

Оригинальная статья

УДК 630.453:595.7(571.51)

<https://doi.org/10.35885/1684-7318-2024-1-64-78>

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЗЕРВАЦИЙ СИБИРСКОГО ШЕЛКОПРЯДА (*DENDROLIMUS SIBIRICUS*) (INSECTA, LASIOCAMPIDAE) В УСЛОВИЯХ АЛТАЕ-САЯНСКОГО ГОРНО-ТАЕЖНОГО ЛЕСНОГО РАЙОНА

С. М. Сультсон , П. В. Михайлов, А. А. Горошко, Д. А. Демидко,
Н. Н. Кулакова, О. А. Слинкина, А. И. Татаринцев

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева»

Россия, 660037, г. Красноярск, проспект им. газеты «Красноярский рабочий», д. 31

Поступила в редакцию 12.03.2023 г., после доработки 30.06.2023 г., принята 02.07.2023 г., опубликована 20.03.2024 г.

Аннотация. Статья посвящена актуальной проблеме массового размножения сибирского шелкопряда (*Dendrolimus sibiricus* Tschetverikov, 1908). Исследование направлено на совершенствование системы лесопатологического мониторинга с помощью выявления устойчивости участков лесной территории к воздействию опасного фитофага. Приведены результаты анализа природы экологически оптимальных местообитаний для жизнедеятельности сибирского шелкопряда на ранних стадиях и в период массового размножения в условиях горных южно-таежных темнохвойных насаждений Красноярского края. Исследование проведено по данным материалов дистанционного зондирования, совмещенного с результатами натурного обследования поврежденных участков с популяционной характеристикой фитофага. В основу характеристики местообитаний положен тип леса и лесоводственно-таксационные показатели насаждений. В результате анализа экологических условий для размножения вредителя произведена дифференциация насаждений по уровню устойчивости к воздействию фитофага. Первичные резервации – зеленомошниковая группа типов леса, вторичные – травяная группа типов леса, третичные – сырые местообитания в понижениях рельефа местности (приручейный, травяно-болотный тип леса). Выявлена динамика плотности сибирского шелкопряда в связи со структурными особенностями древостоев. Результаты позволяют территориально обеспечить слежение за динамикой и устойчивостью чувствительных к воздействию фитофага лесных участков.

Ключевые слова: сибирский шелкопряд, Landsat, лесопатологический мониторинг, массовое размножение фитофага, дефолиация крон, сосна сибирская кедровая, пихта сибирская, плотность популяции, тип леса

 Для корреспонденции. Лаборатория «Защита леса» Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева.

ORCID и e-mail адреса: Сультсон Светлана Михайловна: <https://orcid.org/0000-0001-5679-1874>, sultson2011@yandex.ru; Михайлов Павел Владимирович: <https://orcid.org/0000-0003-3967-0709>, mihaylov.p.v@mail.ru; Горошко Андрей Александрович: <https://orcid.org/0000-0001-6461-144X>, utrom3@gmail.com; Демидко Денис Александрович: <https://orcid.org/0000-0001-6538-9828>, sawer_beetle@mail.ru; Кулакова Надежда Николаевна: <https://orcid.org/0000-0001-6900-5115>, Nadezha21@mail.ru; Слинкина Ольга Александровна: <https://orcid.org/0000-0001-9453-318X>, sloa@mail.ru; Татаринцев Андрей Иванович: <https://orcid.org/0000-0003-2969-8740>, lespat@mail.ru.

© Сультсон С. М., Михайлов П. В., Горошко А. А., Демидко Д. А., Кулакова Н. Н., Слинкина О. А., Татаринцев А. И., 2024

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЗЕРВАЦИЙ СИБИРСКОГО ШЕЛКОПРЯДА

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России на выполнение коллективом научной лаборатории «Защита леса» Сибирского государственного университета науки и технологий имени акад. М. Ф. Решетнева проекта «Фундаментальные основы защиты лесов от энтомо- и фитовредителей в Сибири» (№ FEFE-2020-0014).

Соблюдение этических норм. Исследования проводили без использования животных и без привлечения людей в качестве испытуемых.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Сультсон С. М., Михайлов П. В., Горошко А. А., Демидко Д. А., Кулакова Н. Н., Слинкина О. А., Татаринцев А. И. Экологическая характеристика резерваций сибирского шелкопряда (*Dendrolimus sibiricus*) (Insecta, Lasiocampidae) в условиях Алтае-Саянского горно-таежного лесного района // Поволжский экологический журнал. 2024. № 1. С. 64 – 78. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2024-1-64-78>

ВВЕДЕНИЕ

Важным этапом системы надзора за насекомыми – вредителями леса является изучение закономерностей ландшафтно-экологической приуроченности очагов в конкретном регионе (Ильинский, 1952; Ряполов, 1985; Бех, Данченко, 2008; Лямцев, 2018). Чтобы своевременно обнаружить начальные стадии поражения лесов насекомыми-вредителями, необходимо знать: в каких местах формируются ядра очагов и какова их природная структура (Ряполов, 1985; Лямцев, 2018). Знание местоположения участков лесов с низкой устойчивостью в границах определенного природного ландшафта в сочетании с методами дистанционного мониторинга открывает большие возможности для получения оперативной информации о состоянии лесов и своевременного принятия мер по борьбе с сибирским шелкопрядом.

Об особенностях пространственной структуры распространения вспышки в период подъема численности сибирского шелкопряда (*Dendrolimus sibiricus* Tschetverikov, 1908), а также о характере его резерваций до сих пор нет единого мнения. Резервациями принято считать такие насаждения, в которых в годы между вспышками отдельные виды вредителей сохраняются в максимальных количествах, численность истребляющих их паразитов, хищников и болезней держится на наиболее низком уровне и все остальные условия наиболее близки к оптимальным. Размножение вредителей в подобных насаждениях во время вспышки идет наиболее быстрыми темпами, и поэтому они являются первичными очагами вспышки (Ильинский, 1952; Колтунов и др., 2010; Kharuk et al., 2020). Принято считать, что для эффективного мониторинга необходимы наблюдения за резервациями сибирского шелкопряда, поскольку с этих мест возникают первичные очаги (Болдаруев, 1960; Ряполов, 1985; Лямцев, 2018; Foster et al., 2013; Egan et al., 2019).

