DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-1-1054 **EDN: XLRKHE**
УДК 630.453:595.7(571.51)

CC BY NC ND

Научная статья

АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВСПЫШКИ СИБИРСКОГО ШЕЛКОПРЯДА НА ОСНОВЕ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ В УСЛОВИЯХ ГОРНЫХ ЮЖНО-ТАЕЖНЫХ ЛЕСОВ СИБИРИ

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

Аннотация

Обоснование. Деградация темнохвойных лесов с преобладанием пихты сибирской (*Abies sibirica* Ledeb.) в результате массового размножения сибирского шелкопряда (*Dendrolimus sibiricus* Tschetv.) приводит к значительному экологическому и экономическому ущербу на региональном уровне. Идентификация экологии поведения популяции фитофага в условиях горного рельефа открывает возможности совершенствования системы мониторинга и применения цифровой модели рельефа для прогноза распространения вспышки, что позволит своевременно предпринимать активные лесозащитные мероприятия.

Цель. Провести анализ пространственно-временной динамики закономерности развития вспышки сибирского шелкопряда на основе особенностей орографических данных в условиях горных южно-таежных лесов Сибири.

Материалы и методы. Исследование проведено методом ретроспективного анализа на базе геоинформационной системы совмещенного с данными дистанционного зондирования Земли. Материалом послужил временной ряд спутниковых снимков Landsat – 8, полученных с геопортала Earth Explorer (https://earthexplorer.usgs.gov/) с пространственным разрешением данных 30 м.

Результаты. На основе временных рядов космоснимков Landsat – 8 исследована динамика повреждений темнохвойных лесных формаций, индуцированная вспышкой массового размножения сибирского шелкопряда. Произведена оценка площади дефолиированных лесов и ландшафтной приуроченности повреждений с применением цифровой модели рельефа ASTER, в целях детализации параметров прогноза развития вспышки фитофага по

орографическим признакам – высоте над уровнем моря, уклону местности и экспозиции склонов в условиях среднегорного рельефа.

Заключение. Рекомендуемые тенденции раннего обнаружения очагов массового размножения фитофага в границах горных южно-таежных лесов должны быть направлены на первоначальном мониторинге темнохвойных насаждений, сосредоточенных на высотах от 400 до 600 м над уровнем моря, расположенных на пологих участках и склонах крутизной до 15^0, включая экспозиции преимущественно занятых зеленомошниковой группой типов леса.

Ключевые слова: Landsat 8; мониторинг и анализ; ландшафтная экология; сибирский шелкопряд; *Dendrolimus sibiricus* Tschetv.; повреждение древостоев; сибирский кедр; *Pinus sibirica* Du Tour; пихта сибирская; *Abies sibirica* Ledeb.; высота над уровнем моря; уклон местности; экспозиция склона; цифровая модель рельефа; тип леса; пространственно-временная динамика

Для цитирования. Сультсон, С. М., Горошко, А. А., Демидко, Д. А., Михайлов, П. В., Слинкина, О. А., & Кулакова, Н. Н. (2025). Анализ пространственного распространения вспышки сибирского шелкопряда на основе рельефа местности в условиях горных южно-таёжных лесов Сибири. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 282-307. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1054

Original article

ANALYSIS OF THE SPATIAL DISTRIBUTION OF THE SIBERIAN SILKMOTH OUTBREAK AREA BASED ON TERRAIN FEATURES IN THE SIBERIAN MOUNTAIN SOUTHERN TAIGA FORESTS

S.M. Sultson, A.A. Goroshko, D.A. Demidko, P.V. Mikhaylov, O.A. Slinkina, N.N. Kulakova

Abstract

Background. The degradation of coniferous forests dominated by siberian fir *(Abies sibirica* Ledeb.) as a consequence of outbreaks of the Siberian silkmoth (*Dendrolimus sibiricus* Tschetv.) gives rise to considerable environmental and economic damage at the regional level. An improved understanding of the ecology of the pest population in mountainous terrain will facilitate the development of a more effective monitoring system and the use of a digital terrain model to predict

the spread of the outbreak. This will allow the implementation of timely active forest protection measures.

Purpose. This study aims to investigate the spatiotemporal patterns of the Siberian silkmoth outbreak by analyzing orographic data from mountainous southern taiga forests in Siberia.

Materials and methods. The study was carried out by the method of retrospective analysis based on a geoinformation system combined with data from remote sensing of the Earth. The research was based on a time series of Landsat-8 images obtained from the USGS Earth Explorer data portal (https://earthexplorer.usgs.gov/) with a spatial resolution of 30 m**.**

Results. This was achieved by analyzing time series data from Landsat-8 satellite images. An assessment was conducted of the area of defoliated forests and the relief features of such an area using the ASTER digital elevation model. This was done in order to detail the parameters for predicting the development of the pest outbreaks based on the following orographic characteristics in mid-mountain relief: height above sea level, terrain slope and slope exposure.

Conclusion. It is recommended that the early detection of Siberian silkmoth outbreaks in mountainous southern taiga forests should be aimed at the initial monitoring of dark coniferous stands concentrated at altitudes from 400 to 600 m above sea level, located on flat areas and slopes of up to 15 degrees, including exposures predominantly occupied by feather moss forest types.

Keywords: Landsat 8; monitoring and analysis; landscape ecology; Siberian silkmoth; *Dendrolimus sibiricus* Tschetv.; damage to forest stands; Siberian pine; *Pínus sibírica* Du Tour; Siberian fir; *Ábies sibírica* Ledeb.; altitude; terrain slope; slope exposure; digital elevation model; forest type; spatiotemporal dynamics

For citation. Sultson, S. M., Goroshko, A. A., Demidko, D. A., Mikhaylov, P. V., Slinkina, O. A., & Kulakova, N. N. (2025). Analysis of the spatial distribution of the Siberian silk moth outbreak area based on terrain features in the Siberian mountain southern taiga forests. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 282–307. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1054

Введение

Популяция сибирского шелкопряда (*Dendrolimus sibiricus* Tschetv.) является неотъемлемой частью таежных лесных экосистем, закономерно предпочитая определенные наиболее благоприятные условия для существования и функционирования в пространственно-временной динамике.

Как показывает практика, на протяжении нескольких десятилетий в большинстве случаев кардинальные меры по уничтожению фитофага

предпринимаются по достижении популяции эруптивной стадии, что в конечном итоге не всегда позволяет спасти значительные площади ценных лесных экосистем. Большая часть из них уже представляет погибшие или в перспективе значительно ослабленные насаждения, не имеющие возможности на восстановление [1; 13; 15]. Известно, что вспышки сибирского шелкопряда, наряду с пожарами, в значительной степени предопределяют ход сукцессионных процессов в таежных лесах [2; 16; 23]. В настоящее время, несмотря на отлаженную систему лесопатологического мониторинга, значительная проблема в своевременности принятия решений по борьбе с сибирским шелкопрядом лежит в плоскости современного лесоуправления и лесной законодательной базы. Несовершенство системы усложняет и затягивает процесс организации мероприятий для своевременного принятия мер специалистами лесопатологами по борьбе с фитофагом, что влечет за собой негативные последствия в утрате ценных сибирских лесов на длительный период и в совокупности приносит как экологический, так и экономический ущерб лесному хозяйству.

