

**УДК631.524.86:582.47:638.22**

СУЛЬТСОН С.М., канд. с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, доцент  
ГОРОШКО А.А., научный сотрудник, старший преподаватель  
КУЛАКОВА Н.Н., канд. с.-х. наук, старший научный сотрудник, старший  
преподаватель (СибГУ им. М.Ф. Решетнева)  
г. Красноярск

## **ПОДХОДЫ К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ЛЕСОПАТОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ РАННИХ ОЧАГОВ СИБИРСКОГО ШЕЛКОПРЯДА В ТЕМНОХВОЙНЫХ ЛЕСАХ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ**

Важным этапом системы надзора за насекомыми-вредителями леса является изучение закономерностей ландшафтно-экологической приуроченности очагов в конкретном регионе [1-4]. Чтобы своевременно обнаружить начальные стадии поражения лесов насекомыми-вредителями, необходимо знать, в каких местах формируются ядра очагов и какова их природная структура [1].

На протяжении последних лет на территории Красноярского края в результате массового размножения сибирского шелкопряда уничтожены десятки тысяч гектаров темнохвойной тайги, утратившей свои средообразующие и ресурсные функции [5,6]. При этом одновременно возникает комплекс негативных последствий, обусловленных концентрацией значительных запасов мертвой древесины, а именно — сопутствующее массовое размножение стволовых вредителей и повышение пожароопасности территории. Период восстановления коренного сообщества в то же время довольно длительный и составляет 150-200 лет [7]. Данная проблема актуальна не только для территории Красноярского края, но и других субъектов, входящих в ареал распространения рассматриваемого фитофага.

Исследуемая здесь проблема состоит в своевременном обнаружении мест начала массового размножения сибирского шелкопряда. Действующая система лесопатологического мониторинга не предусматривает создание постоянных пунктов наблюдения за ежегодным отслеживанием плотности популяции данного фитофага. Факт начала вспышки, как правило, конституируется либо специалистами по данным дистанционного зондирования при существенной дефолиации крон деревьев, либо по информации, поступившей случайным способом с мест обнаружения массового размножения гусениц через лист сигнализации от лесопользователей или иного источника. При существующей системе не представляется возможным своевременно предпринять меры по ликвидации вспышки в начальной стадии ее развития.

Целью данной работы являлось совершенствование системы лесопатологического мониторинга через создание пространственной модели прогноза первичных очагов (местонахождения оптимальных мест обитания (резерватов)) сибирского шелкопряда в границах темнохвойных древостоев Красноярского края. Сокращение площади зон мониторинга позволит

своевременно, т.е. на ранней стадии развития вспышки, предпринять меры по локализации таких участков и заметно сократить расходы на ликвидацию вспышки, а также предотвратить как экологический, так и экономический ущерб.

В данной работе мелодические подходы пространственного моделирования резерватов сибирского шелкопряда ориентированы на знания об экологии фитофага и применение орографических и природных характеристик ландшафта (см. рис. 1).

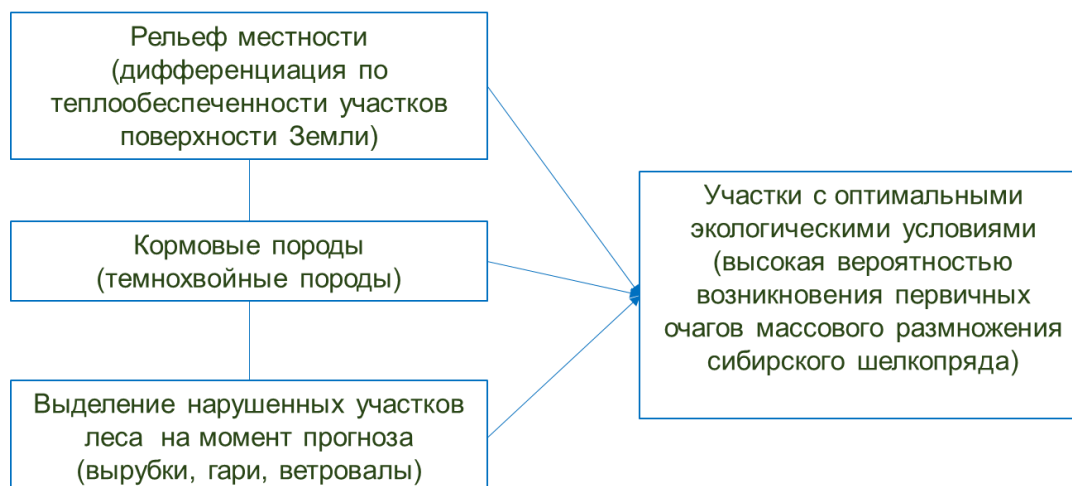


Рисунок 1. Алгоритм выделения резерваций сибирского шелкопряда в границах кормовой базы (темнохвойных древостоев)