Цель данной статьи – идентификация природных характеристик участков темной хвойных насаждений, являющихся местом начала развития вспышки численности сибирского шелкопряда в условиях Алтае-Саянского горно-таежного лесного района.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В качестве объекта изучения была выбрана область недавней (2019 – 2020 гг.) повышенной активности сибирского шелкопряда в границах темнохвойных южных горно-таежных лесов Восточного Саяна (Красноярский край, Ирбейское лесничество, Кунгусское участковое лесничество). Ландшафтный комплекс территориально относится к Южно-Сибирской горной лесорастительной зоне, Алтае-Саянскому горно-таежному лесному району. Климат района резко континентальный. Продолжительность вегетационного периода в среднем составляет 149 – 151 день. Среднегодовое количество осадков около 527 мм. Рельеф горный.

Основной кормовой культурой *D. sibiricus* в данном регионе является пихта и кедр. Породный состав во всех случаях смешанный и представлен преимущественно темнохвойными породами (*Pinus sibirica* Du Tour, 1803; *Abies sibirica* Ledeb., 1833; *Picea obovata* Ledeb., 1833). Незначительную долю (1, 2 ед.) во всех случаях составляют *Pinus sylvestris* L., 1753 и *Larix sibirica* Ledeb., 1833. В большинстве вариантов в состав древостоев входят лиственные породы (*Betula pendula* Roth, 1788 и *Populus tremula* L., 1753), которые не являются кормовыми культурами *D. sibiricus* и потенциально повышают устойчивость лесного участка к воздействию фитофага.

Основным типом леса в границах исследуемой территории (219930 га) являются черничниковые (15%) и бадановые (12%) темнохвойные формации. Меньшую площадь занимают багульниково-бадановый (11%), зеленомошниковый (8%), осочково-разнотравный (2%), приручейный (2%), зеленомошно-багульниковый (1%) и травяно-болотный (0.3%) типы леса.

Динамика развития вспышки рассмотрена по материалам спутниковых данных (Foster et al., 2013; Egan et al., 2019; Bright et al., 2020; Kharuk et al., 2020). Для анализа развития вспышки сибирского шелкопряда использовался временной ряд спутниковых снимков Landsat – 8, полученных с геопортала Earth Explorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) с пространственным разрешением Ground Sample Distance (GSD) 30 м. Анализ проведен за период с июня 2018 по август 2020 гг. Количество сцен по данным космоснимков на определённую дату приведены в табл. 1.

Таблица 1. Периоды наблюдений

Table 1. Observation periods

Снимок / Landsat scene ID	Дата съемки / Scene date
LC08_L1TP_141022_20180812_20180815_01_T1	25.06.2018
LC08_L1TP_141022_20180929_20181009_01_T1	29.09.2018
LC08_L1TP_140022_20190504_20190520_01_T1	04.05.2019
LC08_L1TP_141022_20190730_20190801_01_T1	30.07.2019
LC08_L1TP_140022_20190909_20190917_01_T1	09.09.2019
LC08_L1TP_141022_20200513_20200526_01_T1	13.05.2020

Исследуемый участок ограничен координатами 54.69600° с. ш., 95.74550° в. д.; 55.17220° с. ш., 95.34970° в. д.; 55.17490° с. ш., 96.29150° в. д.; 54.69600° с. ш., 96.29120° в.д.

Детальный анализ развития очага *D. sibiricus* проводился с 29 сентября 2018 г. Эта дата явилась начальным моментом визуальной фиксации на снимках повреждения насаждений в результате объедания крон деревьев гусеницами *D. sibiricus*. Площадь повреждений по наиболее выраженным визуальным фазам развития вспышки представлена в табл. 2.

Таблица 2. Площадь повреждений по данным дистанционного мониторинга

Table 2. Damaged area according to remote monitoring data

Дата / Date	Площадь поражения, га / Damaged area, ha
29.09.2018	109.7
30.07.2019	2885.1
09.09.2019	16133.2

Дополнительно в работе использованы результаты наземных обследований данной территории, проведенных специалистами-лесопатологами Центра защиты леса Красноярского края в течение сентября 2019 г. (Обоснование..., 2020). На момент обследования вспышка численности шелкопряда находилась в эруптивной фазе цикла. Данные получены по результатам 140 пробных площадей, подобранных случайным образом. Количество пробных площадей, заложенных в пределах каждого типа леса, пропорционально их представленности. Общая площадь территории обследования ставила 5123 га. На каждой пробной площади учтена лесоводственно-таксационная характеристика насаждений. В пределах каждого участка с целью определения степени дефолиации крон обследовано от 31 до 44 учётных дерева. Получение гусениц осуществлялось методом «околата» 3 – 5 модельных деревьев на каждой пробной площади. Определялась абсолютная численность (плотность) популяции сибирского шелкопряда и возрастная группа (Обоснование..., 2020).

Для оценки кормовой базы вредителя использовался плано-картографический материал лесоустройства и таксационная характеристика насаждений. В основу рассмотрения экологических характеристик участков начала распространения вспышки численности *D. sibiricus* положены границы таксационных выделов и их лесотипологическая характеристика, которая сочетает в себе комплекс однородных экологических факторов по рельефу (экспозиции, крутизне склона), почвенно-гидрологическим условиям и характеру фитоценоза.

Для обработки данных и построения графиков использовался язык статистического программирования R 4.2.2 (R Core Team, 2022) и графическая среда RStudio 2022.07.1 (RStudio Team, 2022). Построение графиков выполнялось при помощи пакета ggplot2 3.4.1 (Wickham, 2016).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Центры инвазий сибирского шелкопряда приурочены к темнохвойным лесным формациям. Значительная дифференциация по уровню устойчивости участков древостоев, в зависимости от лесорастительных условий (типов леса) является наиболее выраженной при формировании данных о резервациях фитофага (Бех, Данченко, 2008). В табл. 3 приведены дифференцированные результаты распределения деревьев по степени дефолиации гусеницами *D. sibiricus* с учетом типа леса и таксационной характеристики насаждений. Возрастная структура гусениц фитофага на момент наблюдения (сентябрь 2019 г.) была представлена преимуще-

ственно особями третьего и четвертого возрастов. Больные и паразитированные гусеницы отсутствовали (Обоснование..., 2020).