В связи с существующей проблемой целесообразно совершенствование методов, направленных на раннее обнаружение развития вспышки сибирского шелкопряда. В основе алгоритма должны лежать организационные моменты, связанные с территориальной особенностью существования резерватов популяции, выделенные на основе знаний о биоэкологии фитофага в сочетании с оперативным анализом состояния территории методами применения данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) [1; 6; 9; 17; 26; 29]. Кроме того, в случае развития вспышки важна возможность прогнозирования закономерности развития очага, поскольку данный процесс также обусловлен определёнными факторами и не всегда носит хаотический характер.

Одним из предикторов жизнедеятельности и распространения насекомого-вредителя является орографический фактор, выражающийся через особенности элементов рельефа, высоту над уровнем моря, экспозицию и крутизну склонов, возможное расселение вредителя с учетом его экологии. Организация фонового мониторинга с учетом знаний об уровне устойчивости лесного участка позволяет детально отслеживать их состояние и при раннем обнаружении предпринимать своевременно меры по предотвращению массового размножения [7; 12; 25; 33].

Цель исследования. Провести анализ пространственно-временной динамики закономерности развития вспышки сибирского шелкопряда на основе особенностей орографических данных в условиях горных южно-таежных лесов Сибири.

В рамках существующей проблемы целью данного исследования являлось решение следующих задач:

- исследовать закономерность пространственно-временной динамики развития вспышки сибирского шелкопряда на основе особенностей орографических данных территории;
- проанализировать характер приуроченности очагов массового размножения фитофага к определенным элементам рельефа в условиях горных южно-таежных лесов;
- оценить перспективы раннего обнаружения очагов сибирского шелкопряда с помощью известных закономерностей биоэкологии вида и методов применения ДЗЗ.

Материалы и методы исследования

Исследование проведено методом ретроспективного анализа на базе геоинформационной системы (ГИС) совмещенного с ДЗЗ. Для анализа использовался временной ряд спутниковых снимков Landsat – 8 полученных с геопортала Earth Explorer (https://earthexplorer.usgs.gov/) с пространственным разрешением данных 30 м. В современных исследованиях существуют хорошо зарекомендовавшие себя высокоточные методы классификации поврежденных фитофагами территорий с помощью таких изображений [4; 5; 8; 26; 29; 36]. В данной работе классификация снимков на предмет выделения повреждённых и неповрежденных участков леса проводилась на основе алгоритма «Случайный лес» и «xgBoost». При сравнении площадей нужно учитывать, что алгоритм классификации несколько занижает поврежденную площадь, поскольку не учитывает слабые повреждения насаждений, которые расположены преимущественно по краям очагов.

Определение особенностей расположения повреждений насаждений с учетом особенностей орографии осуществлялось с помощью цифровой модели рельефа ASTER Global DEM Version 3 (https://lpdaac.usgs.gov/news/nasa-and-meti-release-aster-global-dem-version-3/). В классификации использовалось три слоя рельефа: высота местности над уровнем моря, экспозиция и крутизна склонов.

Район исследования расположен в таежной зоне Саянского лесозащитного района и относится к зоне средней лесопатологической угрозы. Объектом изучения являлась область массового размножения сибирского шелкопряда в период 2018–2020 гг. в границах темнохвойных южных горно-таежных лесов Восточного Саяна (Красноярский край, Ирбейское лесничество).

Ландшафтный комплекс характеризуется среднегорным рельефом и территориально относится к Южно-Сибирской горной лесорастительной зоне, Алтае-Саянскому горно-таежному лесному району. Климат района резко континентальный и находится под влиянием влажных западных воздушных масс летом и сибирского антициклона зимой. Продолжительность вегетационного периода в среднем составляет 149–151 день. Абсолютный минимум температуры в январе – минус 50 ºС, абсолютный максимум в июле – 38,6 ºС. Среднегодовое количество осадков около 527 мм. Преобладающими ветрами являются ветры юго-восточного направления со средней скоростью 2,8–4,7 м/с.

Анализ развития вспышки фитофага проведен за период с июня 2018 по май 2020 гг. Количество сцен по данным космоснимков на определённую дату, демонстрирующих состояние лесов до вспышки и в различных стадиях повреждений популяцией вредителя, приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Периоды наблюдений

Снимок	Дата съемки
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

В данной работе представлены сцены, наиболее выраженно демонстрирующие пространственно-временную динамику распространения сибирского шелкопряда в границах исследуемой территории (рис. 1). Фрагмент снимка, включающий зону поврежденных древостоев ограничен координатами - 54°92′ с.ш. / 95º77′ в.д.

Основной кормовой культурой сибирского шелкопряда в данном районе является пихта и кедр. Для оценки кормовой базы вредителя использовался планово-картографический материал лесоустройства. Региональная особенность темнохвойных формаций выражается в господстве зеленомошной группы, представленной целым набором типов леса. Кедровники и пихтарники чернично-зеленомошные, образующие типологический фон всей территории, приурочены к почвам подзолистого типа. Значительные площади занимают кедровники бадановые, произрастающие на слаборазвитых каменистых почвах и преимущественно на крутых склонах.

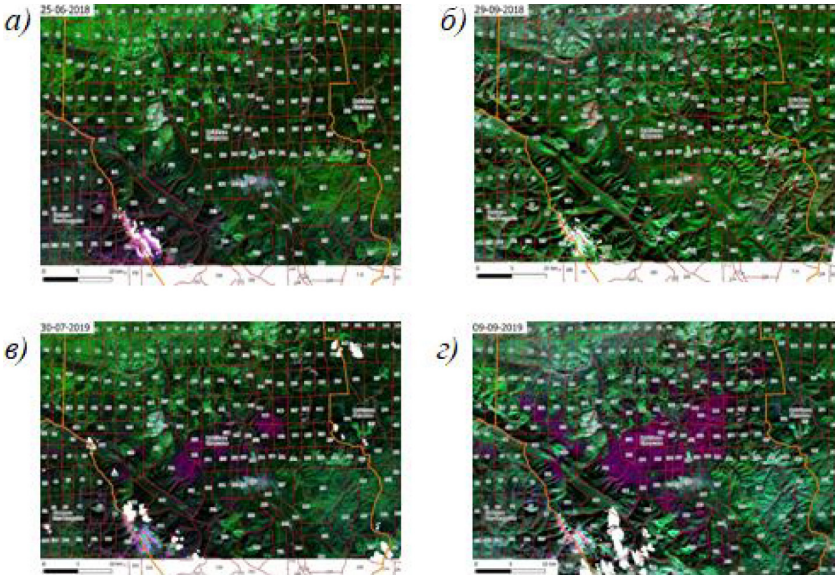

Рис. 1. Исследуемая область, показывающая экстенты изображений LANDSAT-8, полигоны обследований темнохвойных лесов, поврежденных сибирским шелкопрядом: *а*) состояние лесов до вспышки, суммарные площади поврежденных насаждений: *б*) – 109.7 га, *в)* – 3460.0 га, *г)* – 17690.2 га

Пихтовые леса приурочены к местообитаниям с благоприятным сочетанием тепла и влаги, представлены вейниково-крупнотравными и зеленомошно-кустарничковым типами леса. Сосняки зеленомошниковые отмечаются фрагментарно и локально. Лиственничники горно-таежные не имеют широкого распространения располагаясь, как и ельники, исключительно в ложбинах и по долинам рек. По возрастной структуре преобладают спелые и перестойные древостои, III – IV классов бонитета. Средняя полнота 0,5 – 0,7. Отдельные участки насаждений представлены высокобонитетными березовыми и осиновыми древостоями травяной группы типов леса.

