

Пространственно-временные особенности размещения очагов массового размножения вредных организмов на территории Красноярского края

Д.А. Демидко*, А.И. Татаринцев, С.С. Кулаков, О.А. Слинкина, С.М. Сулытсон

СибГУ им. М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия

Эл. почта: sawer_beetle@mail.ru

Статья поступила в редакцию 21.05.2026; принята к печати 07.08.2026

Результаты лесопатологического мониторинга позволяют выделить на территории Красноярского края по меньшей мере шесть кластеров, различающихся по таксономическому составу вредных организмов, наносящих ущерб лесам. В разных лесничествах ведущая роль в этом принадлежит полиграфу уссурийскому (либо самому по себе, либо в составе группы таксонов, повреждающих темнохвойные древостои), сибирскому шелкопряду, серой лиственничной листовёртке и группе таксонов, трофически связанных со светлохвойными породами. То, какие таксоны вредителей леса будут наиболее вредоносны, в первую очередь зависит от породного состава лесов. Определённую роль в этом, однако, играют средний возраст древостоев и географическое положение территории. Оценка уровня напряжённости лесопатологической угрозы зависит преимущественно от интенсивности ведения лесного хозяйства. Тем не менее, таксономический состав вредных организмов вносит в него существенный вклад. Исторические данные позволяют предполагать, что современные оценки уровня лесопатологической угрозы могут быть не вполне адекватными. Но даже накопленные с 2007 года данные лесопатологического мониторинга указывают, что необходима переоценка современной классификации лесничеств Красноярского края по степени угрозы со стороны вредителей и болезней леса.

Ключевые слова: вредители леса, болезни леса, Красноярский край, государственный лесопатологический мониторинг

Spatiotemporal characteristics of the distribution of the foci of mass reproduction of harmful organisms in the territory of the Krasnoyarsk Region

D.A. Demiko*, A.I. Tatarintsev, S.S. Kulakov, O.A. Slinkin, S.M. Sultson

M.F. Rechetnev Siberian State University, Krasnoyarsk, Russia

Email: sawer_beetle@mail.ru

The results of the pathological monitoring allow to identify on the territory of Krasnoyarsk Krai at least six clusters, which differ in taxonomic composition of harmful organisms that cause damage to forests. In various forested areas, the leading role here belongs to the four-eyed fir bark beetle *Polygraphys proximus* (either on its own or as part of a group of taxa damaging dark-stemmed shrubs), the Siberian silkworm, the grey lignite leaf cutter and a group of taxa, trophically related to the light coniferous trees. Which forest pest taxa will be the most harmful depends primarily on the composition of the forest. However, the average age of the trees and the geographical location of the area also play a role. An estimate of the level of stress from a forestry threat depends primarily on the carefulness of forest management. However, the taxonomic composition of harmful organisms makes a substantial contribution to it. Historical evidence suggests that current estimates of the level of the pathological threat to a forest-related may not be quite adequate; but even forest pathology monitoring data collected since 2007 suggest that it is necessary to reassess the current classification of forest districts in the Krasnoyarsk Region according to the degree of threat from forest pests and diseases.

Keyword: forest pests, forest diseases, Krasnoyarsk Region, state forest pathology monitoring

Введение

Красноярский край является вторым по площади регионом Российской Федерации. Его территория из-за огромной меридиональной протяжённости включает в себя широкий спектр природных зон, от арктических пустынь до степей [32]. В его современных границах он обладает самой большой лесопокрытой площадью среди регионов России [2]. Такое разнообразие условий определяет в свою очередь разнообразие негативно влияющих на лесные экосистемы факторов, включая биотические. Только хвоелистогрызущих и стволовых вредителей, вспышки массового размножения которых известны с территории края, насчитывается свыше 30 видов [4, 5, 8-11, 14, 16, 21, 22, 25-27, 29, 37, 38, 43]. Заметный ущерб лесам наносят и возбудители стволовых и корневых гнилей [36, 37, 50, 51].

Степень и масштаб нарушений экосистем, причиняемых разными видами вредных организмов (ВО), сильно различаются даже при массовых размножениях одного и того же вида. Так, дефолиация древостоев с преобладанием пихты сибирской *Abies sibirica* Ledeb. и кедра сибирского *Pinus sibirica* Du Tour, вызванная сибирским шелкопрядом *Dendrolimus sibiricus* Tschetv., может ограничиться как минимальными последствиями для древостоя, так и полной его гибелью [17]. Принципиально другие последствия производит поражение древостоя стволовыми гнилями. Оно имеет хронический характер и проявляется не в быстром (в течение нескольких лет) отмирании древостоя, а в снижении товарной ценности древесины и устойчивости к воздействию

сильных ветров [20]. Из-за этих и ряда других различий между воздействиями разных ВО на лесные экосистемы прямое сравнение их вклада в динамику состояния лесов крайне затруднено.

Другая причина, не позволяющая всесторонне и полноценно исследовать вклад разных видов ВО в изменение состояния лесных экосистем – это логистические затруднения. При площади лесов Красноярского края, почти достигающей 100 млн га [2], плотность автодорог в нём равна лишь 0,0137 км на кв. км¹.

Компромисс между полнотой данных о воздействии ВО на леса Красноярского края и точностью этих данных достигается при анализе результатов государственного лесопатологического мониторинга (ГЛПМ). При его проведении собираются данные о разных видах ВО, что позволяет дать сравнительную оценку их вклада в изменение состояния лесов региона.

Цель нашей работы – по материалам ГЛПМ оценить вероятность появления очагов массового поражения лесов ВО, масштабы повреждения, наносимые отдельными таксономическими группами ВО лесам Красноярского края и закономерности их распределения в пространстве.

Материалы и методы

Особенности региона

Леса Красноярского края, несмотря на большую площадь, характеризуются малым разнообразием видов-лесообразователей. Около трети лесопокрытой площади занято лиственничниками (*Larix* spp.). Свыше 10% площади покрывают леса с преобладанием как берёзы (*Betula* spp.), так и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Остальная территория занята кедром сибирским (*P. sibirica*), елью (*Picea obovata* Ledeb.), пихтой (*A. sibirica*) и осиною (*Populus tremulae* L.). Сообщества с преобладанием других видов деревьев и кустарников представлены незначительно [2].

Рельеф региона сложный. Основные геоморфологические единицы в пределах территории, на которой возможно произрастание лесов – Западносибирская равнина, Среднесибирское плоскогорье и Саянские горы. В пределах Западносибирской равнины климат формируется широтной зональностью, а в горных частях региона также высотной поясностью, влиянием горных хребтов на распределение влаги и циркуляцию воздуха и рядом других связанных с рельефом факторов. В целом климат континентальный, причём в восточной части края континентальность выражена сильнее по сравнению с западной. Теплообеспеченность возрастает с севера на юг. Осадки распределяются сложнее, максимальное их количество приходится на Саянские горы, расположенные на юге края, минимальное – на межгорные котловины и северо-восточные части региона [15, 32].

Особенности климата и рельефа сказываются на распределении в пространстве видов-лесообразователей. В лесотундре и северной тайге Среднесибирского плоскогорья господствуют лиственничники, в условиях Западносибирской равнины значительные площади занимают также ельники, кедровники и березняки. Леса среднетаёжной подзоны на востоке Среднесибирского плоскогорья преимущественно лиственничные, западнее значительна доля сосняков, ельников, кедровников и березняков, а на Енисейском кряже (западная часть Среднесибирского плоскогорья) и пихтовых лесов. В южной тайге преобладают кедр, пихта, сосна и берёза, в Приангарье значительна доля лиственничных лесов. Сравнительно широко в южной тайге распространены осиново-берёзовые древостои [19, 32, 40]. Подтаёжные, лесостепные и степные леса главным образом сосновые и берёзовые, значительна в подтайге и лесостепи доля осинников. Леса Саян в пределах Красноярского края преимущественно кедровые и пихтовые, но нередко смена лесообразующей породы на берёзу, а на небольших высотах при хорошей влагообеспеченности и на осину [19, 32, 42].