Таблица 3. Зависимость степени повреждения темнохвойных лесов сибирским шелкопрядом (*D. sibiricus*) от лесорастительных условий

Table 3. Influence of site conditions on the degree of damage to dark coniferous stands (Siberian pine-/spruce-/fir-dominated stands) by the Siberian silkmoth (*D. sibiricus*)

Преобладающая порода / Dominant species	Возраст древостоев, лет / Stand age, years	Бонитет / Bonitet class	Относительная полнота / Relative density	Соотношение участков по влажности почвы, % / Sites division by soil moisture, %	Распределение учетных деревьев по степени объедания, % (степень повреждения/количество выделов) / Trees distribution by defoliation level, % (degree of damage/number of mapping units)				Число выделов, шт. / Number of mapping units
					<25	25–49	50–75	>75	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Черничный тип леса / Blueberry forest type									
К/Р	70–220	3–4	0.5–0.9	1* – 100	100	0	0	0	4
					70	10	20	0	9
					65	15	10	10	5
					60	40	0	0	6
					30	0	40	30	8
					25	0	65	10	4
Площадь выделов, га / Доля от общей площади поврежденных участков, % / Mapping units area, ha / Proportion in all the damaged area, %									1431 / 27.9
Зеленомошный тип леса / Feather moss forest type									
П/А	100–210	3–4	0.4–0.8	1 – 80 2 – 20	100	0	0	0	5
					70	20	10	0	6
					60	20	10	10	5
					40	30	20	10	8
					0	0	0	0	8
Площадь выделов, га / Доля от общей площади поврежденных участков, % / Mapping units area, ha / Proportion in all the damaged area, %									559 / 10.9
Бадановый тип леса / Bergenia forest type									
К/Р	140–180	4	0.6–0.8	1 – 100	80	10	10	0	9
					65	15	20	0	7
					40	40	20	0	6
					0	0	0	0	5
Площадь выделов, га / Доля от общей площади поврежденных участков, % / Mapping units area, ha / Proportion in all the damaged area, %									668 / 13.0
Вейниково-крупнотравный тип леса / Reed grass/tall herb forest type									
П/А	70–220	4	0.4–0.6	1 – 100	100	0	0	0	4
					95	15	0	0	3
					85	10	5	0	5
					85	5	10	0	3
					60	30	10	0	3
					50	30	10	10	4
					30	60	10	0	1
					0	0	0	0	1
Площадь выделов, га / Доля от общей площади поврежденных участков, % / Mapping units area, ha / Proportion in all the damaged area, %									1748 / 34.1

Окончание табл. 3
Table 3. Continuation

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Осочково-разнотравный тип леса / Sedge/herb-rich forest type									
K/P	120–220	3	0.5–0.6	1 – 100	100	0	0	0	4
					90	10	0	0	3
Площадь выделов, га / Доля от общей площади поврежденных участков, % / Mapping units area, ha / Proportion in all the damaged area, %									131 / 2.5
Приручейный тип леса / Stream forest type									
E/S	130–210	3–4	0.5–0.6	3 – 80	100	0	0	0	2
				2 – 10	90	0	0	0	3
				1 – 10					
Площадь выделов, га / Доля от общей площади поврежденных участков, % / Mapping units area, ha / Proportion in all the damaged area, %									512 / 10.0
Травяно-болотный тип леса / Herbs/swamp forest type									
E/S	110	5	0.5–0.6	3 – 100	85	15	0	0	1
					0	0	0	0	3

Примечание. *Влажность почвы: 1 – свежая, 2 – влажная, 3 – сырая; К – сосна кедровая сибирская, П – пихта сибирская, Е – ель сибирская.

Note. * Soil moisture: 1 – slightly moist, 2 – moist, 3 – wet; P – Siberian pine *Pinus sibirica*, A – Siberian fir *Abies sibirica*, S – Siberian spruce *Picea obovate*.

Анализ показывает неоднородность структуры повреждений в различных типах леса. Частота случаев значительной и сильной (до 75% и более) дефолиации крон деревьев преимущественно характерна для черничного типа леса, а также зеленомошного. В бадановой и вейниково-крупнотравной темнохвойных формациях преобладают деревья с дефолиацией крон до 50%, что свидетельствует о более позднем повреждении этих участков в процессе развития вспышки. Слабые повреждения (до 25%) свойственны осочково-разнотравному типу леса и местообитаниям с влажными и сырыми почвами (приручейный и травяно-болотный тип леса). Абсолютные показатели заселенности гусеницами сибирского шелкопряда также показывают значительные отличия между типами леса. На участках, приуроченных к свежим местообитаниям, количество гусениц на одно модельное дерево достигает 2000 и более, во влажных (сырых) местообитаниях – до 400 гусениц (Обоснование..., 2020).

Сопоставление наземных результатов с данными космоснимков в дальнейшем процессе развития вспышки подтвердило наибольшие повреждения участков лесов черничного, зеленомошного, баданового и вейниково-крупнотравного типов леса (табл. 4). В анализ были включены выделы с повреждениями более 15% площади.

В результате детальный анализ первичных очагов вспышки показал, что повреждённые древостои представлены в основном пихтарниками черничными и зеленомошными (зеленомошная группа типов леса) (Sultson et al., 2021). Пихтарники черничные преимущественно концентрируются на склонах южной экспозиции. Кедровники черничные широко представлены на северных, северо-западных и северо-восточных склонах. Исследованиями экологии *D. sibiricus* доказана приуроченность резерваций к данной группе типов леса (Флоров, 1948; Журавлев,

1960; Рожков, 1965; Кондаков, 1974; Гродницкий и др., 2002; Бех, Данченко, 2008; Kharuk et al., 2020). Насаждения, в живом напочвенном покрове которых преобладают зеленые мхи, характеризуются наиболее дренированными и прогреваемыми участками, произрастающими на рыхлых, относительно свежих и пористых, без признаков оглеения дерново-подзолистых почвах (Ряполов, 1985, 2001).