Результаты и обсуждение

Исследуемая территория представлена участком хребта Идарское Белогорье, расположенного на северо-восточном макросклоне Восточного Саяна покрытых темнохвойными лесными формациями. Доминирующим повсеместно является среднегорный резко расчленённый эрозионный ре-

льеф с крутыми и затяжными склонами гор, часто обрывающимися у берегов рек отвесными скалами. Средние отметки высот над уровнем моря колеблются от 470 до 1200 м, крутизна склонов от 10 до 25^0, нередко достигает 40^0 [20; 35]. В северной части исследуемого участка элементы рельефа заняты лиственными и светлохвойными древостоями, в понижениях образуются болота, что одновременно исключает данную территорию из площади потенциального распространения сибирского шелкопряда. Кедровые и пихтовые древостои зонально приурочены к более высоким местоположениям и сосредоточены в центральной и южной частях данной местности.

Детальный анализ развития вспышки сибирского шелкопряда проводился с 29 сентября 2018 года. С данного периода на снимках зафиксированы первые повреждения насаждений, появившихся в результате дефолиации крон деревьев гусеницами сибирского шелкопряда.

Вспышки численности насекомых-вредителей тесно связаны с климатическими факторами, такими как продолжительные засухи и длительные периоды высокой температуры в различные сезоны вегетационного периода [10; 15; 21; 27; 28; 34]. Переход популяции в фазу вспышки произошел весной 2019 года. Массовому размножению сибирского шелкопряда способствовала недостаточная влагообеспеченность всего вегетационного периода 2015 года и июня, июля, сентября 2016 года, на фоне повышенных среднесуточных температур в этот период [32; 35].

Экологические аспекты формирования очагов размножения вредителя обусловлены наличием оптимальных условий гидротермических режимов напочвенного и почвенного покровов, значительных запасов основной кормовой породы вредителя, что способствует ускоренному развитию гусениц сибирского шелкопряда и повышенной выживаемости в кронах и в подстилке [19]. Сочетание перечисленных факторов предопределяет закономерности в экологии поведения фитофага в границах определенного природного территориального комплекса. Поэтому первичные очаги локальных вспышек массового размножения обычно приурочены к определённым ландшафтным структурам [3; 10; 15; 17; 25].

В горных условиях распространение сибирского шелкопряда находится в зависимости от высоты склона. По данным Ю.П. Кондакова в Алтае-Саянской лесорастительной области массовая концентрация вредителя характерна для нижнего пояса гор, по мере продвижения вверх популяция сокращается, доходя до отметки 800-900 м над уровнем моря. На более значительных высотах он почти не встречается [4; 10; 11]. Однако в совре-

менных условиях глобальное потепление климата вносит корректировки в экологию вредителя и способствует продвижению шелкопряда на север и выше в горы [24; 32]. На рисунке 2 представлена пространственная характеристика приуроченности поврежденных насаждений в зависимости от высоты над уровнем моря в границах исследуемой территории.

На снимках дефолиированные участки леса наблюдаются в виде периферических кругов неправильной формы, опоясывающих центр очага с погибшими деревьями. Данная картина связана с тем, что в период поражения лесов насекомыми-вредителями инвазии распространяются из центра очагов к периферии по принципу «затухающей волны» – чем дальше от ядра, тем меньше интенсивность повреждения древостоев [4; 10; 18; 35].

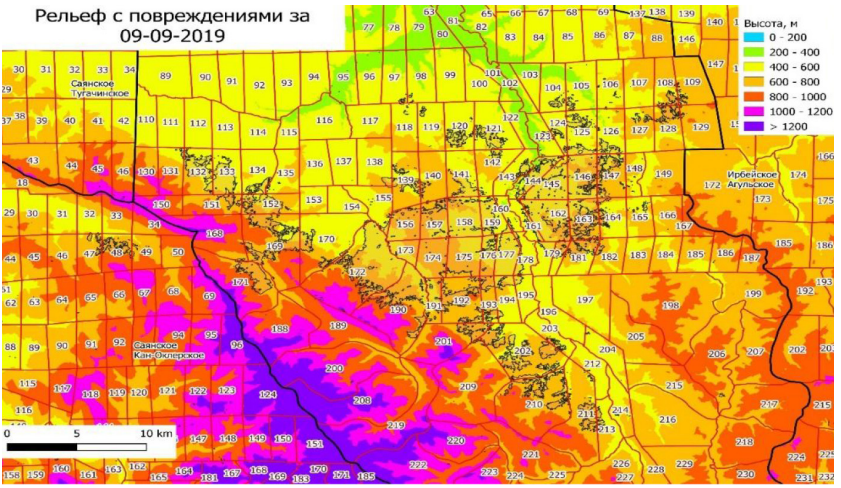

Рис. 2. Цифровая модель рельефа с участками поврежденных сибирским шелкопрядом темнохвойных насаждений в зависимости от высоты над уровнем моря

Наглядно пространственно-временная динамика распределения поврежденных насаждений по высоте над уровнем моря показана на рисунке 3.

При анализе учитывался только прирост площадей, поврежденных сибирским шелкопрядом, например, площади, поврежденные на 30.07.2019 не включали повреждения, обнаруженные ранее. То же справедливо для повреждений на 09.09.2019. Такой подход позволяет анализировать только те нарушения лесного полога, которые были выявлены между текущей и предшествующей датами.

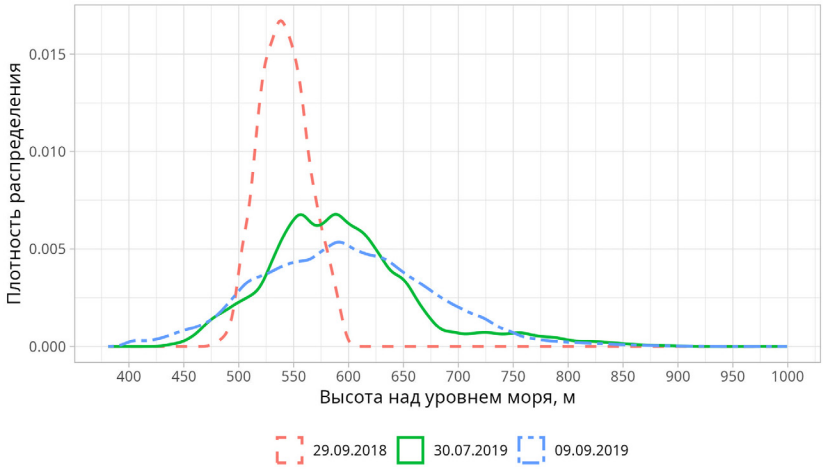

Рис. 3. Пространственно-временная динамика повреждения насаждений сибирским шелкопрядом с учетом высоты над уровнем моря

График показывает, что медианные значения высоты повреждений насаждений в 2018 г. были меньше, чем в последующие периоды. С течением времени размах варьирования повреждений по высоте увеличивается. Распределение случайных величин близко к нормальному. Описательные статистики распределений приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Статистические показатели распределения поврежденных насаждений по высоте над уровнем моря