Кормовая база выделялась по данными классификации ИКИ РАН [8]. Учитывалось расстояние до поврежденных насаждений (вырубки, гари, ветровалы), которые выделялись по классификации Хансена, за пять лет до начала вспышки [9]. Также для комплексной оценки орографических условий использовались индексы mTPI и CHIL, полученные на платформе Google Earth Engine [10]. Топографический индекс mTPI (Multi-Scale Topographic Position Index) позволяет выделить водоразделы, долины, хребты, вершины холмов, открытые гребни, плоские равнины, верхние или нижние склоны. Индекс CHIL (Continuous Heat-Insolation Load Index), в свою очередь, характеризует теплообеспеченность участков леса.

Создание модели прогноза осуществлялось на основе ретроспективного анализа предыдущих вспышек, возникших на территории Енисейского лесничества Красноярского края в 2015-2018 гг. и Ирбейском лесничестве в 2018-2020 гг. Построение моделей осуществлялось в среде статистической обработки R 4.0.2 [11] с графическим интерфейсом RStudio 2022.07.1-554 [12]. Для предварительной обработки данных использовались пакеты dplyr 1.0.9 [13] и sf 1.0-8 [14]. Обучение алгоритмов и выбор гиперпараметров проводился при помощи пакета mlr3 0.13.3 [15]. Карты создавались в программе QGIS 3.22 [16].

Точность полученной прогнозной модели в среднем составляет 75% и варьирует в зависимости от комплекса предикторов и площади конкретной территории. Преимуществом является универсальный набор предикторов,

позволяющих с достаточной для производственных условий точностью спрогнозировать зоны риска в границах кормовой базы сибирского шелкопряда, где данный фитофаг является фоновым вредителем.

Результаты моделирования использовались для прогнозирования участков потенциальных первичных повреждений на территории Красноярского края на 2023 год. Зона прогнозирования ограничивалась территорией Красноярского края южнее 60 параллели и высотой до 900 м над уровнем моря. Территориальные ограничения обусловлены экологией сибирского шелкопряда [1-5, 17].

Согласно анализу, области с высокой вероятностью возникновения повреждений распределены по территории неравномерно, что позволило объединить их в зоны повышенного риска. В результате выделено 10 областей с суммарной площадью прогнозируемых резерватов 51540 га, что составляет 81% от общей площади. Площади прогнозируемых резерватов в каждой зоне приведены в таблице 1. Местоположение выделенных областей показано на рисунке 2.

Таблица 1. Распределение площади прогнозируемых резерватов по выделенным областям от общей территории прогноза

Id	Площадь, га	Площадь, %	Лесничество
1	29832,9	57,9	Северо-Енисейское
2	5937,9	11,6	Нижне-Енисейское
3	3808,4	7,4	Каратузское
4	2889,9	5,6	Ирбейское
5	2040,2	3,9	Манзенское/Чунское (на границе)
6	1804,6	3,5	Мотыгинское
7	1538,7	2,9	Красноярское
8	1407,4	2,7	Кизирское
9	1389,0	2,7	Теряньское
10	891,3	1,8	Курагинское

