,9/2,7-7,6

Примечание: в числителе — средние значения показателей, в знаменателе — крайние значения.

стабильности лесных биогеоценозов и устранили угрозу повреждения защищаемых лесных массивов.

Наиболее важным результатом авиалесозащитных работ 1996 г. является практическая реализация новой технологии авиабактериологических обработок - ультрамалообъемное опрыскивание очагов шелкопряда дипелом с нормой расхода 3 л/га. Следует отметить, что из-за отсутствия соответствующих препаративных форм пестицидов и авиационной аппаратуры обработку очагов сибирского шелкопряда до недавнего времени проводили бактериальными препаратами отечественного производства (дендробациллин, туверин, инсектин, гомелин и др.) с нормой расхода 30 л/га в светлохвойных лесах и 50 л/га - в темнохвойных лесах (Гукасян, 1986).

Основное преимущество ультрамалообъемного авиаопрыскивания очагов сибирского шелкопряда заключается в том, что снижение нормы расхода до 3 л/га повышает производительность авиалесозащитных работ более чем в 2 раза, а следовательно, сокращает оплату услуг авиации спецприменения. Сравнительный анализ летно-технических показателей малообъемного и ультрамалообъемного авиаопрыскивания очагов сибирского шелкопряда в темнохвойных лесах Красноярского края приведен в табл. 18. При сопоставлении летно-технических показателей использованы материалы авиационных обработок, проводимых в период вспышки 60-х годов. Результаты анализа свидетельствуют о значительных преимуществах новой технологии авиалесозащитных работ: отпадает необходимость транспортировки большого количества воды на аэродромные площадки, уменьшается потребность в самолетах, сокращаются сроки обработки. При применении технологии УМО значительно увеличивается оптимальный радиус эффективного использования летательных аппаратов, что позволяет вести обработку очагов, расположенных в труднодоступных районах, с ограниченного числа аэродромных площадок.

Резко меняется структура затрат на обработку 1 га при различных способах авиаопрыскивания. Если при малообъемном опрыскивании преобладающей статьей затрат является аренда самолетов, то при ультрамалообъемном опрыскивании основные затраты связаны с приобретением пестицидов и бактериальных препаратов. Высокая дисперсность и хорошая прилипаемость капель при ультрамалообъемном опрыскивании обеспечивают значительную продолжительность токсического действия препаратов. Это позволяет вести эффективную борьбу с шелкопрядом в сложной экологической ситуации.

Заключение

Лесозащитное прогнозирование - специфическая форма научно-

прикладного анализа, существенной чертой которого является разно-сторонний подход к проблеме динамики численности лесных насекомых. Методология построения долгосрочных прогнозов основывается на том, что динамика численности - процесс циклический, отражающий ритмичность широкого круга природных явлений (Межжерин, 1979; Максимов, 1984).

Цикличность массовых размножений - одна из характерных особенностей популяционной экологии сибирского шелкопряда. Причины циклических изменений численности насекомых многообразны - от прямого и косвенного влияния модифицирующих факторов до сложных взаимодействий фитофагов с кормовой породой и естественными врагами. Благодаря механизмам авторегуляции, эти взаимодействия трансформируются на уровне популяции в закономерные циклы, включающие не только динамику численности и плотности населения, но и адаптивные сдвиги в демографической структуре популяции, ее генетическом составе, интенсивности размножения (Шилов, 1988).

Закономерный характер развития вспышки массового размножения во времени и пространстве детерминирует прохождение пяти последовательных фаз: нарастания, максимума, разреживания, депрессии и восстановления численности (Исаев и др., 1984).

Лесоэкологические условия и региональная специфика трофических связей существенным образом влияют на продолжительность и периодичность градаций шелкопряда. В пихтовых лесах вспышки массового размножения отличаются высоким уровнем интенсивности и скоротечностью градационных процессов: интенсивный подъем численности до максимума проходит в течение 3-5 лет и столь же быстро снижается (2-4 года). При проведении крупномасштабных лесозащитных обработок насаждений темп спада численности резко усиливается. Средняя продолжительность вспышки в пихтовых лесах составляет 10 лет. За этот период проходит развитие 7 доминантных поколений шелкопряда, из которых минимум 2 поколения развиваются по однолетнему циклу. В лиственных лесах развитие вспышек нередко принимает затяжной характер и продолжается 16 - 20 лет.

Пространственно - временная картина развития вспышки массового размножения сибирского шелкопряда тесно связана с миграциями, которые функционально скоррелированы с плотностью популяций и служат своеобразным внутривидовым механизмом регуляции численности. Миграции обуславливают выход популяций вредителя из - под контроля энтомофагов, снижают конкуренцию, ускоряют темп развития и затухания очагов, а, следовательно, продолжительность и интенсивность вспышек массового размножения.