Таблица 4. Динамика повреждения темнохвойных древостоев по данным космоснимков на определенную дату

Table 4. Dynamics of damage to dark coniferous stands according to satellite imagery on a specific date

Тип леса / Forest type	Площадь повреждений / Damaged area	
	га / ha	%
30.07.2019		
Черничный / Blueberry	1078.8	37.4
Зеленомошный / Feather moss	707.1	24.5
Вейниково-крупнотравный / Reed grass/tall herb	527.4	18.3
Бадановый / Bergenia	460.3	16.0
Приручейный / Stream	82.7	2.8
Осочково-разнотравный / Sedge/herb-rich	17.1	0.6
Травяно-болотный / Herbs/swamp	11.6	0.4
Общая площадь повреждений / Total damaged area	2885.0	100
09.09.2019		
Черничный / Blueberry	6248.8	38.7
Зеленомошный / Feather moss	3795.8	23.5
Вейниково-крупнотравный / Reed grass/tall herb	3067.0	19.0
Бадановый / Bergenia	2433.9	15.1
Приручейный / Stream	467.9	2.9
Осочково-разнотравный / Sedge/herb-rich	95.6	0.6
Травяно-болотный / Herbs/swamp	24.3	0.2
Общая площадь повреждений / Total damaged area	16133.3	100

На лесных участках, расположенных на склонах южных экспозиций, наблюдается более ранний сход снежного покрова, чем на других формах рельефа, и более поздние осенние заморозки, что увеличивает продолжительность питания гусениц вредителя в кронах деревьев. Аэрация, гидротермический режим почвы и мощность подстилки определяют здесь лучшие условия для зимовки гусениц сибирского шелкопряда (Флоров, 1948; Ильинский, 1952; Рожков, 1965; Исаев и др., 1984). Выход гусениц после зимовки, как правило, начинается, когда температура под моховой подстилкой достигнет +2°C, а температура воздуха +7°C. При понижении температуры почвы до +1°C и до 0°C выход гусениц прекращается (Флоров, 1948). Зимуют гусеницы под моховой подстилкой не ближе, чем на 17 – 18 см от поверхности. Наличие оптимальных условий гидротермических режимов напочвенного и почвенного покровов, значительных запасов основной кормовой породы вредителя (*A. sibirica* и *P. sibirica*) способствует ускоренному развитию гусениц сибирского шелкопряда и повышенной выживаемости в кронах и в подстилке. Учитывая масштабы распространения зеленомошной группы типов леса (черничный 15% от покрытой лесом площади, зеленомошный – 8%), необходимо

заклучить, что такие природные комплексы являются первоочередными объектами для надзора за вредителями в период между вспышками размножения.

В процессе хронологии разрастания очагов во времени установлено, что несколько позднее в зону повреждений попадают близлежащие участки темнохвойных лесов травяной группы типов леса, расположенные на склонах различных экспозиций. Преимущественно это кедровники бадановые на крутых склонах и пихтарники вейниково-крупнотравные, произрастающие на выположенных участках рельефа и склонах южной экспозиции. Как правило, в очагах сильная дефолиация крон всегда осуществляется собственной микропопуляцией сибирского шелкопряда, а не мигрантами, хотя уровень миграционной активности гусениц в период вспышки численности очень высок (Флоров, 1948; Рожков, 1965; Кондаков, 1974; Гродницкий и др., 2002; Foster et al., 2013). Одной из причин быстрого распространения и расселения сибирского шелкопряда по лесу является наличие больших площадей хвойных насаждений, а также рельеф местности (Рожков, 1965; Бех, Данченко, 2008; Foster et al., 2013). В данном случае бадановая группа типов леса чаще всего встречается на крутых склонах, произрастающих на слабопodzolistых среднemocных каменистых почвах. А. С. Исаевым с соавторами (1984, 2008), которыми установлено, что очаги вредителя практически не возникают на крутых эрозийных склонах, маломощных почвах, щебнистых отложениях, отсюда следует, что массовое заселение территории этих участков гусеницами фитофага произошло в процессе миграции вредителя. Согласно литературным данным вейниково-крупнотравные темнохвойные формации с малой долей вероятности могут выступать благоприятными местами для зимовки гусениц (Рожков, 1965; Кондаков, 1974). Однако температурно-влажностный режим таких участков, обусловленный рельефом местности в момент развития вспышки в совокупности с наличием кормовой базы, создает экологически оптимальные местообитания при расселении популяции фитофага в момент вспышки. Таким образом, бадановый и вейниково-крупнотравный типы леса следует рассматривать как вторичные или субоптимальные местообитания.

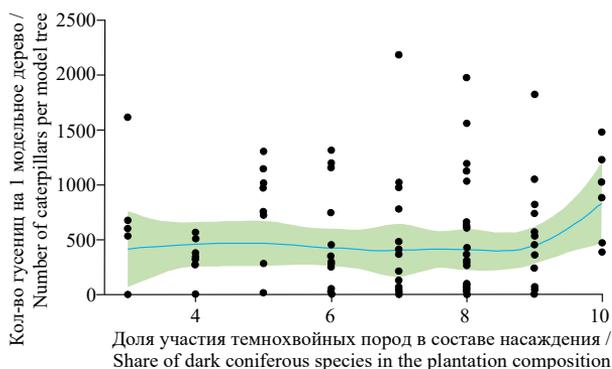
К третичным резервациям на исследуемой территории следует отнести участки приручейного и травяно-болотного типов леса. Экологические составляющие данных местообитаний нельзя назвать благоприятными для жизнедеятельности фитофага. *D. sibiricus* избегает сырых, холодных местообитаний, заболоченных участков, формирующихся, как правило, в пониженных участках рельефа типа сточных котловин и днищ рек с еловыми лесами (Молчанов, 1961; Исаев и др., 1984; Ряполов, 1985, Гродницкий и др., 2002; Foster et al., 2013). Такие участки фитофаг заселяет неохотно, и если в период лета бабочки шелкопряда и отложат в таких насаждениях свои яйца, то плотность заселения в них никогда не бывает большой (Журавлев, 1960). Также низкие показатели плотности популяции и повреждений древостоев характерны для осочково-разнотравного типа леса, произрастающего на свежих почвах. Участки данного типа леса потенциально также могут рассматриваться как третичные резервации в момент развития вспышки, на которые приходится всего 2% покрытой лесом площади.