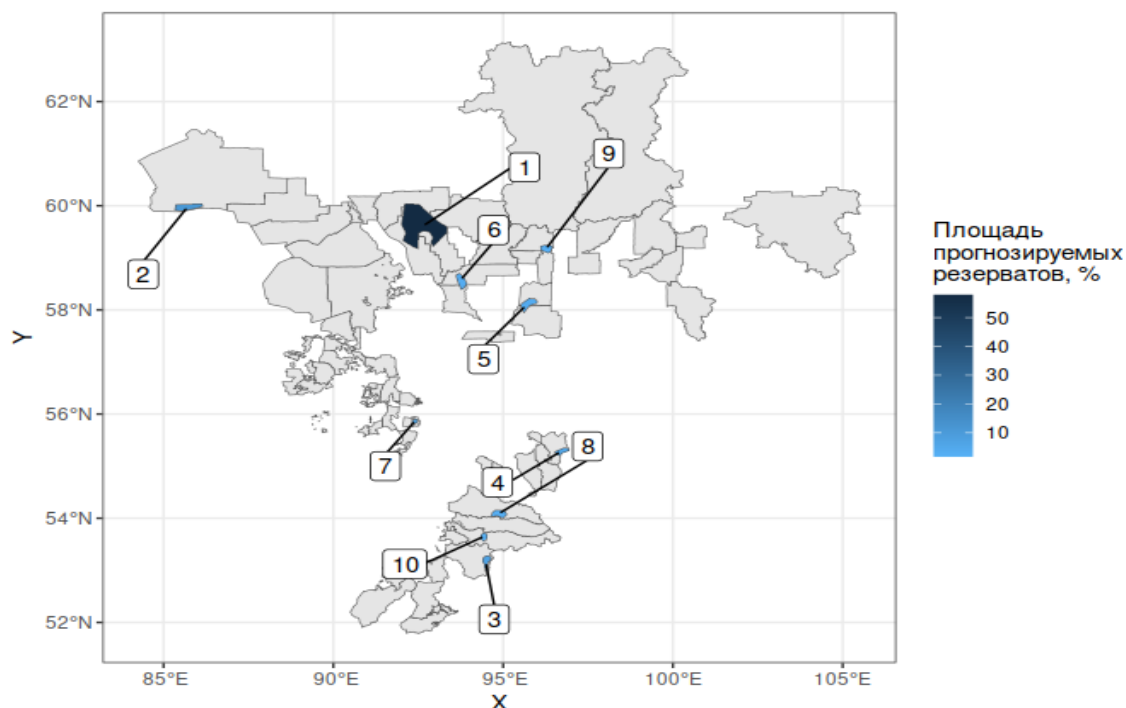


Рисунок 2. Карта областей (основных местоположений) первичных резерватов сибирского шелкопряда в границах Красноярского края

Предлагаемый вариант пространственного прогнозирования местонахождения оптимальных для сибирского шелкопряда мест позволяет создать карту для границ любого лесничества Красноярского края (см. рис. 3).

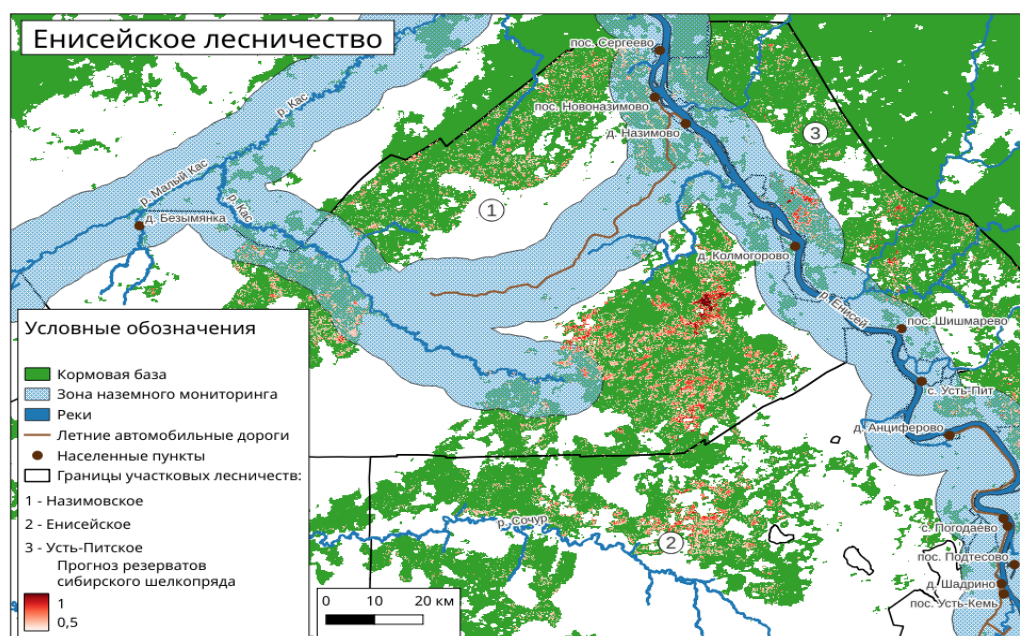


Рисунок 3. Прогнозная карта первичных очагов массового размножения сибирского шелкопряда в границах Енисейского лесничества Красноярского края