Познание природных закономерностей, которым подчиняется динамика популяций сибирского шелкопряда, совершенно необходимо для разработки эффективных методов прогнозирования и обоснования оптимальной системы лесозащитных мероприятий, обеспечивающих своевременное выявление и локализацию очагов на ранних этапах вспышек массового размножения. Это позволит перейти к экологически обоснованному ограничению крупномасштабных авиационных и авиабактериологических обработок таежных лесов и конструктивной оценке лесохозяйственной и экономической эффективности лесозащитных мероприятий.

Литература

- Андреева Т.П. // Лесник. - 1997. - Вып. 2-3 (17). - С. 25-26.
- Беклемишев В.Н. // Бюлл. МОИП. - отд. биол. - 1960. - Том 65. - Вып. 2. - С. 41-50.
- Бигон М., Харпер Дж., Таунсенд Р. Экология. Особи, популяции и сообщества. - М.: Мир, 1989. - Том 2. - 478 с.
- Ваганов Е.А., Исаев А.С., Кондаков Ю.П. // Дендрохронология и углерод. - Каунас. - 1972. - С. 192-194.
- Воронцов А.Н. Патология леса. - М.: Лес. промыш.- 1978. - 267 с.
- Гиляров А.М. Популяционная экология. - М.: МГУ, 1990. - 189 с.
- Григорьев А.Ю // Бюллетень охраны дикой природы. - 1996. - Вып. 2. - С. 3-6.
- Гукасян А.Б. Бактериологические методы борьбы с сибирским шелкопрядом. - М.: Наука, 1970. - 127 с.
- Защита леса от вредителей и болезней // Справочник. - М. - 1988. - 413 с.
- Ильинский А.Н. Надзор за хвое- и листогрызущими вредителями в лесах и прогноз их массовых размножений. - М.: Гослесбуиздат, 1952. - 142 с.
- Исаев А.С., Ряполов В.Я. // Исследование таежных ландшафтов дистанционными методами. - Новосибирск: Наука, 1979. - С. 152 - 167.
- Исаев А.С., Хлебопрос Р.Г., Недорезов Л.В. и др. Динамика численности лесных насекомых. - Новосибирск: Наука, 1984. - 223 с.
- Коломиец Н.Г. Паразиты и хищники сибирского шелкопряда. Новосибирск: РИО СО АН СССР, 1962. - 173 с.
- Коломиец Н.Г., Артамонов С.Д. Двукрылые насекомые - энтомофаги лесных шелкопрядов. Новосибирск: Наука, 1994. - 148 с.
- Кондаков Ю.П. // Уч. зап. КГПИ. - Том 10. - 1957. - С. 144-153.
- Кондаков Ю.П. // Защита лесных насаждений от насекомых и болезней. - М. - 1963. - С 81-84.

Кондаков Ю.П. // Исследования по защите лесов Сибири. - М. - 1965. - С. 98-111.

Кондаков Ю.П. // Экология популяций лесных животных Сибири. - Новосибирск: Наука, 1974. - С. 206-265.

Кондаков Ю.П. // Экологическая оценка местообитаний лесных животных. - Новосибирск: Наука, 1987. - С. 29-40.

Кондаков Ю.П. Рекомендации по комбинированному наземному обследованию темнохвойных таежных лесов Красноярского края в целях оперативного выявления возникающих очагов массового размножения сибирского шелкопряда. - Красноярск. - 1992. - 14 с.

Кондаков Ю.П., Петренко Е.С. // Защита и охрана леса. - Красноярск. - 1974. - С. 12-14.

Крушев Л.Т. Биологические методы защиты леса от вредителей. - М.: Лес. промыш., - 1973. - 192 с.

Максимов А.А. Многолетние колебания численности животных, их причины и прогноз. - Новосибирск: Наука, 1984. - 249 с.

Межжерин В.А. // Экология. - 1979. - Вып. 3. - С. 5 - 12.

Надзор, учет и прогноз массовых размножений хвое- и листогрызущих насекомых в лесах СССР. - М.: Лес. промыш., 1965. - 524 с.

Окунев П.П. // Сб. работ по лесному хоз-ву. - М. - 1962. - Вып. 5. - С. 253-274.

Рожков А.С. Массовое размножение сибирского шелкопряда и меры борьбы с ним. - М.: Наука, 1965. - 179 с.

Ряполов В.Я. // Лесное хозяйство. - 1980. - Вып. 7. - С. 56-59.

Ряполов В.Я. // Лесное хозяйство. - 1981. - Вып. 5. - С. 66-68.

Ряполов В.Я. // Экологическая оценка местообитаний лесных животных. - Новосибирск: Наука. - 1987. - С. 76-96.

Уатт К. Экология и управление природными ресурсами. - М.: Мир, 1971. - 463 с.

Уильямсон М. Анализ биологических популяций. - М.: Мир, 1975.

Фуряев В.В. Шелкопрядники тайги и их выжигание. - М. - 1966. - 90 с.