Отдельной частью исследования явилась попытка проследить зависимость плотности популяции фитофага в зависимости от структуры лесного массива (по-

родного состава, полноты древостоя), так как от данного фактора зависит не только площадь кормовой базы, но и формируется определенный микроклимат, который может предопределять благоприятность существования популяции вредителя под пологом определенных древостоев. Исследуемая часть повреждённых *D. sibiricus* насаждений представлена средневозрастными, спелыми и перестойными темнохвойными формациями, произрастающими в среднепродуктивных лесорастительных условиях (3, 4 класс бонитета). Относительная полнота древостоя варьирует в диапазоне от 0.4 до 0.9 (см. табл. 3).

На рис. 1 показана зависимость плотности популяции (количества гусениц на одно модельное дерево) фитофага в зависимости от доли участия темнохвойной породы (*P. sibirica* и *A. sibirica*) в общем составе древостоя. Анализ диаграммы показывает закономерные увеличения численности гусениц с увеличением в составе доли *P. sibirica* и *A. sibirica*, что является справедливым при освоении фитофагом кормовой базы. При доле участия *P. sibirica* и *A. sibirica* до 4 единиц плотность популяции не превышает 600 гусениц на одно модельное дерево. При увеличении доли темнохвойной породы (от 5 единиц и более) плотность популяции превышает данный предел в 3.6 раза и достигает более 2000 штук на одно модельное дерево.

Отрицательное влияние на расселение *D. sibiricus* оказывает примесь лиственных пород. Наличие вблизи очага заражения больших площадей березовых древостоев (с участием в составе от 6 единиц) совершенно прекращает распространение вредителя (Флоров, 1948; Бех, Данченко, 2008; Колтунов и др., 2010; Kharuk et al., 2020). Также в работах отмечается, что хвоя *P. obovata* менее привлекательна для *D. sibiricus* (Журавлев, 1960). Присутствие ели в составе является индикатором малоблагоприятных условий для развития фитофага. По данным А. С. Исаева с соавторами (1984), в сильно поврежденных насаждениях участие ели в составе не



доля кормовой породы (*P. sibirica* и *A. sibirica*) составляет от 5 до 10 единиц в составе. При увеличении в составе доли *P. obovata*, *P. sylvestris*, *B. pendula* и *P. tremula* плотность популяции снижается.

С относительной полнотой древостоя связаны температурно-влажностные условия местообитаний фитофага. Степень заселенности исследуемых насаждений гусеницами сибирского шелкопряда в зависимости от данного показателя представлена на рис. 2.

Анализ результатов показывает преимущественную заселенность гусеницами сибирского шелкопряда среднеполнотных насаждений с относительной полнотой от 0.5 до 0.7. Низкий показатель плотности популяции фитофага характерен для участков леса с полнотой 0.4 и 0.9.

Полученные результаты согласуются с исследованиями, проведенными ранее (Флоров, 1948; Исаев, Ряполов, 1979; Исаев и др., 1984; Ряполов, 1985; Гродницкий и др., 2002; Бех, Данченко, 2008). В совокупности факторов данное явление обусловлено особенностями строения темнохвойных древостоев, которые лишь иногда представлены рединами с полнотой 0.4 и менее. Низкая плотность гусениц сибирского шелкопряда наблюдалась с относительной полнотой древостоя равной 0.9, поскольку минимальные температуры с увеличением густоты (относительной полноты) древостоя уменьшаются (Молчанов, 1961).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из комплексного анализа природных характеристик повреждённых насаждений для исследуемой территории сформировалась картина вероятных резерваций фитофага, которые сочетают в себе оптимальные экологические условия для его размножения и распространения. Данные участки необходимо рассматривать как первоочередные объекты мониторинга.

В рамках изучения природной особенности развития вспышки численности *D. sibiricus* в условиях южных горно-таежных лесов Красноярского края выявлены закономерности ландшафтной приуроченности участков повреждённых насаждений к определённым элементам рельефа и типам леса. Первичными резервациями сибирского шелкопряда выступают черничные и зеленомошные типы леса, располагающиеся на пологих склонах. Отсутствует однозначная позиция по экспозиции

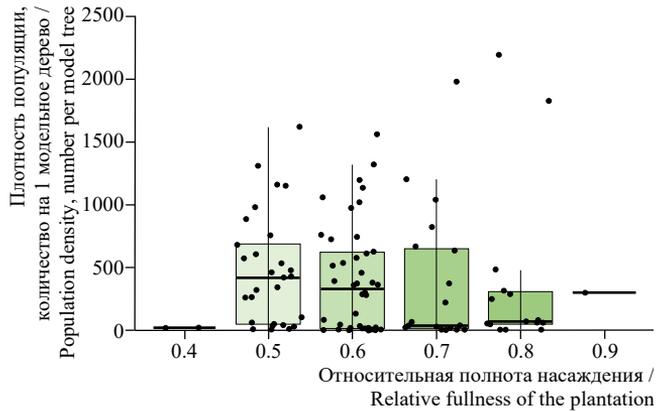


Рис. 2. Зависимость плотности популяции сибирского шелкопряда от относительной полноты древостоя

Fig. 2. Dependence of the Siberian silkmoth population density on the relative stand density

склона. Участки расположены как на южных, так и иных экспозициях в силу масштабного распространения зеленомошной группы типов леса по исследуемой территории. Вторичными резервациями, к которым следует отнести участки с дальнейшими повреждениями в процессе развития вспышки, являются травяные типы леса – бадановый, на крутых склонах, вейниково-крупнотравный, осочково-разнотравный. Третичные резервации представлены сырыми и влажными местообитаниями, которые включают травяно-болотный и приручейный типы леса. Структурными признаками стадий с максимальной заселенностью гусеницами фитофага являются породный состав с долей участия к *P. sibirica* и *A. sibirica* от пяти единиц и более, относительной полнотой от 0.5 до 0.7, возрастное состояние, соответствующее стадии средневозрастной, спелой или перестойной группе возраста. Дифференцированный анализ в каждом типе резерваций позволяет по комплексу признаков прогнозировать устойчивость насаждения при массовом размножении опасного вредителя и своевременно применить необходимые лесозащитные мероприятия.