Дата	Рост площади, га	Высота, м				Квантиль						
		средняя	медиана	макс.	мин.	0,005	0,025	0,25	0,50	0,75	0,975	0,995
29.09.2018	109,7	541	540	596	478	491	501	525	540	557	586	592
30.07.2019	3198,2	584	582	746	429	456	477	545	582	620	712	739
09.09.2019	14120,5	595	593	807	385	412	451	541	593	646	744	786

Детальный анализ показал, что первоначальные очаги роста численности фитофага приурочены к участкам с высотой от 480 до 600 м над уровнем моря. В июле следующего вегетационного периода площадь повреждения древостоев увеличилась в 29 раз, проявления оча-

гов наблюдаются в диапазоне от 430 до 750 м над уровнем моря. К сентябрю прирост площади повреждений возрос еще в 4,4 раза. В горной части граница распространения вспышки сибирского шелкопряда останавливается в предгорье северо-восточного склона хребта, формируя вытянутую линию с отдельными участками локальных повреждений в выположенных участках рельефа (рис. 2). Максимальная высота обнаружения дефолиированных древостоев сибирским шелкопрядом составила 807 м с долей участия менее 0,5 % от общей площади поврежденных участков [35]. По данным Ю.П. Кондакова верхний предел очагового распространения сибирского шелкопряда на абсолютных высотах 800-900 м в горных южно-таежных лесах обусловлен лимитирующей ролью климатических факторов – многолетними показателями суммы активных температур 1200 ^{0}C и коэффициентом увлажнения 2.0 (по В.С. Мезенцеву) [11].

Следовательно, данный фактор при прогнозе развития вспышки сибирского шелкопряда для условий данного ландшафта должен учитываться крайние точки диапазона от 400 до 900 м. В целях раннего обнаружения активизации популяции вредителя основная зона мониторинга должна быть сосредоточена на участках темнохвойных лесов на высотах от 400 до 600 м.

При анализе пространственного размещения очагов сибирского шелкопряда важно изучить закономерности его экологической приуроченности к определённым элементам ландшафта [8]. Важна природная структура мест, где зарождается очаг массового размножения. Комплексными показателями рельефа при прогнозировании местонахождения резерваций вредителя является экспозиция и уклоны местности, сочетающие наиболее благоприятные микроклиматические условиями для массового размножения фитофага. В большинстве случаев центры инвазий сибирского шелкопряда приурочены к темнохвойным лесным формациям, произрастающим на пологих склонах, выпуклых вершинах холмов, слабовыпуклых частях наклонных вершин холмов южных экспозиций, слабовыпуклых и выпуклых частях восточных и юго-восточных пологих склонов [3; 7; 8; 10; 15; 25; 30; 31]. Такие участки темнохвойных лесов характеризуются наиболее дренированными и прогреваемыми условиями, произрастающими на рыхлых, относительно свежих и пористых, без признаков оглеения дерново-подзолистых почвах. Здесь наблюдаются 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 [3; 8; 15; 25].

На рисунке 4 представлена динамика распределения площадей, поврежденных сибирским шелкопрядом в зависимости от уклона местности.

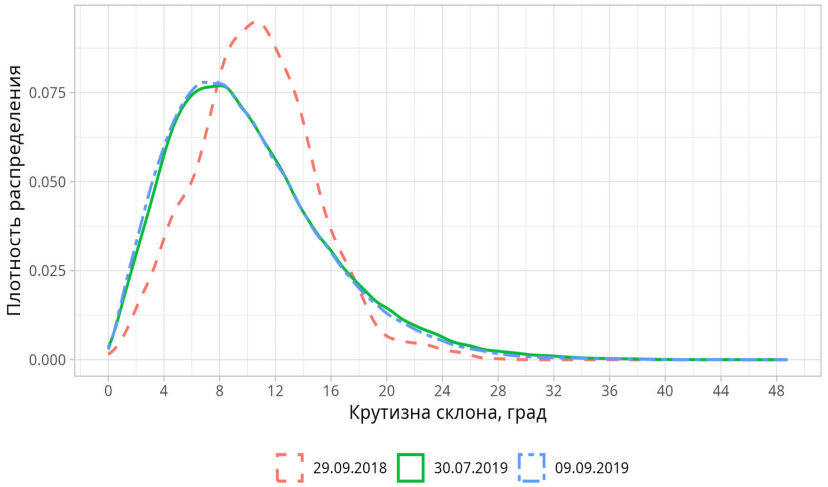

Рис. 4. Распределение площади поврежденных насаждений в зависимости от крутизны склона

График площади повреждений первоначальных очагов показывает сосредоточенность очагов преимущественно на пологих участках и склонах до 15^0, что неоднократно ранее подтверждено другими исследователями [3; 8; 15; 24]. В процессе распространения вспышки конкурентные отношения повышают миграционную активность особей, что при наличии в близлежащих участках кормовой базы сопровождается распространением вредителя на склоны большей крутизны [35]. В условиях среднегорного рельефа типичная картина объедания древостоев гусеницами в местах массового размножения характеризуется объеданием хвои у деревьев на вершинах и средних частях склонов, избегая пониженных участков из-за влажности и холодных микроклиматических условий [11; 18; 22; 25].

Детальная характеристика статистических признаков распределения площадей по данному признаку представлена в таблице 3.

Таблица 3.

Статистические показатели распределения поврежденных насаждений в зависимости от уклона местности

Дата	Уклон местности, градусы				Квантиль						
	средняя	медиана	макс.	мин.	0,005	0,025	0,25	0,50	0,75	0,975	0,995
29.09.2018	10,6	10,6	27,8	0,1	1,5	2,7	7,8	10,6	13,3	19,7	24,2
30.07.2019	9,8	9,0	42,4	0,1	0,8	1,8	5,8	9,0	12,9	22,5	28,8
09.09.2019	9,8	9,0	48,8	0,0	0,8	1,7	5,7	9,0	12,9	22,6	28,2

Результаты показывают приуроченность поврежденных насаждений к элементам рельефа с уклоном местности около 10^0, как по среднему значению, так и по медиане. На протяжении всех периодов наблюдений в 75 % случаях распространение вспышки происходило преимущественно в насаждениях, расположенных на склонах до 13^0 спорадически доходя до крутых склонов в 28^0 [35].

Анализ распределения площади поврежденных насаждений по экспозиции склонов представлен на рисунке 5.

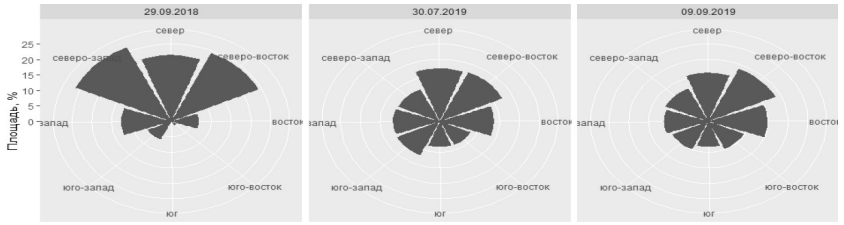

Рис. 5. Динамика распределения площади поврежденных темнохвойных древостоев с учетом экспозиции склонов

Диаграмма показывает наибольшие площади повреждений на северных и северо-восточных склонах. Эмпирически данный факт обусловлен местоположением экспериментального участка в границах северо-восточного макросклона Восточного Саяна. Из всего многообразия склоновых элементов северная экспозиция наиболее часто встречается на исследуемой территории [17; 35]. В то же время изучение экологического размещения очагов сибирского шелкопряда свидетельствует о четкой приуроченности вспышек его массового размножения к определенным лесотипологическим условиям [7; 8; 10; 18; 22]. Фоновым типом леса в

границах кормовой базы фитофага является зеленомошниковая группа, повсеместно встречающаяся на склонах как северной, так и южной экспозиций.