На территории Красноярского края выделено 61 лесничество. Согласно Лесному плану края², в нём выделено семь лесорастительных районов: Среднесибирский притундровых лесов, Среднесибирский плоскогорный таёжный, Нижнеангарский, Среднесибирский подтаёжно-лесостепной, Западносибирский южнотаёжный, Алтае-Саянский горно-таёжный, Алтае-Саянский горно-лесостепной (рис. 1).

¹ Федеральная служба государственной статистики. Транспорт [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/statistics/transport> (дата обращения: 03.09.2024).

² Губернатор Красноярского края. Об утверждении лесного плана Красноярского края: указ Губернатора Красноярского края от 21.12.2018 №332-уг. URL: <http://www.zakon.krskstate.ru/0/doc/54526> (дата обращения: 02.06.2025).

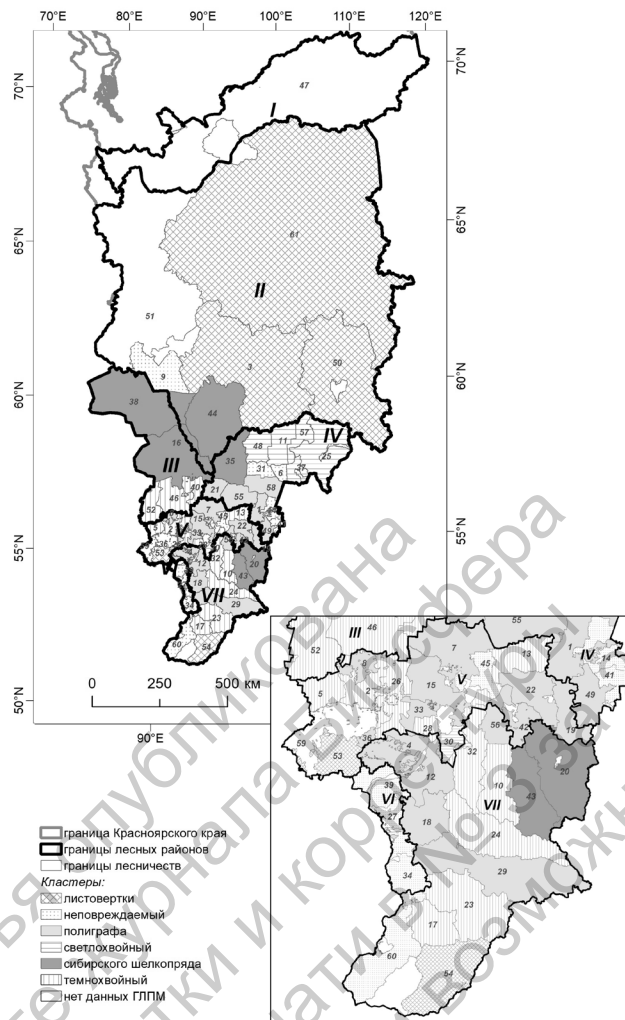


Рис. 1. Границы лесорастительных районов, лесничеств Красноярского края и выделенных кластеров. Лесорастительные районы: I – Среднесибирский притундровых лесов, II – Среднесибирский плоскогорный таёжный, III – Западносибирский южнотаёжный, IV – Нижнеангарский, V – Среднесибирский подтаёжно-лесостепной, VI – Алтай-Саянский горно-лесостепной, VII – Алтай-Саянский горно-таёжный. Лесничества: 1 – Абанское, 2 – Ачинское, 3 – Байкитское, 4 – Балахтинское, 5 – Боготольское, 6 – Богучанское, 7 – Большемурутинское, 8 – Большеулуйское, 9 – Борское, 10 – Верхнеманское, 11 – Гремучинское, 12 – Даурское, 13 – Дзержинское, 14 – Долгомостовское, 15 – Емельяновское, 16 – Енисейское, 17 – Ермаковское, 18 – Идринское, 19 – Иланское, 20 – Ирбейское, 21 – Казачинское, Канское, Каратузское, Кизирское, Кодинское, Козульское, Краснотуранское, Красноярское, Курагинское, Маганское, Манзенское, Манское, Мининское, Минусинское, Мотыгинское, Назаровское, Невонское, Нижне-Енисейское, Новоселовское, Пировское, Пойменское, Рыбинское, Саянское, Северо-Енисейское, Сухобузимское, Таёжинское, Таймырское, Теряинское, Тинское, Тунгусско-Чунское, Туруханское, Тухтетское, Ужурское, Усинское, Усольское, Уярское, Хребтовское, Чунское, Шарыповское, Шушенское, Эвенкийское.

Данные о лесопатологическом состоянии территории

Сведения об очагах повреждения древостоев ВО были взяты из результатов государственного лесопатологического мониторинга (ГЛПМ) за 2007–2023 годы. Агрегированные на уровне лесничеств данные включали видовую принадлежность ВО, повреждаемую древесную породу, площади очагов на начало года, возникших и ликвидированных в текущем году, а также площади очагов, требующих мер борьбы. На основе этих данных мы рассчитали среднюю площадь очагов ВО и вероятность их обнаружения при проведении ГЛПМ в данном году для территории Красноярского края в целом и для каждого лесничества. Кроме того, мы проанализировали, как связано появление очагов с преобладающей древесной породой.

Агрегированные данные о санитарно-оздоровительных мероприятиях (СОМ) из результатов ГЛПМ за 2007–2018 годы включали сведения о повреждающем факторе, повреждаемой породе, площади повреждённых и погибших насаждений на начало года, площади проведённых в лесах санитарно-оздоровительных мероприятий.

Данные о средних возрасте и составе древостоя в лесничестве, принадлежности его или его отдельных частей к лесорастительному району, общей и лесопокрытой площадей, площади защитных лесов, плотности

дорожной сети на его территории получены из Лесного плана Красноярского края на 2018–2029 годы³. и при необходимости дополнены данными из лесохозяйственных регламентов лесничеств. Координаты центроидов для территорий лесничеств рассчитаны в геопространственной платформе ArcGIS⁴.

Расчёт показателя напряжённости лесопатологической угрозы (НЛПУ) выполнен согласно методике Рослесхоза⁵:

$$\text{НЛПУ} = \sum_{i=1}^6 k_i F_i \quad (1),$$

где: k_i – коэффициент для i -го показателя, F_i – значение следующих показателей:

- объём проведённых санитарно-оздоровительных мероприятий, % от площади повреждённых и погибших насаждений;
- суммарная вредоносность ВО (формула 2):

$$\text{Вр} = \sum_{i=1}^n d_i S_i \quad (2),$$

где: d_i – балл вредоносности для i -го вида ВО, S_i – доля площади очагов этого вида от общей площади очагов ВО;

- объём мероприятий по ликвидации очагов ВО, % от их площади на начало года;
- площадь очагов ВО на начало года, % от лесопокрытой площади;
- площадь погибших и повреждённых насаждений, % от лесопокрытой площади;
- площадь защитных лесов, % от лесопокрытой площади.

В зависимости от величины НЛПУ, лесничества были разделены на группы с сильной, средней и слабой степенью лесопатологической угрозы (см. Результаты).

Баллы вредоносности ВО, использованные в расчётах, взяты из приложения к Приказу Рослесхоза №1067⁵ с учётом районирования лесов. Если лесничество распределено по нескольким зонам, то балл вредоносности брали для зоны, которая занимает в лесничестве наибольшую площадь. Полиграф уссурийский (*Polygraphus proximus* Blandford) рассматривался нами как инвазивный вид с введением соответствующих значений коэффициентов⁵. Также при расчёте НЛПУ принято во внимание то, что территории Таймырского и Туруханского лесничеств находятся в пределах Арктической зоны Российской Федерации⁶.

Обработка данных

Все расчёты были выполнены в среде статистической обработки R 4.3.2⁷.