Карты прогноза позволяют организовать на определенной территории точки постоянных наблюдений за популяцией фитофага, а также оценку возможной доступности участка для организации мер по локализации очагов.

В то же время следует предполагать, что вследствие разнообразия лесных экосистем можно ожидать меньшей точности прогнозов в существенно отличных условиях. В этой связи перспективным подходом может стать анализ многомерных временных рядов данных ДЗЗ (NDVI и другие индексы) за несколько лет до начала видимых повреждений насаждений, а также анализ временных рядов климатических показателей как фактора возникновения массовых размножений насекомых, что требует дополнительных исследований. В любом случае предпочтение следует отдавать современным данным дистанционного зондирования Земли, которые предоставляют достоверную информацию, непрерывную в пространстве и времени.

*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. Исаев А.С., Ряполов В.Я. Анализ ландшафтно-экологической приуроченности очагов сибирского шелкопряда с применением аэрокосмической съёмки // Исследование таёжных ландшафтов дистанционными методами / под ред. А.С. Исаев. Новосибирск, СССР: Наука, – 1979. – С. 152–167.
2. Исаев А. С., Хлебопрос Р. Г., Недорезов Л. В., Кондаков Ю. П., Киселев В. В., Суховольский В. Г. Популяционная динамика лесных насекомых. – М.: Наука, 2001.– 374 с.
3. Рожков А.С. Вспышки массового размножения сибирского шелкопряда . – М.: Издво АН СССР, 1965. – 179 с.
4. Кондаков Ю.П. Закономерности массовых размножений сибирского шелкопряда // Экология популяций лесных животных Сибири. Новосибирск: Наука, 1974. Р. 206–265.
5. Кондаков Ю.П. Массовые размножения сибирского шелкопряда в лесах Красноярского края // Энтомологические исследования в Сибири. Красноярск: КФ РЭО, 2002. Vol. 2. Р. 25–74.
6. Лямцев Н. И. Оценка и прогноз угрозы массового размножения сибирского шелкопряда в лесах Красноярского края // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2019. – Вып. 228. – С. 294–311.
7. Гродницкий Д.Г. Сибирский шелкопряд и судьба пихтовой тайги // Природа №11, 2004 – С. 49-55.
8. Барталев С.А., Егоров В.А., Жарко В.О., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Хвостиков С.А., Шабанов Н.В. Спутниковое картографирование растительного

- покрова России. М.: ИКИ РАН, 2016. – 208 с. – DOI:10.31857/S0024114821020029.
9. Hansen M.C. et al. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change: 6160 // *Science*. American Association for the Advancement of Science, 2013. Vol. 342, № 6160. P. 850–853.
10. Theobald D.M. et al. Ecologically-Relevant Maps of Landforms and Physiographic Diversity for Climate Adaptation Planning // *PLoS ONE* / ed. Carmel Y. 2015. – Vol. 10, № 12. – P. 1–17.
11. R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2023.
12. RStudio Team. RStudio: Integrated Development Environment for R. Boston, MA: RStudio, PBC, 2023.
13. Wickham H. et al. Dplyr: A Grammar of Data Manipulation. 2022.
14. Pebesma E. Simple Features for R: Standardized Support for Spatial Vector Data // *The R Journal*. 2018. Vol. 10, № 1. P. 439–446.
15. Lang M. et al. Mlr3: A Modern Object-Oriented Machine Learning Framework in R // *Journal of Open Source Software*. 2019.
16. QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System. QGIS Association, 2023.
17. Kharuk V.I., Im S.T., Soldatov, V.V. Siberian silkmoth outbreaks surpassed geoclimatic barrier in Siberian Mountains // *Journal of Mountain Science*. – 2020. – 17. – P.1891–1900. – DOI:10.1007/s11629-020-5989-3.