Детальный анализ первичных очагов вспышки показал, что повреждённые древостои представлены в основном пихтарниками зеленомошниковыми, занимающими весь спектр экспозиций на пологих склонах и крутизной до 15^0 [35]. Кедровники черничниковые широко представлены на северных, северо-западных и северо-восточных склонах. Пихтарники черничниковые преимущественно концентрируются на склонах южной экспозиции. Исследованиями экологии сибирского шелкопряда доказана приуроченность резерваций к данной группе типов леса. Моховой напочвенный покров сочетает в себе оптимальные температурно-влажностные условия для жизнедеятельности фитофага [3; 5; 7; 18; 22]. Зимовать гусеницы сибирского шелкопряда предпочитают под моховой подстилкой на глубине до 20 см от поверхности [18; 22]. Избегает сибирский шелкопряд сырых, холодных местообитаний, формирующихся преимущественно в пониженных участках рельефа, а также участков лесов на крутых эрозионных склонах и маломощных почвах [8; 22].

На диаграмме (рис. 5) видно, что по мере разрастания очагов эффект доминирования склонов северных экспозиций во времени сглаживается, так как в зону повреждения 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.

Массовые миграции гусениц в очагах размножения в темнохвойных лесах хотя и имеют место, но наблюдаются редко [18]. Одной из причин быстрого распространения и расселения сибирского шелкопряда по лесу является наличие больших площадей хвойных насаждений, а также рельеф местности. В тех случаях, когда в очаге одновременно возникает несколько участков обесхвоенного леса, а затем они сливаются, масса гусениц может оказаться в центре мертвой зоны. Голодные гусеницы в этих условиях становятся очень подвижными, в поисках пищи они поднимаются на каждое дерево, встречающееся на пути. При визуальных наблюдениях создается впечатление, что гусеницы ползут здесь в разных направлениях. На самом деле большинство их движется в сторону ближайшей стены живого леса [18]. Почвенный покров, состоящий из мха или слоя опавшей хвои с редкими кустиками багульника и черники, явля-

ется самым благоприятным для перемещения гусениц с дерева на дерево. Моховой покров имеет мягкую волнистую поверхность, а редкие кустики не препятствуют движению гусениц. Покров из злаков, осок, высоких и тонких трав затрудняет их передвижение по земле, и они инстинктивно не стремятся двигаться в сторону таких участков [22].

За две недели предельно возможного голодания гусеницы V и VI возрастов преодолевают в мертвой зоне очага расстояние до 300 м. В условиях горного рельефа темнохвойной тайги гусеницы старшего возраста за 30-32 дня могут продвинуться на 800-1000 м. [18]. Реки с участками небольшой ширины (2-3 м) также не являются серьёзным препятствием для передвижения гусениц сибирского шелкопряда на новые территории [22]. В среднем за месяц миграция гусениц от границы очага может составлять от 300 до 500 м. Если на пути нет причин, препятствующих распространению, то расселение фитофага протекает очень быстро, измеряясь тысячами гектаров [22].

Отрицательное влияние на расселение шелкопряда влияет примесь лиственных пород. Наличие вблизи очага заражения больших площадей березовых древостоев (с участием в составе от 6 единиц) совершенно прекращает распространение вредителя [22]. В данном случае такие территории в границах кормовой базы располагались на верхнем пределе распространения вспышки, где наблюдаются малые очаги повреждений, в основном ограниченные участками березово-осиновых древостоев. В остальных случаях имеющиеся в структуре темнохвойных лесов участки лиственных древостоев занимали незначительную площадь и не могли обеспечить мозаичность структуры кормовой базы, способной служить существенным препятствием при миграции вредителя в близлежащие насаждения.

Полнота древостоя не играет существенной роли при расселении вредителя, за исключением низкополнотных насаждений, поскольку расстояния между деревьями имеют значение при перемещении гусениц. Наиболее интенсивные повреждения чаще всего наблюдается в насаждениях с полнотой от 0,5 до 0,7 [22]. В данном случае участки повреждений включали древостои с полнотой до 0,8 включительно.

В ряде научных наблюдений замечена избирательность в питании вредителя [14; 22]. Отмечено, что, хвоя ели сибирской менее привлекательна для сибирского шелкопряда [4]. Присутствие ели в составе является индикатором малоблагоприятных условий для развития фитофага. По данным А.С. Исаева, в сильно поврежденных насаждениях участие ели в составе

не превышает 1 единицы. При больших значениях степень повреждения снижается [7; 17]. П.П. Окуневым для района исследований отмечается характерная особенность наименьшей степени повреждения сосны обыкновенной, по сравнению с другими хвойными породами [14].

Влияние вышеперечисленных факторов на миграционную способность гусениц в условиях горного рельефа требует дополнительных исследований с целью комплексного подхода при прогнозировании и контроле развития очагов фитофага в границах определенной местности.

Заключение

Идентификация экологии поведения популяции фитофага в условиях горного рельефа открывает возможности совершенствования системы мониторинга и применения цифровой модели рельефа для прогноза распространения вспышки, что позволит своевременно предпринимать активные лесозащитные мероприятия.

В завершении проведенного анализа следует отметить, что при параметризации прогноза зоны фонового мониторинга должны быть сосредоточены на участках темнохвойных лесов на высотах от 400 до 600 м с потенциальной площадью распространения до 900 м. В границах кормовой базы участками массового размножения (резерватами) могут выступать пологие участки и уклоны местности от 10 до 15^0, исключая сырые местообитания и понижения рельефа. В силу предпочтения фитофагом участков лесов с моховой подстилкой, которые в горных южно-таежных лесах равноценно представлены на склонах как северных, так и южных экспозиций в спектр наблюдений следует включать преимущественно все участки данного типа леса, расположенных с учетом вышеперечисленных параметров. Основываясь на ранее проведённых наблюдениях, склоны южных экспозиций ориентировочно должны выступать первоочередными участками резерваций. В целом полученные в процессе анализа результаты согласуются с данными ранее проведённых исследований и могут служить основой параметризации дискретных величин для условий среднегорного рельефа при моделировании прогноза вспышек сибирского шелкопряда с дальнейшей возможностью экстраполяции выявленных закономерностей на аналогичные территории.

В современных условиях проблема массового уничтожения темнохвойной тайги сибирским шелкопрядом до настоящего времени остаётся актуальной, что требует скорейшего принятия мер по совершенствованию системы мониторинга и государственного лесоуправления в целом.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ на выполнение коллективом научной лаборатории «Защита леса» проекта «Методологические основы оценки лесопатологических рисков в насаждениях юга Средней Сибири» (№ FEFE-2024-0016).