Для классификации лесничеств по тому или иному признаку мы использовали метод нечёткой кластеризации (функция `fanny` пакета `cluster` 2.1.6) [61]. С помощью этого подхода определяют не принадлежность к кластеру (группе) как таковую, а её вероятность, что позволяет выделять классифицируемые объекты, по своим свойствам схожие с представителями более чем одной группы. Количество кластеров выбирали таким образом, чтобы группы были максимально однородными, а классификация – интерпретируемой. Ключевым при этой процедуре является значение параметра `mem.bx` функции `fanny`, который определяет меру нечёткости. Это значение мы последовательным перебором от 1,0 до 5,0 подбирали так, чтобы выделить хорошо отделённые друг от друга кластеры и в то же время обнаружить объекты, имеющие промежуточное положение между ними.

Связь между характеристиками лесничеств исследовали с помощью факторного анализа. Поскольку некоторые из них были измерены в порядковой (степень лесопатологической угрозы) или номинальной (принадлежность к кластеру, лесорастительный район) шкале, мы применяли алгоритм факторного анализа для смешанных данных (функция `FAMD` пакета `MASS` 7.3-60) [64]. Графический анализ его результатов, облегчающий их интерпретацию, проводили, используя функцию `fviz_contrib` пакета `factoextra` 1.0.7 [59]. Факторный анализ позволяет выделить скрытые переменные (главные компоненты, ГК), с которыми в той или иной степени связаны измеренные характеристики объектов. Мерой силы и направления этой связи служат

³ Указ Губернатора Красноярского края от 21.12.2018 №332-уг.

⁴ ArcGIS Desktop. Версия 10.8 / Esri. – Редлендс, 2020. URL: arcgis.com (дата обращения: 26.08.2026).

⁵ Рослесхоз. Приказ №1067 (ред. от 30.10.2019) Об установлении лесозащитного районирования в лесах, расположенных на землях лесного фонда, и признании утратившим силу приказа Рослесхоза от 25.04.2017 №179. URL: <https://rosleshoz.gov.ru/activity/forest-security-and-protection/docs/> (дата обращения: 20.04.2026).

⁶ Президент Российской Федерации. О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации: указ Президента Российской Федерации от 02.05.2014 №296. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/38377> (дата обращения: 20.04.2026).

⁷ R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. 2023. URL: <https://www.R-project.org/>. (access date: 16.11.2023).

координаты исследуемых признаков в пространстве главных компонент. Сопоставляя величину и знак координат признаков, рассчитанных для каждой ГК, мы выявляли и интерпретировали структуру связей характеристик лесничеств друг с другом.

Для статистических сравнений характеристик (таксационных и прочих) выделенных на предыдущем этапе кластеров мы использовали непараметрические критерии Вилкоксона и Колмогорова-Смирнова (функции *wilcox.test* и *ks.test* пакета *stats* 4.3.2)⁷. Использование двух критериев обусловлено тем, что они дополняют друг друга, так как первый из них проверяет гипотезу о равенстве центров распределений, а второй – о равенстве распределений в целом [44]. Так как мы сравнивали более одной пары объектов, то для корректировки величины уровня значимости, уменьшающей вероятность ложных выводов о существовании различий, использовали метод Беньямини – Хохберга [56], реализованный в среде R⁷.

Результаты

Видовой состав вредных организмов и наносимый ими ущерб

По результатам ГЛПМ на территории Красноярского края с 2007 по 2023 год были обнаружены очаги 36 таксонов ВО. Патогенные грибы вызвали различные заболевания: девять – стволовые гнили, два – корневые гнили, пять – некрозно-раковые болезни. Среди видов насекомых преобладают ксилофаги (стволовые вредители), которых отмечено 17 видов. Из филлофагов (хвоелистогрызущих вредителей) массовые размножения указаны для четырёх видов. Из прочих групп вредных насекомых очаги отмечены только для одного вида минёров (табл. 1).

Табл. 1.

Вредные организмов, очаги которых обнаружены на территории Красноярского края

Вредный организм или вызванная им болезнь лесобразующих пород	Характер ущерба
Настоящий трутовик <i>Fomes fomentarius</i> (L.) Fr.	стволовая гниль
Берёзовая губка <i>Fomitopsis betulina</i> (Bull.) B.K. Cui, M.L. Han & Y.C. Dai	стволовая гниль
Лиственничная губка <i>Fomitopsis officinalis</i> (Vill.) Bondartsev & Singer	стволовая гниль
Окаймлённый трутовик <i>Fomitopsis pinicola</i> (Sw.) P. Karst.	стволовая гниль
Трутовик Гартига <i>Phellinus hartigii</i> (Allesch. & Schnabl) Pat.	стволовая гниль
Ложный трутовик <i>Phellinus igniarius</i> (L.) Quél.	стволовая гниль
Сосновая губка <i>Porodaedalea pini</i> (Brot.) Murrill	стволовая гниль
Еловая губка <i>Porodaedalea abietis</i> (P.Karst.) Bernicchia & Gorjón	стволовая гниль
Осиновый трутовик <i>Phellinus tremulae</i> (Bondartsev) Bondartsev & P.N. Borisov	стволовая гниль
Опёнок <i>Armillaria mellea</i> s.l.	корневая гниль
Корневая губка <i>Heterobasidion annosum</i> s.l.	корневая гниль
Рак смоляной (рак-серянка) <i>Cronartium pini</i> (Willd.) Jørst.	рак
Чёрный рак осины <i>Entoleuca mammata</i> (Wahlenb.) J.D. Rogers & Y.M. Ju	рак
Ржавчинный рак пихты <i>Melampsorella elatina</i> (Alb. & Schwein.) Arthur	рак
Большой серый усач <i>Acanthocinus aedilis</i> (L.)	ксилофаг
Бронзовая ребристая златка <i>Chrysobothris chrysostigma</i> (L.)	ксилофаг
Большой еловый лубоед <i>Dendroctonus micans</i> (Kug.)	ксилофаг
Шестизубчатый короед <i>Ips sexdentatus</i> (Boern.)	ксилофаг
Продолговатый короед <i>Ips subelongatus</i> (Motsch.)	ксилофаг
Типограф <i>Ips typographus</i> (L.)	ксилофаг
Чёрный сосновый усач <i>Monochamus galloprovincialis</i> (Oliv.)	ксилофаг
Малый чёрный еловый усач <i>Monochamus sutor</i> (L.)	ксилофаг
Большой чёрный еловый усач <i>Monochamus urusovi</i> Fisch.	ксилофаг
Синяя сосновая златка <i>Phaenops cyanea</i> Fabr.	ксилофаг
Лиственничная златка <i>Phaenops guttulata</i> Gebl.	ксилофаг
Уссурийский полиграф <i>Polygraphus proximus</i> Blandf.	ксилофаг
Осиновый скрипун <i>Saperda carcharias</i> (L.)	ксилофаг
Берёзовый заболонник <i>Scolytus ratzeburgii</i> E.W. Janson	ксилофаг
Малый сосновый лубоед <i>Tomicus minor</i> (Hart.)	ксилофаг
Большой сосновый лубоед <i>Tomicus piniperda</i> L.	ксилофаг
Пальцеходный лубоед <i>Xylechinus pilosus</i> (Ratz.)	ксилофаг
Белая осиновая моль <i>Phyllocnistis labyrinthella</i> (Bjerkander)	минёр
Сибирский шелкопряд <i>Dendrolimus sibiricus</i> Tschetv.	филлофаг
Непарный шелкопряд <i>Lymantria dispar</i> L.	филлофаг
Рыжий сосновый пилильщик <i>Neodiprion sertifer</i> Geoffr.	филлофаг
Серая лиственничная листовёртка <i>Zeiraphera griseana</i> (Hübner)	филлофаг

Очаги рыжего соснового пилильщика были указаны только для 2007 года как образовавшиеся в предыдущий период. Поскольку одной из поставленных задач было исследование вероятности обнаружения очагов отдельных видов ВО, а данные прошлых лет в проанализированных материалах приводятся накопленным итогом, то мы не имели возможности оценить, для какого периода приведена информация об очагах этого вида. Поэтому из дальнейшей обработки данные по *N. sertifer* были исключены.

Виды ВО, очаги которых были отмечены в Красноярском крае в 2007–2023 гг., значительно различаются как по средним, так и по суммарным площадям их очагов, а также по вероятности их обнаружения (Рис. 2 А, В).