Авторы выражают благодарность Центру защиты леса Красноярского края за предоставленную информацию, а также Красноярскому центру коллективного пользования Федерального исследовательского центра Сибирского отделения Российской академии наук за предоставленное оборудование.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бех И. А., Данченко А. М. Параметры устойчивости темнохвойно-кедровых лесов равнинной тайги Западной Сибири // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2008. № 1 (2). С. 57 – 62.

Болдаруев В. О. Итоги и перспективы изучения и истребления сибирского шелкопряда в Восточной Сибири // Материалы по проблемам сибирского шелкопряда. Новосибирск: Изд-во Сиб. отд-ния АН СССР, 1960. С. 3 – 10.

Гродницкий Д. Л., Разнобарский В. Г., Солдатов В. В., Ремарчук Н. П. Деградация древостоев в таежных шелкопрядицах // Сибирский экологический журнал. 2002. Т. 9, спец. вып. 1. С. 3 – 12.

Журавлёв Г. П. Рекомендации по надзору за сибирским шелкопрядом в лесах Дальнего Востока. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 1960. 33 с.

Ильинский А. И. Надзор за хвое- и листогрызущими вредителями в лесах и прогноз их массовых размножений: наставление. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1952. 144 с.

Исаев А. С., Ряполов В. Я. Анализ ландшафтно-экологической приуроченности очагов сибирского шелкопряда с применением аэрокосмической съемки // Исследование таежных ландшафтов дистанционными методами. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1979. С. 152 – 167.

Исаев А. С., Хлебопрос Р. Г., Недорезов Л. В., Гительзон И. И. Динамика численности лесных насекомых. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1984. 223 с.

Исаев А. С., Суховольский В. Г., Бузыкин А. И., Овчинникова Т. М. Сукцессионные процессы в лесных сообществах: модели фазовых переходов // Хвойные бореальной зоны. 2008. Т. 25, № 1-2. С. 9 – 15.

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

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЗЕРВАЦИЙ СИБИРСКОГО ШЕЛКОПРЯДА

Колтунов Е. В., Бахвалов С. А., Мартемьянов В. В. Факторы и экологические механизмы популяционной динамики лесных насекомых-филлофагов. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. 296 с.

Лямцев Н. И. Прогнозирование массовых размножений непарного шелкопряда, угрозы повреждения дубрав и необходимости защитных мероприятий. Пушкино: ВНИИЛМ, 2018. 84 с.

Молчанов А. А. Лес и климат. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 278 с.

Обоснование проведения химических мероприятий по уничтожению или подавлению численности сибирского шелкопряда авиационным способом в насаждениях Ирбейского и Саянского лесничеств Красноярского края в 2020 году / ФБУ «Рослесозащита» «ЦЗЛ Красноярского края». Красноярск, 2020. 74 с.

Окунев П. П. Географическое распространение и зоны вредности сибирского шелкопряда // Географический сборник. Т. 5. Географические вопросы лесного хозяйства. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1955. С. 13 – 24.

Рождов А. С. Массовое размножение сибирского шелкопряда и меры борьбы с ним. М.: Наука, 1965. 180 с.

Ряполов В. Я. Методика составления карт повреждаемости лесов насекомыми-вредителями // География и природные ресурсы. 1985. № 2. С. 97 – 106.

Ряполов В. Я. Формирование избыточно-плотных популяций чёрного пихтового усача в очагах хвоегрызущих насекомых и его численность в разреженных популяциях // Леса Урала и хозяйство в них. 2001. № 21. С. 319 – 333.

Флоров Д. Н. Вредитель сибирских лесов (сибирский шелкопряд). Иркутск: Иркутское обл. изд-во, 1948. 132 с.

Bright B. C., Hudak A. T., Egan J. M., Jorgensen C. L., Rex F. E., Hicke J. A., Arjan J. H. Meddens using satellite imagery to evaluate bark beetle-caused tree mortality reported in aerial surveys in a mixed conifer forest in Northern Idaho, USA // *Forests*. 2020. Vol. 11, № 5. Article number 529. <https://doi.org/10.3390/f11050529>

Egan J. M., Kaiden J., Lestina J., Stasey A., Jenne J. L. Techniques to Enhance Assessment and Reporting of Pest Damage Estimated with Aerial Detection Surveys. Missoula, USA: U.S. Department of Agriculture, 2019. 33 p. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.34512.94729>

Foster J. R., Townsend P. A., Mladenoff D. J. Spatial dynamics of a gypsy moth defoliation outbreak and dependence on habitat characteristics // *Landscape Ecology*. 2013. Vol. 28, iss. 7. P. 1307 – 1320.

Kharuk V. I., Im S. T., Soldatov V. V. Siberian silkmoth outbreaks surpassed geoclimatic barrier in Siberian Mountains // *Journal of Mountain Science*. 2020. Vol. 17, iss. 8. P. 1891 – 1900. <https://doi.org/10.1007/s11629-020-5989-3>

R Core Team R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2022. Available at: <https://www.R-project.org/> (accessed October 10, 2022).

RStudio Team RStudio: Integrated Development Environment for R. Boston: RStudio, PBC, 2022. Available at: <http://www.rstudio.com/> (accessed October 10, 2022).