Список литературы

1. Гниненко, Ю. И., & Баранчиков, Ю. Н. (2021). Факторы биологической регуляции популяций сибирского шелкопряда и их использование в защите леса. *Сибирский лесной журнал*, *(5)*, 9–25. https://doi.org/10.15372/SJFS20210503
2. Гродницкий, Д. Л., Разнобарский, В. Г., Солдатов, В. В., & Ремарчук, Н. П. (2002). Деградация древостоев в таёжных шелкопрядниках. *Приложение 1 Сибирского экологического журнала*, *1*, 3–12.
3. Денисова, Н. Б., Соболев, А. А., & Шипинская, У. С. (2020). Результаты обследования очагов сибирского шелкопряда (Dendrolimus sibiricus Tschetw.) на территории Васюганского лесничества Томской области. *Лесной вестник*, *24*(6), 65–72. https://doi.org/10.18698/2542-1468-2020-6-65-72
4. Журавлёв, Г. П. (1960). *Рекомендации по надзору за сибирским шелкопрядом в лесах Дальнего Востока.* ДальНИИЛХ. 33 с.
5. Ильинский, А. И. (1952). *Надзор за хвое- и листогрызущими вредителями в лесах и прогноз их массовых размножений.* Москва-Ленинград: Гослесбумиздат. 186 с.
6. Им, С. Т., Федотова, Е. В., & Харук, В. И. (2008). Спектродиаметрическая космосъёмка в анализе зоны вспышки массового размножения сибирского шелкопряда. *Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии*, *1*(4), 346–358.
7. Исаев, А. С., Пальникова, Е. Н., Суховольский, В. Г., & Тарасова, О. В. (2015). *Динамика численности дефолиирующих лесных насекомых: Модели и прогнозы.* Москва: ООО «КМК Сайентифик Пресс». 262 с.
8. Исаев, А. С., & Ряполов, В. Я. (1979). Анализ ландшафтно-экологической приуроченности очагов сибирского шелкопряда с применением аэрокосмической съёмки. В сборнике: *Исследование таёжных ландшафтов дистанционными методами* (с. 152–167). Новосибирск: Наука.
9. Князева, С. В., Королева, Н. В., Эйдлина, С. П., & Сочилова, Е. Н. (2019). Оценка состояния растительности в очаге массового размножения сибир-

ского шелкопряда по спутниковым данным. *Лесоведение*, *(5)*, 385–398. https://doi.org/10.1134/S0024114819050036

10. Кондаков, Ю. П. (1974). Закономерности массовых вспышек сибирского шелкопряда. В сборнике: *Популяционная экология лесных животных* (с. 206–264). Новосибирск: Наука.
11. Кондаков, Ю. П. (2002). Массовые размножения сибирского шелкопряда в лесах Красноярского края. *Энтомологические исследования в Сибири*, *2*, 25–74.
12. Министерство природных ресурсов Российской Федерации, Федеральное агентство лесного хозяйства, Всероссийский научный исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства. (2006). *Методические рекомендации по надзору, учёту и прогнозу массовых размножений стволовых вредителей и санитарного состояния лесов.* Пушкино, Московская область: ВНИИЛМ. 107 с.
13. Российский центр защиты леса. (2020). *Обзор санитарного и лесопатологического состояния лесов Российской Федерации за 2019 год.* Пушкино: Росцентр защиты леса. 165 с.
14. Окунев, П. П. (1955). Географическое распространение и зоны вредности сибирского шелкопряда. *Географический сборник. V. Географические вопросы лесного хозяйства*, 13–24.
15. Павлов, И. Н., Литовка, Ю. А., Голубев, Д. В., Астапенко, С. А., & Хромогин, П. В. (2018). Новая вспышка массового размножения Dendrolimus sibiricus Tschetw. в Сибири (2012–2017 гг.): закономерности развития и перспективы биологического контроля. *Сибирский экологический журнал*, *(4)*, 462–478.
16. Перевозникова, В. Д., & Баранчиков, Ю. Н. (1999). Структура запасов наземной фитомассы в свежих шелкопрядниках пихтовой тайги Нижнего Приангарья. *Энтомологические исследования в Сибири*, *(2)*, 87–102.
17. Пономарёв, Е. И., Якимов, Н. Д., Третьяков, П. Д., & Сультсон, С. М. (2023). Оценка дефолиации тёмнохвойных древостоев после воздействия сибирского шелкопряда по дистанционным данным. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, *20*(4), 175–186. https://doi.org/10.21046/2070-7401-2023-20-4-175-186
18. Рожков, А. С. (1965). *Вспышки сибирского шелкопряда и меры борьбы с ними.* Москва: Наука. 179 с.
19. Ряполов, В. Я. (1985). Методика составления карт повреждаемости лесов насекомыми-вредителями. *География и природные ресурсы*, *(2)*, 97–106.
20. Смагин, В. Н., Ильинская, С. А., Назимова, Д. И., Новосельцева, И. Ф., & Чередникова, Ю. С. (1980). *Типы лесов гор Южной Сибири.* Новосибирск: Наука. 336 с.

21. Тарасова, О. В., & Волков, В. Е. (2021). Влияние погодных условий на развитие вспышек массового размножения сибирского шелкопряда в Средней Сибири. *Сибирский лесной журнал*, *(5)*, 49–59. https://doi.org/10.15372/SJFS20210506
22. Флоров, Д. Н. (1948). *Вредитель сибирских лесов.* Иркутск: ОГИЗ, Иркутское областное издательство. 132 с.
23. Харук, В. И., & Антамошкина, О. А. (2017). Воздействие сибирского шелкопряда на горимость лесных территорий. *Сибирский экологический журнал*, *5*, 647–654. https://doi.org/10.15372/SEJ20170510
24. Харук, В. И., Им, С. Т., & Ягунов, М. Н. (2018). Миграция северной границы распространения сибирского шелкопряда. *Сибирский экологический журнал*, *25*(1), 32–44. https://doi.org/10.15372/SEJ20180103
25. Шипинская, У. С., Денисова, Н. Б., & Соболев, А. А. (2019). Динамика очагов Dendrolimus sibiricus Tschetw на территории Томской области. *Academy*, *(43)*, 40–42.
26. Bright, B. C., Hudak, A. T., Egan, J. M., Jorgensen, C. L., Rex, F. E., Hicke, J. A., & Meddens, A. J. H. (2020). Using satellite imagery to evaluate bark beetle-caused tree mortality reported in aerial surveys in a mixed conifer forest in northern Idaho, USA. *Forests*, *11*(5), 529. https://doi.org/10.3390/f11050529
27. Bjørnstad, O. N., Peltonen, M., Liebhold, A. M., & Baltensweiler, W. (2002). Waves of larch budmoth outbreaks in the European Alps. *Science*, *298*(5595), 1020–1023. https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1075182
28. Creeden, E. P., Hicke, J. A., & Buotte, P. C. (2014). Climate, weather, and recent mountain pine beetle outbreaks in the western United States. *Forest Ecology and Management*, *312*, 239–251. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.03.051
29. Egan, J. M., Kaiden, J., Lestina, J., Stasey, A., & Jenne, J. L. (2019). Techniques to enhance assessment and reporting of pest damage estimated with aerial detection surveys. *U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Region, Forest Health Protection: Missoula, MT, USA*, *R1-19-09*, 33 p.
30. Kharuk, V. I., Ranson, K. J., Kuz'michev, V. V., et al. (2003). Landsat-based analysis of insect outbreaks in southern Siberia. *Canadian Journal of Remote Sensing*, *29*(2), 286–297. https://doi.org/10.5589/m02-094
31. Kharuk, V. I., Demidko, D. A., Fedotova, E. V., & Dvinskaya, M. L. (2016). Spatial and temporal dynamics of Siberian silkmoth large-scale outbreak in dark-needle coniferous tree stands in Altai. *Contemporary Problems of Ecology*, *9*(6), 711–720. https://doi.org/10.1134/S199542551606007X
32. Kharuk, V. I., Im, S. T., & Soldatov, V. V. (2020). Siberian silkmoth outbreaks surpassed geoclimatic barrier in Siberian Mountains. *Journal of Mountain Science*, *17*, 1891–1900. https://doi.org/10.1007/s11629-020-5989-3