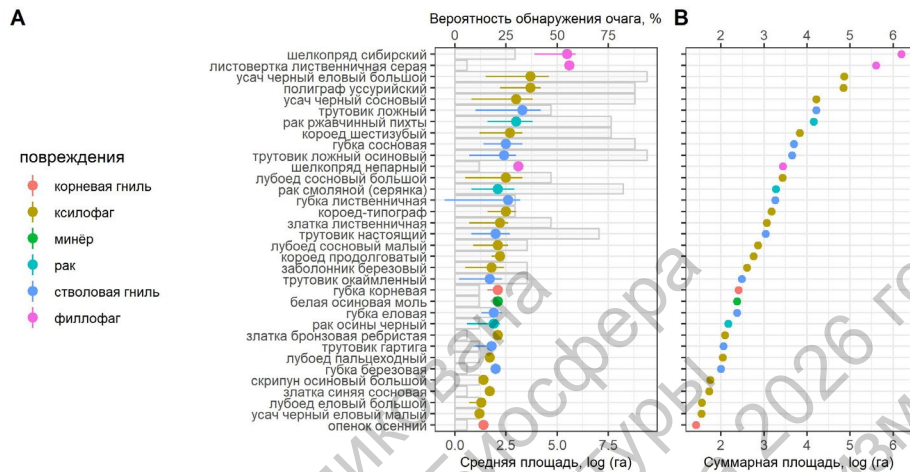


Рис. 2. Характеристика площади и вероятности обнаружения очагов ВО на территории Красноярского края. (А) Средние площади очагов и вероятности их обнаружения. Серые столбцы – вероятность обнаружения очагов. Цветные точки – средняя площадь древостоев, повреждённых данным ВО на территории лесничества (для тех лет, в которые они были отмечены). Цветные линии, расходящиеся от точек – размах (минимум и максимум) площади повреждённых древостоев. (В) Суммарные площади очагов на территории Красноярского края за период наблюдения.

Связь отдельных ВО с лесообразующими породами охарактеризована в табл. 2.

Табл. 2.

Таксономические группы вредных организмов, очаги которых были обнаружены в древостоях с преобладанием той или иной лесообразующей породы на территории Красноярского края. Данные о повреждаемых породах для *H. pruinatum*, *A. aedilis* и *P. cyanea* отсутствуют.

Порода	Доля очагов ВО в древостоях данной породы, % от площади очагов			
	Свыше 60	60–20	20–5	Менее 5
Берёза	<i>F. fomentarius</i> , <i>F. betulina</i> , <i>A. mellea</i> s.l., <i>S. ratzeburgii</i>		<i>P. igniarius</i>	<i>F. pinicola</i>
Ель	<i>Ph. pini</i> var. <i>abietis</i> , <i>D. micans</i> , <i>I. typographus</i> , <i>M. sutor</i>	<i>F. pinicola</i> , <i>M. urusovi</i> , <i>D. sibiricus</i>		<i>T. piniperda</i>
Кедр	<i>C. chrysostigma</i> , <i>I. sexdentatus</i>	<i>X. pilosus</i> , <i>N. sertifer</i> , <i>D. sibiricus</i>	<i>F. pinicola</i> , <i>H. annosum</i> s.l., <i>M. urusovi</i>	<i>H. annosum</i> s.l., <i>M. galloprovincialis</i> , <i>M. sutor</i> , <i>P. guttulata</i>
Лиственница	<i>F. officinalis</i> , <i>I. subelongatus</i> , <i>P. guttulata</i> , <i>L. dispar</i> , <i>Z. griseana</i>	<i>M. sutor</i>	<i>F. pinicola</i> , <i>M. galloprovincialis</i> , <i>M. urusovi</i>	<i>I. typographus</i> , <i>T. minor</i> , <i>T. piniperda</i>
Осина	<i>P. igniarius</i> , <i>P. tremulae</i> , <i>H. mammatum</i> , <i>S. carcharias</i> , <i>P. labyrinthella</i>		<i>F. fomentarius</i>	<i>F. pinicola</i>

Порода	Доля очагов ВО в древостоях данной породы, % от площади очагов			
	Свыше 60	60–20	20–5	Менее 5
Пихта	<i>P. hartigii</i> , <i>M. cerastii</i> , <i>M. urussovi</i> , <i>P. proximus</i> , <i>X. pilosus</i>	<i>F. pinicola</i> , <i>D. sibiricus</i> , <i>N. sertifer</i>	<i>H. annosum</i> s.l.	<i>I. typographus</i>
Сосна	<i>Ph. pini</i> , <i>H. annosum</i> s.l., <i>C. flaccidum</i> , <i>M. galloprovincialis</i> , <i>T. minor</i> , <i>T. piniperda</i>	<i>I. sexdentatus</i>	<i>D. sibiricus</i>	<i>F. pinicola</i> , <i>M. urussovi</i>

Материалы табл. 2 показывают, что среди вредных насекомых и патогенных грибов Красноярского края преобладают таксоны, тесно связанные с определённой древесной породой. Они либо специализированы только исключительно на одной из них (например, *S. ratzeburgii* на берёзе, *M. cerastii* на пихте), либо могут факультативно образовывать очаги в древостоях других пород (короеды рода *Tomicus*, чаще всего повреждающие сосну, но отмеченные и в лиственничниках). Лишь немногие виды проявляют себя как олигофаги (*D. sibiricus*) или имеют крайне широкую специализацию (*F. pinicola*).

Пространственное распределение очагов ВО в лесничествах Красноярского края

Разбиение лесничеств на кластеры проводили, используя как исходные данные суммарную площадь очагов каждого ВО за период наблюдений. Чтобы избежать непропорционально большого вклада в результаты классификации ВО с большими площадями повреждаемых древостоев, перед анализом их преобразовали взятием двоичного логарифма. Лучшие результаты были получены при разделении лесничеств на шесть групп при $\text{memb.exp} = 1,2$.

Основным видом ВО в лесничествах первого кластера (18 лесничеств) является полиграф уссурийский (далее «кластер полиграфа»). Его очаги отмечены во всех входящих в него лесничествах, средняя площадь выявленных очагов в год в 2007–2023 годах составляла 1762 га на лесничество. Ущерб, наносимый другими видами ВО, является эпизодическим (очаги отмечены менее чем в 50% лесничеств) и не характеризует кластер в целом.

Второй кластер (13 лесничеств) характеризуется преобладанием комплекса ВО, связанного с темнохвойными и осиновыми древостоями («темнохвойный кластер»). Более чем в половине лесничеств этой группы отмечены очаги большого чёрного елового усача (100%, средняя площадь очагов 1524 га), ржавчинного рака пихты (92,3%, 951 га), уссурийского полиграфа (84,6%, 2144 га) и ложного осинового трутовика (61,5%, 206 га). Нужно отметить, что нечёткий кластерный анализ показал заметное сходство первой и второй групп. Из лесничеств первого кластера вероятность попадания во второй >20% при данных параметрах кластеризации отмечена для пяти, обратная ситуация сложилась для двух. Для одного из лесничеств отмечено сходство с комплексом ВО шестого кластера за счёт широкого распространения в нём ВО, типичных для пихты и осины.

Для небольшого (пять лесничеств) третьего кластера типично повреждение лесов серой лиственничной листовёрткой («кластер листовёртки»). Её очаги отмечены во всех лесничествах, а средняя их площадь составила более 75 тыс. га. Это единственный вид ВО, объединяющий лесничества в единую группу.

Четвёртый кластер (десять лесничеств) характеризуется практически полным отсутствием зафиксированных повреждений лесов со стороны ВО («неповреждаемый кластер»). Набольшая средняя площадь очагов на лесничество в год составляет лишь 86 га (большой чёрный еловый усач), а самым распространённым видом ВО является чёрный сосновый усач (50% лесничеств в кластере). Некоторое сходство наблюдается со вторым кластером (за счёт распространения ВО, связанных с темнохвойными породами деревьев) и с пятым (за счёт комплекса вредителей сосны).