Sultson S. M., Goroshko A. A., Mikhaylov P. V., Demidko D. A., Ponomarev E. I., Verkhovets S. V. Improving the monitoring system towards early detection and prediction of the Siberian moth outbreaks in Eastern Siberia // *Proceedings of the 1st International Electronic Conference on Entomology*. Basel: MDPI, 2021. Article number 10403. <https://doi.org/10.3390/IECE-10403>

Wickham H. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. New York: Springer-Verlag, 2016. Available at: <https://ggplot2.tidyverse.org> (accessed October 10, 2022).

Ecological characteristics of the siberian silkmoth (*Dendrolimus sibiricus*) (Insecta, Lasiocampidae) habitat in the Sayan montane conifer forests ecoregion

S. M. Sultson , P. V. Mikhailov, A. A. Goroshko, D. A. Demidko, N. N. Kulakova, O. A. Slinkina, A. I. Tatarintsev

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31 Krasnoyarskiy rabochiy avenue, Krasnoyarsk 660037, Russia

Received: March 12, 2023 / revised: June 30, 2023 / accepted: July 2, 2023 / published: March 20, 2024

Abstract. The article is devoted to studying the siberian silkmoth (*Dendrolimus sibiricus* Tschetverikov, 1908) outbreaks, which is highly relevant today. The study was aimed at improving the system of forest pathology monitoring by revealing factors contributing to forest stand resistance to the pest attacks. We analyze the habitat conditions that are favorable for the siberian silkmoth in the early stages of its development and during the outbreak in dark coniferous taiga in the mountains of Southern Siberia (particularly, the Krasnoyarsk region). The research was based on remote sensing data combined with field data obtained in disturbed forests where we also conducted a pest population assessment. The habitat characteristics were based on the forest type and silvicultural and forest inventory details. We analyzed environmental conditions and their influence on the pest reproduction. As a result, we divided the forest stands by their resistance to insect attacks. Primary habitats are stands with moss-covered forest floor, secondary habitats are stands with herbs-covered forest floor, and tertiary habitats are depressions with wet soils (forests along streams or swamp forests). We revealed the *D. sibiricus* population density dynamics related to the forest stands structure. The present research lets us determine forest sites vulnerable to pest attacks and conduct spatial monitoring of their dynamics and resistance.

Keywords: *Dendrolimus sibiricus*, Landsat, forest pathology monitoring, out-breaks, defoliation, *Pinus sibirica*, *Abies sibirica*, population density, forest type

Funding. The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Education and Science of Russia for the team of the scientific laboratory “Forest Protection” of the Reshetnev Siberian State University of Science and Technology Project “Fundamental Bases of Forest Protection from Entomo- and Phytopests in Siberia” (No. FEFE-2020-0014).

Ethics approval and consent to participate: This work does not contain any studies involving human and animal subjects.

Competing interests: The authors have declared that no competing interests exist.

 **Corresponding author.** Laboratory “Forest Protection” of the Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Russia.

ORCID and e-mail addresses: Svetlana M. Sultson: <https://orcid.org/0000-0001-5679-1874>, sultson2011@yandex.ru; Pavel V. Mikhailov: <https://orcid.org/0000-0003-3967-0709>, mihaylov.p.v@mail.ru; Andrey A. Goroshko: <https://orcid.org/0000-0001-6461-144X>, utrom3@gmail.com; Denis A. Demidko: <https://orcid.org/0000-0001-6538-9828>, sawer_beetle@mail.ru; Nadezhda N. Kulakova: <https://orcid.org/0000-0001-6900-5115>, Nadezha21@mail.ru; Olga A. Slinkina: <https://orcid.org/0000-0001-9453-318X>, sloa@mail.ru; Andrey I. Tatarintsev: <https://orcid.org/0000-0003-2969-8740>, lespat@mail.ru.

For citation: Sultson S. M., Mikhailov P. V., Goroshko A. A., Demidko D. A., Kulakova N. N., Slinkina O. A., Tatarintsev A. I. Ecological characteristics of the siberian silkmoth (*Dendrolimus sibiricus*) (Insecta, Lasiocampidae) habitat in the Sayan montane conifer forests ecoregion. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2024, no. 1, pp. 64–78 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2024-1-64-78>