33. Kovalev, A., & Soukhovolsky, V. (2021). Analysis of forest stand resistance to insect attack according to remote sensing data. *Forests*, *12*, 1188. https://doi.org/10.3390/f12091188
34. Nelson, W. A., Bjørnstad, O. N., & Yamanaka, T. (2013). Recurrent insect outbreaks caused by temperature-driven changes in system stability. *Science*, *341*(6147), 796–799. https://doi.org/10.1126/science.1238477
35. Sultson, S. M., Goroshko, A. A., Verkhovets, S. V., Mikhaylov, P. V., Ivanov, V. A., Demidko, D. A., & Kulakov, S. S. (2021). Orographic factors as a predictor of the spread of the Siberian silk moth outbreak in the mountainous southern taiga forests of Siberia. *Land*, *10*(2), 1–16. https://doi.org/10.3390/land10020115
36. Wulder, M. A., Dymond, C. C., White, J. C., Leckie, D. G., & Carroll, A. L. (2006). Surveying mountain pine beetle damage of forests: A review of remote sensing opportunities. *Forest Ecology and Management*, *221*, 27–41.

References

1. Gninenko, Y. I., & Baranchikov, Y. N. (2021). Factors of biological regulation of populations of the Siberian silkmoth and their use in forest protection. *Siberian Forestry Journal*, *(5)*, 9–25. https://doi.org/10.15372/SJFS20210503
2. Grodnitsky, D. L., Raznobarsky, V. G., Soldatov, V. V., & Remarchuk, N. P. (2002). Stand degradation in Siberian spruce-fir forests infested by the Siberian silkmoth. *Appendix 1 of Siberian Ecological Journal*, *1*, 3–12.
3. Denisova, N. B., Sobolev, A. A., & Shipinskaya, U. S. (2020). Survey results of outbreaks of the Siberian silkmoth (Dendrolimus sibiricus Tschetv.) in the Vasyugan forest district of Tomsk region. *Forest Messenger*, *24*(6), 65–72. https://doi.org/10.18698/2542-1468-2020-6-65-72
4. Zhuravlyov, G. P. (1960). Recommendations for surveillance of the Siberian silkmoth in Far Eastern forests. DalNIILKH. 33 p.
5. Ilinskii, A. I. (1952). Monitoring of foliage-eating insect pests in forests and forecasting their mass reproduction. Moscow-Leningrad: Goslesbumizdat. 186 p.
6. Im, S. T., Fedotova, E. V., & Kharkuk, V. I. (2008). Spectrodiameter satellite imagery in analyzing the area of Siberian silkmoth outbreak. *Journal of Siberian Federal University. Series: Engineering & Technologies*, *1*(4), 346–358.
7. Isaev, A. S., Palnikova, E. N., Sukhovolsky, V. G., & Tarasova, O. V. (2015). Population dynamics of defoliating forest insects: Models and forecasts. Moscow: LLC “KMK Scientific Press”. 262 p.
8. Isaev, A. S., & Ryapolov, V. Ya. (1979). Analysis of landscape-ecological specificity of Siberian silkmoth outbreaks using aerial and satellite imaging. In *Remote Sensing Methods in Taiga Landscapes* (pp. 152–167). Novosibirsk: Nauka.

9. Knyazeva, S. V., Korolyova, N. V., Eydlina, S. P., & Sochilova, E. N. (2019). Assessment of vegetation condition in the area of mass reproduction of the Siberian silkmoth using satellite data. *Silviculture*, *(5)*, 385–398. https://doi.org/10.1134/S0024114819050036
10. Kondakov, Y. P. (1974). Regularities of massive outbreaks of the Siberian silkmoth. In *Population Ecology of Forest Animals* (pp. 206–264). Novosibirsk: Nauka.
11. Kondakov, Y. P. (2002). Mass outbreaks of the Siberian silkmoth in forests of the Krasnoyarsk region. *Entomological Research in Siberia*, *2*, 25–74.
12. Ministry of Natural Resources of the Russian Federation, Federal Agency of Forestry, All-Russian Research Institute of Forestry and Mechanization of Forestry. (2006). Methodological recommendations for supervision, accounting, and prediction of massive reproductions of stem pests and sanitary conditions of forests. Pushkino, Moscow region: VNII LM. 107 p.
13. Russian Forest Protection Center. (2020). Overview of sanitary and forest pathological conditions of forests in the Russian Federation in 2019. Pushkino: Roscenter for Forest Protection. 165 p.
14. Okunev, P. P. (1955). Geographic distribution and harmfulness zones of the Siberian silkmoth. *Geographical Collection. V. Geographical Questions of Forestry*, *13–24.*
15. Pavlov, I. N., Litovka, Y. A., Golubev, D. V., Astapenko, S. A., & Khromogin, P. V. (2018). New outbreak of mass reproduction of Dendrolimus sibiricus Tschetw. in Siberia (2012–2017): Development regularities and prospects for biological control. *Siberian Ecological Journal*, *(4)*, 462–478.
16. Perevoznikova, V. D., & Baranchikov, Y. N. (1999). Structure of aboveground biomass reserves in fresh silkmoth-infested coniferous forests of Lower Angara. *Entomological Research in Siberia*, *(2)*, 87–102.
17. Ponomarev, E. I., Yakimov, N. D., Tretyakov, P. D., & Sulston, S. M. (2023). Defoliation assessment of dark coniferous stands after Siberian silkmoth attack using remote sensing data. *Modern Problems of Spaceborne Earth Observation*, *20*(4), 175–186. https://doi.org/10.21046/2070-7401-2023-20-4-175-186
18. Rozhkov, A. S. (1965). Outbreaks of the Siberian silkmoth and measures to combat them. Moscow: Nauka. 179 p.
19. Ryapolov, V. Ya. (1985). Methodology for creating maps of forest damage caused by insect pests. *Geography and Natural Resources*, *(2)*, 97–106.
20. Smagin, V. N., Ilinskaya, S. A., Nazimova, D. I., Novoseltseva, I. F., & Chereditnova, Y. S. (1980). Types of forests in the mountains of Southern Siberia. Novosibirsk: Nauka. 336 p.