Пятый кластер, как и третий, невелик (шесть лесничеств). Аналогично второму, отнесение к нему той или иной территории определялось не преобладанием одного вида ВО, а их комплекса, связанного со светлохвойными (сосна и лиственница) породами («светлохвойный кластер»). Основными видами ВО в нём являются сосновая губка (100%, 438 га), чёрный сосновый усач (100%, 2099 га), смоляной рак (83,3%, 117 га), лиственничная губка (66,7%, 291 га), лиственничная златка (66,7%, 158 га), большой (66,7%, 353 га) и малый (66,7%, 57 га) сосновый лубоеды, продолговатый короед (50%, 67 га). Исключения представляют большой чёрный еловый усач (100%, 2096 га), ложный (66,7%, 2609 га) и настоящий (66,7%, 111 га) трутовики. Первый из этих видов в лесничествах пятого кластера формировал очаги преимущественно в темнохвойных (пихтовых и еловых) древостоях, но нередко также на лиственнице и даже сосне. Ложный и настоящий трутовики дают очаги, соответственно, в осиновых и берёзовых древостоях (табл. 2).

Основным видом ВО, объединяющим шесть лесничеств шестого кластера, является сибирский шелкопряд («кластер сибирского шелкопряда»). Его очаги зарегистрированы на всех входящих в кластер территориях, а средняя площадь на лесничество составляет свыше 250 тыс. га. Прочие сравнительно распространённые в лесничествах кластера виды ВО наносят гораздо меньший ущерб. Среди связанных с темнохвойными древостоями можно назвать большого чёрного елового усача (83,3%, 6128 га), уссурийского полиграфа (66,7%, 1715 га), шестизубчатого короеда (50%, 199 га), ржавчинный рак пихты (50%, 222 га). Сосну повреждают большой сосновый лубоед (66,7%, 39 га), черный сосновый усач (66,7%, 191 га) и сосновая губка (50%, 32 га), осину – ложный осиновый трутовик (50%, 94 га).

Различия между кластерами по особенностям входящих в них лесничеств

Кластеры (рис. 1), выделенные по площади очагов того или иного ВО или их комплекса (см. Пространственное распределение очагов ВО в лесничествах Красноярского края), сравнили друг с другом по общей и лесопокрытой площади, среднему возрасту древостоев, доле древостоев с преобладанием разных лесообразующих пород (отдельно по доле светлохвойных и темнохвойных древостоев), плотности дорог, широте и долготе.

Кластер полиграфа (1) отличается небольшим средним возрастом древостоев (83 года), малой долей древостоев с преобладанием лиственницы (0,2 единицы), светлохвойных пород в целом (1,7 единиц) и кедра (0,6 единиц). При этом значительная доля лесов представлена в нём темнохвойными (3,5 единицы) и, в частности, пихтовыми (2,3 единицы) насаждениями (рис. 3). Площади входящих в него лесничеств сравнительно невелики (в среднем 400 тыс. га общей, 364 тыс. га лесопокрытой). Лесничества кластера полиграфа в целом тяготеют к юго-западному сектору края (рис. 4), практически полностью находясь в пределах Нижнеангарского, подтаёжно-лесостепного и горно-таёжного районов (рис. 1). ГК, соответствующих этому кластеру, факторный анализ не выявил.

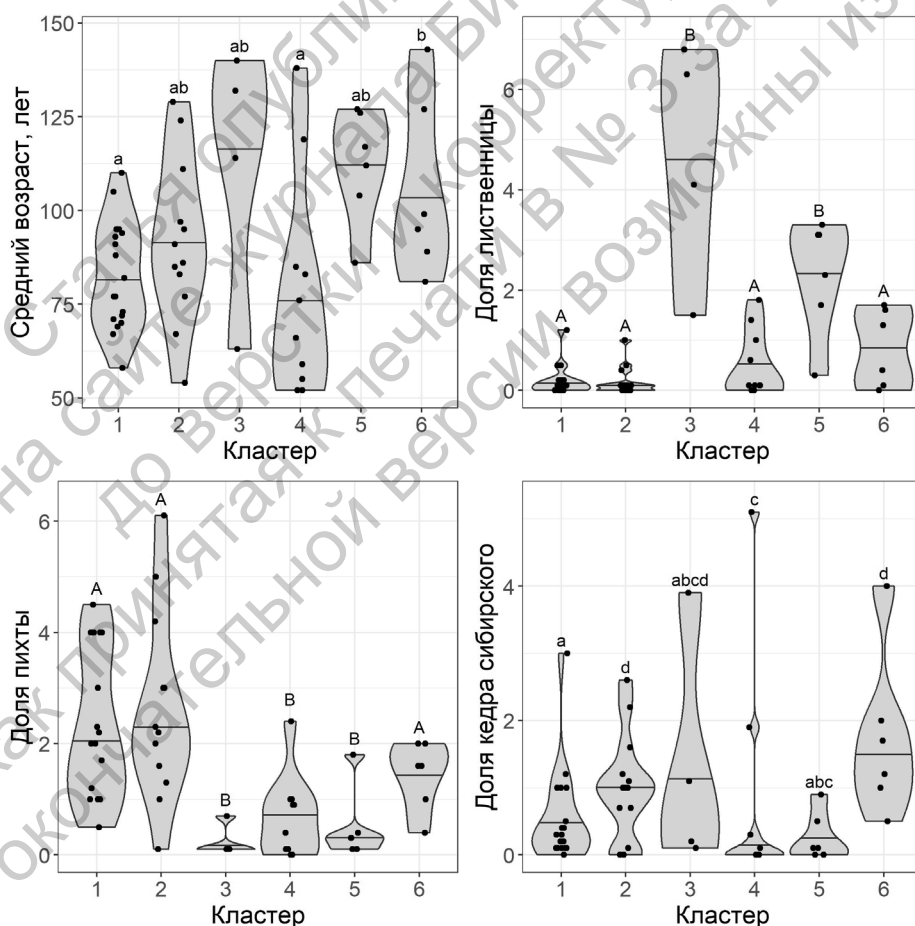


Рис. 3. Характеристики древостоев лесничеств, входящих в разные кластеры. Область с серой заливкой описывает эмпирическое распределение данного признака, точки – значения фактических данных для конкретного лесничества, горизонтальная линия – положение медианы. Одинаковые буквы означают отсутствие различий между кластерами на уровне значимости 0,1 (заглавные – по критерию Вилкоксона, строчные – Колмогорова-Смирнова). Не приведены данные по доле светлохвойных (коэффициент корреляции Спирмена с площадью лиственничных древостоев $\rho = 0,673$) и темнохвойных (с площадью пихтовых древостоев $\rho = 0,844$).