REFERENCES

- Beh I. A., Danchenko A. M. Parameters of sustainability of taiga dark coniferous – Siberian stone pine forests in West Siberian Plane. *Tomsk State University Journal of Biology*, 2008, no. 1 (2), pp. 57–62 (in Russian).
- Boldaruev V. O. Results and prospects of the study and control of the Siberian silk moth in Eastern Siberia. In: *Materialy po problemam sibirskogo shelkopriada* [Materials on the Problems of the Siberian Silkworm]. Novosibirsk, Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences Publ., 1960, pp. 3–10 (in Russian).
- Grodnitsky D. L., Raznobarsky V. G., Soldatov V. V., Remarchuk N. P. Degradation of tree stands in taiga forests, damaged by silk worms. *Contemporary Problems of Ecology*, 2002, vol. 9, spec. iss. 1, pp. 3–12 (in Russian).
- Zhuravlev G. P. *Rekomendatsii po nadzoru za sibirskim shelkopriadam v lesakh Dal'nego Vostoka* [Recommendations on Surveillance of Siberian Silkworm in the Forests of the Far East]. Khabarovsk, Far East Research Institute of Forestry Publ., 1960. 33 p. (in Russian).
- Ilyinsky A. I. *Nadzor za khvoe- i listogryzushchimi vrediteliami v lesakh i prognoz ikh massovykh razmnozhenii: nastavlenie* [Surveillance of Coniferous and Leaf-eating Pests in Forests and Forecast of Their Mass Reproduction: Instruction]. Moscow, Leningrad, Goslesbumizdat, 1952. 144 p. (in Russian).
- Isaev A. S., Ryapolov V. Ya. Analysis of landscape-ecological confinement of Siberian silkworm foci using aerospace imagery. In: *Issledovanie taezhnykh landshaftov distantsionnymi metodami* [Research of Taiga Landscapes by Remote Sensing Methods]. Novosibirsk, Nauka, 1979, pp. 152–167 (in Russian).
- Isaev A. S., Khlebopros R. G., Nedorezov L. V., Gitelzon I. I. *Dinamika chislennosti lesnykh nasekomykh* [Dynamics of the Number of Forest Insects]. Novosibirsk, Nauka, 1984. 223 p. (in Russian).
- Isaev A. S., Sukhovolsky V. G., Buzykin A. I., Ovchinnikova T. M. Successional processes in forest communities: Models of phase transitions. *Conifers of the Boreal Area*, 2008, vol. 25, no. 1-2, pp. 9–15 (in Russian).
- Kondakov Yu. P. Regularities of mass reproduction of Siberian silkworm. In: *Ekologiya populatsii lesnykh zhitovnykh Sibiri* [Ecology of Populations of Forest Animals of Siberia]. Novosibirsk, Nauka, 1974, pp. 206–265 (in Russian).
- Koltunov E. V., Bakhvalov S. A., Martemyanov V. V. *Faktory i ekologicheskie mekhanizmy populatsionnoi dinamiki lesnykh nasekomykh-fillofagov* [Factors and Ecological Mechanisms of Population Dynamics of Forest Insect Phylophages]. Novosibirsk, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences Publ., 2010. 296 p. (in Russian).
- Lyamtsev N. I. *Prognozirovanie massovykh razmnozhenii neparnogo shelkopriada, ugrozy povrezhdeniya dubrav i neobkhodimosti zashchitnykh meropriyatii* [Forecasting Mass Reproduction of Gypsy Moths, Threat of Damage to Oak Forests and the Need for Protective Measures]. Pushkino, All-Russian Research Institute of Forestry and Mechanization of Forestry Publ., 2018. 84 p. (in Russian).
- Molchanov A. A. *Les i klimat* [Forest and Climate]. Moscow, Izdatel'stvo AN SSSR, 1961. 278 p. (in Russian).

Obosnovanie provedeniia khimicheskikh meropriiati po unichtozheniiu ili podavleniiu chislennosti sibirskogo shelkopriada aviatsionnym sposobom v nasazhdeniakh Irbeiskogo i Saianskogo lesnichestv Krasnoiarskogo kraia v 2020 godu [Justification of Chemical Measures to Destroy or Suppress the Number of Siberian Silkworm by Aviation in the Plantations of Irbeysk and Sayansk Lesnichestvo Krasnoyarsk Region in 2020]. Krasnoyarsk, FBU “Roslesozaschita” Forest Protection Center of Krasnoyarsk region Publ., 2020. 74 p. (in Russian).

Okunев P. P. Geographical distribution and pest zones of Siberian silkworm. In: *Geograficheskie sbornik. T. 5. Geograficheskie voprosy lesnogo khoziaistva* [Geographical Collection. Vol. 5. Geographical Questions of Forestry]. Moscow, Leningrad, Izdatel'stvo AN SSSR, 1955, pp. 13–24 (in Russian).

Rozhkov A. S. *Massovoe razmnozhenie sibirskogo shelkopriada i mery bor'by s nim* [Mass Reproduction of Siberian Silkworm and Measures to Combat It]. Moscow, Nauka, 1965. 180 p. (in Russian).

Ryapolov V. Ya. Methodology of drawing up maps of forest damage by insect pests. *Geography and Natural Resources*, 1985, no. 2, pp. 97–106 (in Russian).

Ryapolov V. Ya. Formation of excessively dense populations of the black fir moustache in the foci of coniferous insects and its abundance in sparse populations. *Lesy Urala i khoziaistvo v nikh*, 2001, no. 21, pp. 319–333 (in Russian).

Florov D. N. *Vreditel' sibirskikh lesov (sibirskii shelkopriad)* [Pest of Siberian Forests (Siberian Silkworm)]. Irkutsk, Irkutskoe oblastnoe izdatel'stvo, 1948. 132 p. (in Russian).

Bright B. C., Hudak A. T., Egan J. M., Jorgensen C. L., Rex F. E., Hicke J. A., Arjan J. H. Meddens using satellite imagery to evaluate bark beetle-caused tree mortality reported in aerial surveys in a mixed conifer forest in Northern Idaho, USA. *Forests*, 2020, vol. 11, no. 5, article no. 529. <https://doi.org/10.3390/f11050529>

Egan J. M., Kaiden J., Lestina J., Stasey A., Jenne J. L. *Techniques to Enhance Assessment and Reporting of Pest Damage Estimated with Aerial Detection Surveys*. Missoula, USA, U.S. Department of Agriculture, 2019. 33 p. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.34512.94729>

Foster J. R., Townsend P. A., Mladenoff D. J. Spatial dynamics of a gypsy moth defoliation outbreak and dependence on habitat characteristics. *Landscape Ecology*, 2013, vol. 28, iss. 7, pp. 1307–1320.

Kharuk V. I., Im S. T., Soldatov V. V. Siberian silkmoth outbreaks surpassed geoclimatic barrier in Siberian Mountains. *Journal of Mountain Science*, 2020, vol. 17, iss. 8, pp. 1891–1900. <https://doi.org/10.1007/s11629-020-5989-3>

R Core Team R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria, R Foundation for Statistical Computing, 2022. Available at: <https://www.R-project.org/> (accessed October 10, 2022).

RStudio Team RStudio: Integrated Development Environment for R. Boston, RStudio, PBC, 2022. Available at: <http://www.rstudio.com/> (accessed October 10, 2022).

Sultson S. M., Goroshko A. A., Mikhaylov P. V., Demidko D. A., Ponomarev E. I., Verkhovets S. V. Improving the monitoring system towards early detection and prediction of the Siberian moth outbreaks in Eastern Siberia. In: *Proceedings of the 1st International Electronic Conference on Entomology*. Basel, MDPI, 2021, article no. 10403. <https://doi.org/10.3390/IECE-10403>

Wickham H. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. New York, Springer-Verlag, 2016. Available at: <https://ggplot2.tidyverse.org> (accessed October 10, 2022).