21. Tarasova, O. V., & Volkov, V. E. (2021). Impact of weather conditions on the development of Siberian silkmoth outbreaks in Middle Siberia. *Siberian Forestry Journal*, *(5)*, 49–59. https://doi.org/10.15372/SJFS20210506
22. Florov, D. N. (1948). Pest of Siberian forests. Irkutsk: OGIZ, Irkutsk Regional Publishing House. 132 p.
23. Kharkuk, V. I., & Antamoshkina, O. A. (2017). Impact of the Siberian silkmoth on forest fire occurrence. *Siberian Ecological Journal*, *5*, 647–654. https://doi.org/10.15372/SEJ20170510
24. Kharkuk, V. I., Im, S. T., & Yagnov, M. N. (2018). Migration of the northern boundary of the Siberian silkmoth distribution. *Siberian Ecological Journal*, *25*(1), 32–44. https://doi.org/10.15372/SEJ20180103
25. Shipinskaya, U. S., Denisova, N. B., & Sobolev, A. A. (2019). Dynamics of Dendrolimus sibiricus Tschetw. outbreaks in Tomsk region. *Academy*, *(43)*, 40–42.
26. Bright, B. C., Hudak, A. T., Egan, J. M., Jorgensen, C. L., Rex, F. E., Hicke, J. A., & Meddens, A. J. H. (2020). Using satellite imagery to evaluate bark beetle-caused tree mortality reported in aerial surveys in a mixed conifer forest in northern Idaho, USA. *Forests*, *11*(5), 529. https://doi.org/10.3390/f11050529
27. Bjørnstad, O. N., Peltonen, M., Liebhold, A. M., & Baltensweiler, W. (2002). Waves of larch budmoth outbreaks in the European Alps. *Science*, *298*(5595), 1020–1023. https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1075182
28. Creeden, E. P., Hicke, J. A., & Buotte, P. C. (2014). Climate, weather, and recent mountain pine beetle outbreaks in the western United States. *Forest Ecology and Management*, *312*, 239–251. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.03.051
29. Egan, J. M., Kaiden, J., Lestina, J., Stasey, A., & Jenne, J. L. (2019). Techniques to enhance assessment and reporting of pest damage estimated with aerial detection surveys. *U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Region, Forest Health Protection: Missoula, MT, USA*, *R1-19-09*, 33 p.
30. Kharuk, V. I., Ranson, K. J., Kuz'michev, V. V., et al. (2003). Landsat-based analysis of insect outbreaks in southern Siberia. *Canadian Journal of Remote Sensing*, *29*(2), 286–297. https://doi.org/10.5589/m02-094
31. Kharuk, V. I., Demidko, D. A., Fedotova, E. V., & Dvinskaya, M. L. (2016). Spatial and temporal dynamics of Siberian silkmoth large-scale outbreak in dark-needle coniferous tree stands in Altai. *Contemporary Problems of Ecology*, *9*(6), 711–720. https://doi.org/10.1134/S199542551606007X
32. Kharuk, V. I., Im, S. T., & Soldatov, V. V. (2020). Siberian silkmoth outbreaks surpassed geoclimatic barrier in Siberian Mountains. *Journal of Mountain Science*, *17*, 1891–1900. https://doi.org/10.1007/s11629-020-5989-3

33. Kovalev, A., & Soukhovolsky, V. (2021). Analysis of forest stand resistance to insect attack according to remote sensing data. *Forests*, *12*, 1188. https://doi.org/10.3390/f12091188
34. Nelson, W. A., Bjørnstad, O. N., & Yamanaka, T. (2013). Recurrent insect outbreaks caused by temperature-driven changes in system stability. *Science*, *341*(6147), 796–799. https://doi.org/10.1126/science.1238477
35. Sultson, S. M., Goroshko, A. A., Verkhovets, S. V., Mikhaylov, P. V., Ivanov, V. A., Demidko, D. A., & Kulakov, S. S. (2021). Orographic factors as a predictor of the spread of the Siberian silk moth outbreak in the mountainous southern taiga forests of Siberia. *Land*, *10*(2), 1–16. https://doi.org/10.3390/land10020115
36. Wulder, M. A., Dymond, C. C., White, J. C., Leckie, D. G., & Carroll, A. L. (2006). Surveying mountain pine beetle damage of forests: A review of remote sensing opportunities. *Forest Ecology and Management*, *221*, 27–41.

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Сультсон Светлана Михайловна, канд. с.-х. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, научная лаборатория «Защита леса»
Сибирский государственный университет науки и технологии имени академика М.Ф. Решетнева
пр. Красноярский рабочий, 31, г. Красноярск, 660037, Российская Федерация
sultson2011@yandex.ru

Горошко Андрей Александрович, научный сотрудник, научная лаборатория «Защита леса»
Сибирский государственный университет науки и технологии имени академика М.Ф. Решетнева
пр. Красноярский рабочий, 31, г. Красноярск, 660037, Российская Федерация
utrom3@gmail.com

Демидко Денис Александрович, канд. биол. наук, старший научный сотрудник, научная лаборатория «Защита леса»

Сибирский государственный университет науки и технологии имени академика М.Ф. Решетнева
пр. Красноярский рабочий, 31, г. Красноярск, 660037, Российская Федерация
sawer_beetle@mail.ru

Михайлов Павел Владимирович, канд. с.-х. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, научная лаборатория «Лесных экосистем»
Сибирский государственный университет науки и технологии имени академика М.Ф. Решетнева
пр. Красноярский рабочий, 31, г. Красноярск, 660037, Российская Федерация
mihaylov.p.v@mail.ru

Слинкина Ольга Александровна, старший научный сотрудник, научная лаборатория «Защита леса»
Сибирский государственный университет науки и технологии имени академика М.Ф. Решетнева
пр. Красноярский рабочий, 31, г. Красноярск, 660037, Российская Федерация
sloa@mail.ru

Кулакова Надежда Николаевна, канд. с.-х. наук, старший научный сотрудник, научная лаборатория «Защита леса»
Сибирский государственный университет науки и технологии имени академика М.Ф. Решетнева
пр. Красноярский рабочий, 31, г. Красноярск, 660037, Российская Федерация
nadezha21@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Svetlana M. Sultson, PhD (Agriculture), Assoc. Prof., Leading Researcher, Laboratory of Forest Health
Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii Rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
sultson2011@yandex.ru
SPIN-code: 8980-0250

ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5679-1874
ResearcherID: AAQ-6490-2021
Scopus Author ID: 57211203392

Andrey A. Goroshko, Researcher, Laboratory of Forest Health
Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii Rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
utrom3@gmail.com
SPIN-code: 3758-5809
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6461-144X
ResearcherID: AAD-1316-2022
Scopus Author ID: 57219091788

Denis A. Demidko, PhD (Biology), Senior Researcher, Laboratory of Forest Health
Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii Rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
sawer_beetle@mail.ru
SPIN-code: 1579-0843
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6538-9828
ResearcherID: ABA-6936-2021
Scopus Author ID: 14622168900

Pavel V. Mikhaylov, PhD (Agriculture), Assoc. Prof., Leading Researcher, Scientific Laboratory of Forest Ecosystem
Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii Rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
mihaylov.p.v@mail.ru
SPIN-code: 3337-8195
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3967-0709
ResearcherID: G-4082-2015
Scopus Author ID: 57211200376

Olga A. Slinkina, Senior Researcher, Laboratory of Forest Health
Reshetnev Siberian State University of Science and Technology

31, Krasnoyarskii Rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
sloa@mail.ru
SPIN-code: 4723-4950
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9453-318X
ResearcherID: AAC-8227-2022
Scopus Author ID: 6506026863

Nadezhda N. Kulakova, PhD (Agriculture), Senior Researcher, Laboratory of Forest Health
Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii Rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
nadezha21@mail.ru
SPIN-code: 1137-3998
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6900-5115
ResearcherID: AEL-6927-2022
Scopus Author ID: 57211207296

Поступила 02.07.2024
После рецензирования 25.07.2024
Принята 07.08.2024

Received 02.07.2024
Revised 25.07.2024
Accepted 07.08.2024