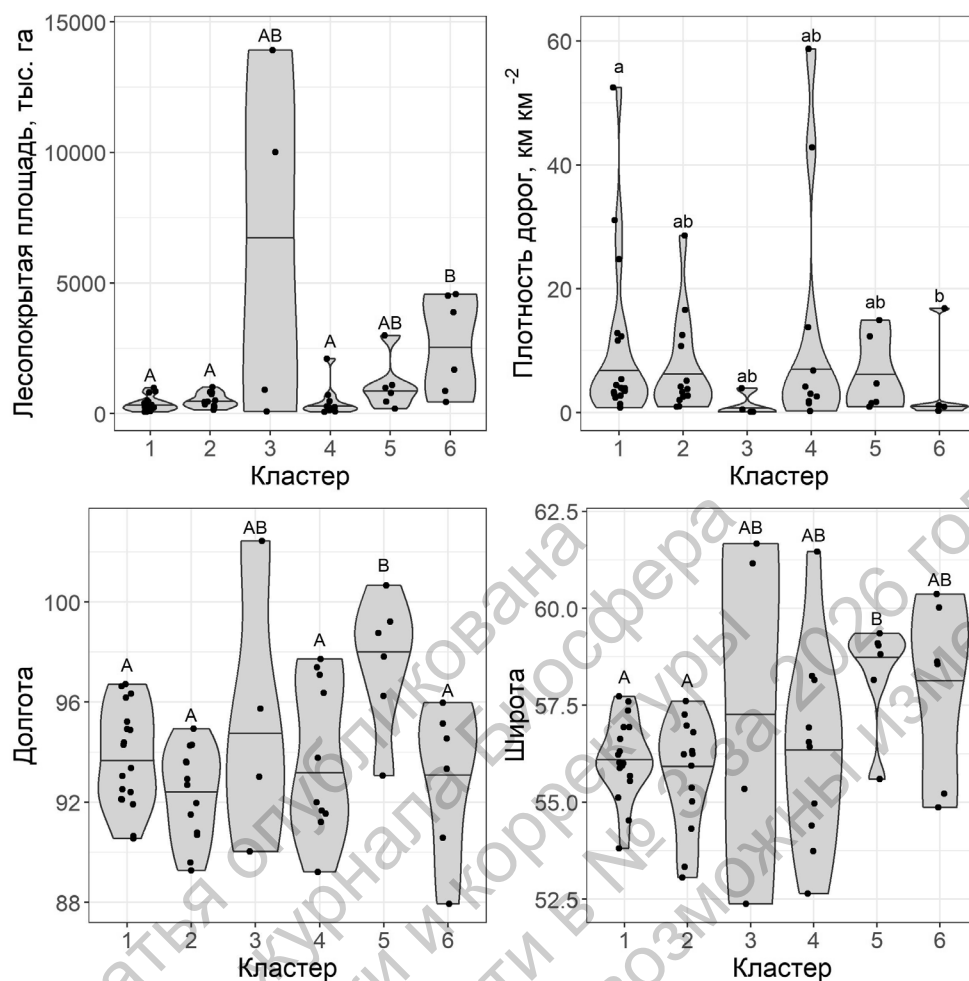


Рис. 4. Характеристики территорий лесничеств, входящих в разные кластеры. Область с серой заливкой описывает эмпирическое распределение данного признака, точки – значения фактических данных для конкретного лесничества, горизонтальная линия – положение медианы. Одинаковые буквы означают отсутствие различий между кластерами на уровне значимости 0,1 (заглавные – по критерию Вилкоксона, строчные – Колмогорова-Смирнова). Не приведены данные по общей площади лесничеств (с лесопокрытой площадью $\rho = 0,996$).

Лесничества темнохвойного (2) кластера во многом совпадают по характеристикам с предыдущим: для них типичны низкая доля лиственницы (0,2 единицы) и светлохвойных древостоев (1,4 единицы) при высокой доле пихты (2,6 единицы) и темнохвойных (4,4 единицы). При этом для них в среднем типична сравнительно высокая доля кедровых древостоев (1,0 единицы) (рис. 3). Площади лесничеств невелики (542 тыс. га общей и 497 тыс. га лесопокрытой), а сами они приурочены к юго-западу Красноярского края (рис. 4). Согласно лесорастительному районированию, лесничества кластера относятся к Западносибирскому таёжному, подтаёжно-лесостепному и горно-таёжному районам (рис. 1). Темнохвойному кластеру соответствует ГК4, которая дополняет список типичных для него видов ВО (табл. 3).

В кластере листовёртки (3) ожидаемо высока доля лиственничников (4,7 единицы) (рис. 3). По распределению значений широт и долгот центроидов этот кластер статистически значимо не отличается от прочих, но при детальном рассмотрении (рис. 4) явно заметна его приуроченность или к горным территориям (горно-таёжный район), или к северным частям (притундровый и Среднесибирский районы) края (рис. 1). Результаты факторного анализа (табл. 3) позволяют утверждать также, что лесничества этого кластера характеризуются большими площадями, возрастом и сравнительно высокой долей кедровых древостоев.

Для светлохвойного (5) кластера типичны в первую очередь высокие значения среднего возраста древостоев (112 лет) и сравнительно большая доля лиственничников (и светлохвойных лесов в целом) (соответственно, 2,3 и 5,5 единицы) при малой доле пихтовых, кедровых и темнохвойных в целом (0,5, 0,3 и 1,6 единицы) лесов (рис. 3). Лесничества этого кластера тяготеют к северо-западу Красноярского края (рис. 4) (преимущественно, Нижнеангарский район) (рис. 1). Сходство лесничеств, включённых в светлохвойный кластер, подтверждает и результат факторного анализа (табл. 3).

Табл. 3.

Главные компоненты (ГК), с которыми связана принадлежность к кластерам, координаты в их пространстве площадей очагов ВО и характеристик территорий. Обозначения: Р – доля древостоев с преобладанием той или иной породы (листв – лиственница, кедр – кедр сибирский, бер – берёза); S – площадь лесничества (общ – общая, лп – лесопокрытая).

ГК (% объяснённой дисперсии)	Координаты в пространстве главной компоненты		
	Кластеры	Виды ВО	Характеристики территорий
1 (13,2)	Светлохвойный (5,640)	<i>I. subelongatus</i> (0,753), <i>P. guttulata</i> (0,725), <i>Ph. pini</i> (0,723), <i>M. galloprovincialis</i> (0,698), <i>F. officinalis</i> (0,634), <i>T. piniperda</i> (0,557), <i>S. carcharias</i> (0,450), <i>T. minor</i> (0,348)	Р _{листв} (0,772), Нижнеангарский район (0,650), широта (0,626), долгота (0,618), S _{лп} (0,522), S _{общ} (0,518), возраст (0,449), Среднесибирский район (0,418)
2 (9,4)	Листовёртки (-4,656)	<i>Z. griseana</i> (-0,525)	S _{общ} (-0,684), S _{лп} (-0,676), Р _{листв} (-0,399), возраст (-0,389), Р _{кедр} (-0,374)
4 (7,1)	Темнохвойный (1,699)	<i>M. cerastii</i> (0,716), <i>I. sexdentatus</i> (0,624), <i>C. chrysostigma</i> (0,605), <i>H. mammatum</i> (0,605), <i>P. labyrinthella</i> (0,470), <i>M. sutor</i> (0,396)	Горно-таёжный район (0,639), возраст (0,367)
8 (4,4)	Сибирского шелкопряда (3,103)	<i>D. sibiricus</i> (0,618), <i>M. urussovi</i> (0,292), <i>I. sexdentatus</i> (0,244)	Западносибирский таёжный (0,565), Р _{бер} (0,264)

Для кластера сибирского шелкопряда (6) типичны большие площади лесничеств (свыше 3 млн. га общей и 2,6 млн. га лесопокрытой), а также низкая плотность дорожной сети (3,4 км на тыс. га) (рис. 4), сравнительно высокая доля пихты и кедра (1,4 и 1,7 единиц) (рис. 3), а по результатам факторного анализа – также берёзы (табл. 3), низкая – лиственницы и светлохвойных насаждений в целом (0,8 и 2,6 единиц) (рис. 3), нахождение в западной части края (рис. 4). Несмотря на небольшое число лесничеств в кластере, их приуроченность к лесорастительным районам очень разнообразна (Среднесибирский, Нижнеангарский, Западносибирский таёжный и горно-таёжный районы) (рис. 1).

Лесничества, отнесённые к неповреждаемому (4) кластеру – это территории с небольшой площадью (542 и 456 тыс. га) (рис. 4) и молодыми (78 лет) лесами, низкой долей светлохвойных (в частности, лиственничных) и пихтовых древостоев (соответственно, 2,8, 0,5 и 0,7 единиц) (рис. 3). В основном, их территория расположена в пределах Нижнеангарского и горно-лесостепного районов, но по одному лесничеству находится в Среднесибирском (Борское), подтаёжно-лесостепном (Сухобузимское) и горно-таёжном (Саяно-Шушенское) районах (рис. 1).

Лесопатологическая напряжённость в лесах Красноярского края

Расчёт значений НЛпУ для лесничеств Красноярского края показал, что они колеблются от 21 до 66 баллов. Согласно нормам Приказа Рослесхоза №1067, подавляющее большинство (52 лесничества) относятся к зоне средней угрозы. В зоны слабой и сильной попадают, соответственно, семь и два лесничества (рис. 5).

Лесничества были разделены на кластеры для анализа вклада отдельных показателей в интегральный балл НЛпУ (рис. 6). Лучшие результаты были получены при разделении лесничеств на пять групп при $\text{mem.bxp} = 1,3$. Только для семи лесничеств принадлежность к определённому кластеру была установлена достаточно чётко.

Основной вклад в разбиение лесничеств на кластеры по вкладу в НЛпУ отдельных показателей внесли суммарная вредоносность вредных организмов, объём проведённых санитарно-оздоровительных мероприятий и объём мероприятий по ликвидации очагов. Наибольшими значениями НЛпУ отличаются первые два кластера, но во втором несколько выше интегральная вредоносность ВО. Довольно велика она и в лесничествах четвёртого кластера. В них же, по сравнению с третьим, значительно лучше обстановка с ликвидацией очагов ВО, этот показатель отличается минимально возможными значениями. В пятом кластере все показатели НЛпУ близки к своим минимумам (рис. 6).

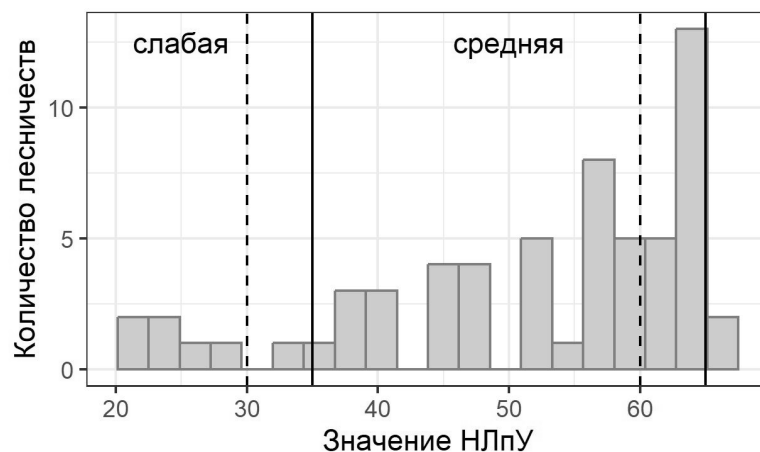


Рис. 5. Распределение лесничеств по баллам НЛпУ и зонам лесопатологической угрозы. Сплошные вертикальные линии показывают границы между зонами лесопатологической угрозы согласно Приказу Рослесхоза №1067, пунктирные – согласно нашему предложению (см. Адекватность оценки лесопатологической напряжённости и вклад в неё массовых размножений ВО).

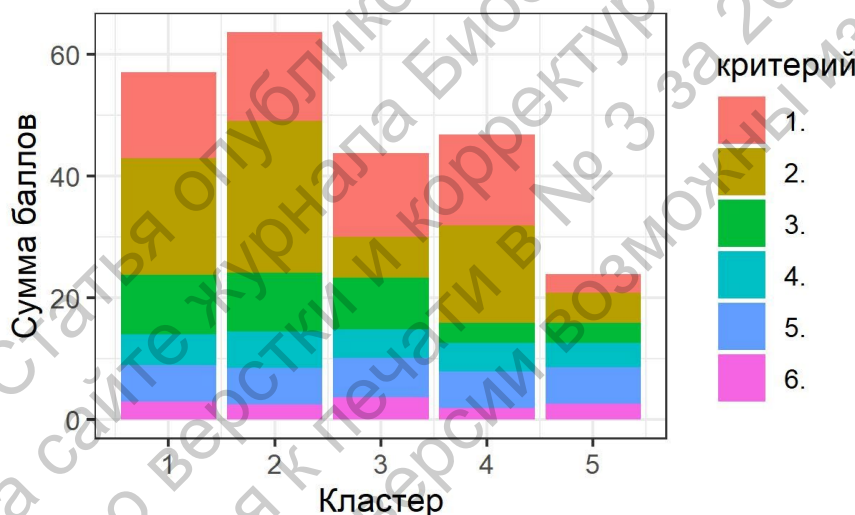


Рис. 6. Вклад отдельных показателей лесопатологической напряжённости в интегральный показатель НЛпУ для разных кластеров, где (1) – объём проведённых СОМ, (2) – суммарная вредоносность ВО, (3) – объём мероприятий по ликвидации очагов ВО, (4) – площадь очагов ВО на начало года, (5) – площадь погибших и повреждённых насаждений, (6) – площадь защитных лесов.

Медианные значения суммарной вредоносности ВО для разных кластеров, выделенных по этому признаку, колеблются от 5 (третий и пятый) до 25 (второй). При этом даже в лесничествах второго кластера, где наносимый ВО ущерб лесам максимален, его вклад в НЛпУ достигает лишь 38,5%. В остальных случаях сравнимое или преобладающее значение для оценки НЛпУ имеют недостаточные объёмы проведённых санитарно-оздоровительных мероприятий и мероприятий по ликвидации очагов (первый и третий признаки) (рис. 6).

Результаты факторного анализа показали, что уровень лесопатологической напряжённости не имеет закономерных связей с таксономическим составом ВО и интенсивностью наносимых ими повреждений. Множественный анализ соответствий же позволил установить, что первый кластер по НЛпУ тесно связан с темнохвойным кластером, второй – с кластером полиграфа, третий – со светлохвойным, четвёртый – с кластером сибирского шелкопряда, пятый – с кластером листовёртки.

Обсуждение

Закономерности распределения очагов ВО в лесах Красноярского края

Наибольшие площади ($>10^5$ га) очагов массового размножения, как и ожидалось, были отмечены для давно известных на территории Красноярского края видов хвоегрызущих вредителей – *D. sibiricus* [27] и

Z. griseana [22, 39]. Значительный ущерб (~10⁵ га) наносили также ксилофаги: *M. urusovi* [21], нередко сопутствующий сибирскому шелкопряду [21, 35], и сравнительно недавно обнаруженный на территории края *P. proximus* [34]. Еще три вида, *M. galloprovincialis*, *P. ignarius* и *M. cerastii* (соответственно, ксилофаг, возбудитель стволовой гнили, возбудитель рака) повредили древостои на площади свыше 10⁴ га (рис. 2В). В целом же закономерностей как масштаба наносимых повреждений, так и частоты обнаружения очагов массового размножения в зависимости от характера ущерба, наносимого ВО (табл. 1), установить не удалось (рис. 2А, В).

Результаты кластерного и факторного анализа позволили достаточно точно выявить территории, для которых угроза повреждения теми или иными ВО максимальна. Это удалось почти для всех таксонов ВО, площадь повреждённых которыми насаждений превышает 1000 га. Почти для всех таких ВО более половины площади очагов находились на территориях, которые были предсказаны для них, для ряда таксонов – более 70% (рис. 2, табл. 4). Худшие результаты дал анализ закономерности размещения некоторых ВО, наносящих небольшие по масштабам повреждения. Для двух из них (осиновый скрипун, малый чёрный еловый усач) реальное размещение очагов абсолютно не совпало с теоретически предсказанным (табл. 4).

Достаточно тесная приуроченность ряда видов к определённым территориям в первую очередь может быть объяснена особенностями их лесного покрова. Так, для кластера полиграфа характерна довольно значительная доля древостоев с преобладанием пихты (рис. 3), в среднем равная 2,2 и не снижающаяся ниже 0,5. Именно пихта сибирская является основной кормовой породой для полиграфа уссурийского в Сибири, хотя изредка он может заселять и другие хвойные [23]. Климатические предпочтения *P. proximus* пока не изучены. Но, анализируя данные о его распространении в Томской области и Красноярском крае, которые были ранее других регионов затронуты его инвазией [33], можно предположить, что благоприятные для его массовых размножений условия складываются от 59° с.ш. и южнее. Действительно, центроид наиболее северного лесничества, входящего в кластер полиграфа, находится на широте 57,7° (Чунское), а в целом их координаты южнее, чем в среднем по региону (рис. 4).

С другой стороны, в близком к нему по характеристикам лесного покрова (рис. 3) и территории (рис. 4) темнохвойный кластер имеет гораздо более богатый список активных на его территории таксонов ВО (см. «Пространственное распределение очагов ВО в лесничествах Красноярского края» и табл. 4). Отчасти это можно связать с более высокой долей кедровых древостоев в лесах темнохвойного кластера – единственной характеристикой, по которой он статистически значимо отличается от кластера полиграфа (рис. 3). Это позволяет объяснить приуроченность к этому кластеру очагов *I. sexdentatus* и *C. chrysostigma* (табл. 3, 4) – видов, в Красноярском крае повреждающих преимущественно кедр (табл. 2). Но при этом без объяснений остаётся почти полное отсутствие в кластере полиграфа комплекса видов, связанных с осиной (табл. 2–4), особенно широко распространённого *P. tremulae* [20]. То же касается тесно связанных с пихтой *M. cerastii* [1, 62, 63] и *M. urusovi* [21, 52], наносящих значительный ущерб только в темнохвойном кластере, но практически не отмеченных в кластере полиграфа (табл. 2–4). Сходство территорий, входящих в состав кластеров полиграфа и темнохвойного, в том числе, по косвенно характеризующим доступность лесов для обследования признакам (общая и лесопокрываемая площади, плотность дорог (рис. 4)) заставляют предположить, что различия сформированы за счёт каких-либо неучтённых факторов.

Само по себе наличие в темнохвойном кластере очагов ВО, связанных с пихтой, кедром и осиной, объясняется особенностями формирования лесов. В Сибири осина находит наилучшие климатические условия между 58° и 52° с.ш. [18], где почти полностью расположена территория лесничеств темнохвойного кластера (рис. 4). Лесовозобновление темнохвойных лесов в условиях Красноярского края часто проходит через смену пород, когда доминирующая на начальных этапах сукцессии осина закономерно замещается пихтой, елью и кедром. Доминирование переходит к последнему ближе к фазе климакса [46]. Таким образом, формируется значительный объём кормовой базы для ВО, связанных с этими породами. Но остаётся открытым вопрос, почему в сходных по условиям кластере полиграфа из всех ВО широко представлены лишь очаги *P. proximus*: природные условия в этом и темнохвойном кластерах практически идентичны (рис. 2, 3).

Как и в кластере полиграфа, ущерб лесам кластера листовёртки наносится практически исключительно единственным видом – *Z. griseana* (табл. 3, 4). Этот вид, несмотря на способность повреждать многие виды хвойных [39, 55], полноценно развиваться может только при питании хвоей лиственницы, в насаждениях которой и развиваются её очаги [39]. Другой особенностью его массовых размножений является формирование очагов преимущественно в высоких широтах [39] или в высокогорье [39, 57, 65]. Это объясняется тем, что именно в таких условиях смертность зимующих особей минимальна, а выживание молодых гусениц максимально [54]. Действительно, лесничества кластера листовёртки отличаются обилием лиственничных лесов (рис. 3) и находятся либо севернее 60° с.ш. (Байкитское, Тунгусско-Чунское, Эвенкийское), либо в пределах Саянской горной системы (Ужурское, Усинское). Прочие отличия этого кластера от других (см. «Различия между кластерами по особенностям входящих в них лесничеств») не имеют прямого отношения к массовым размножениям листовёртки и являются следствием особенностей климата его территорий (сравнительное обилие кедра), ведения на них лесного хозяйства (высокий средний возраст лесов) либо связанных с этим управленческих решений (большие площади лесничеств).

Табл. 4.

Распределение обнаруженных при проведении ГЛПМ очагов ВО, для которых установлена связь с определённой группой лесничеств по результатам кластерного или факторного анализа

Вид ВО	Кластер	Доля площади обнаруженных очагов в кластерах, % от всей площади по Красноярскому краю
Настоящий трутовик	Светлохвойный	61,4
Лиственничная губка	Светлохвойный	96,8
Ложный трутовик	Светлохвойный	95,9
Сосновая губка	Светлохвойный, сибирского шелкопряда	57,7
Ложный осиновый трутовик	Темнохвойный, сибирского шелкопряда	72,0
Рак смоляной (рак-серянка)	Светлохвойный	37,5
Черный рак тополя и осины	Темнохвойный	100,0
Ржавчинный рак пихты	Темнохвойный, сибирского шелкопряда	95,5
Бронзовая ребристая златка	Темнохвойный	100,0
Шестизубчатый короед	Темнохвойный, сибирского шелкопряда	87,8
Продолговатый короед	Светлохвойный	70,2
Черный сосновый усач	Светлохвойный, сибирского шелкопряда	83,9
Малый черный еловый усач	Темнохвойный	0,0
Большой черный еловый усач	Темнохвойный, светлохвойный, сибирского шелкопряда	96,1
Лиственничная златка	Светлохвойный	81,4
Уссурийский полиграф	Полиграфа, темнохвойный	85,1
Осиновый скрипун	Светлохвойный	0,0
Малый сосновый лубоед	Светлохвойный	48,0
Большой сосновый лубоед	Светлохвойный, сибирского шелкопряда	88,4
Белая осиновая моль	Темнохвойный	100,0
Сибирский шелкопряд	Сибирского шелкопряда	100,0
Серая лиственничная листовертка	Листовертки	93,0

Светлохвойный кластер сходен с темнохвойным в том смысле, что его отличия от других территорий определяет наличие очагов комплекса ВО, связанных с определённой растительной формацией, а именно, сосновыми и лиственничными лесами (табл.2, 3). Именно обширная кормовая база в лесничествах светлохвойного кластера (рис. 3) определяет их доминирование. Как минимум, для *F. officinalis* определённое значение имеет и сравнительно высокий средний возраст древостоев [58]. На территории лесничеств светлохвойного кластера, преимущественно находящихся в Приангарье и на Среднесибирском плоскогорье, расположены большие массивы сосновых и лиственничных лесов [19, 41], в которых и формируются очаги массового размножения типичных для кластера ВО. Однако, сравнительно широко представлены в них и насаждения темнохвойных пород, берёзы и осины. В случае последних двух пород это во многом связано с их доминированием на ранних стадиях сукцессии в определённых лесорастительных условиях [41], что обеспечивает значительное присутствие очагов ВО, связанных с ними трофически.

Изначально мы предполагали, что основной причиной небольшой площади зарегистрированных при ГЛПМ очагов, типичная для неповреждаемого кластера, будет малая транспортная доступность лесов, которая затруднила бы проведение обследований. Косвенно её можно оценить через общую и лесопокрытую площади и плотность дорог. Однако в этом отношении лесничества неповреждаемого кластера в среднем не отличаются от других групп (рис. 4). Размещение большинства их в Нижнеангарском и подтаёжно-лесостепном районах позволяет ожидать сходства различных лесничеств неповреждаемого кластера с кластерами полиграфа, темнохвойным или светлохвойным (см. «Различия между кластерами по особенностям входящих в них лесничеств»). То же касается и породного состава лесов в неповреждаемом кластере (рис. 3). Таким образом, уверенная интерпретация причины, по которой существуют лесничества почти с полным отсутствием зарегистрированных очагов ВО, у нас отсутствует.

Полнота исходных данных и полученных результатов

Несмотря на протяжённый (17 лет) период, данные для которого имелись в нашем распоряжении, они в известной степени неполны, что сказывается на точности сделанных нами выводов. Некоторые из таких пробелов достаточно очевидны, чтобы быть достойными отдельного обсуждения.

Систематические исследования лесных филлофагов в Красноярском крае начались с 1950-х годов. [7, 24, 25, 43], а для некоторых видов известны данные и за более ранний период [27]. Для края в целом имеющиеся данные были обобщены по хвоелистогрызущим вредителям [29], а для южных его районов, примерно соответствующих горно-таёжному и горно-лесостепному районам – для фауны лесных насекомых в целом [53]. Продолжительна и история несколько позже [31] начатых исследований фитопатогенных грибов – возбудителей болезней леса.

Уже из анализа списка хвоелистогрызущих лесных насекомых, представленного в накопленных за этот период литературных данных, видна неполнота таксономических данных в результатах ГЛПМ. Только из отряда Чешуекрылые в них не упомянуты в разное время размножавшиеся в массе волнянки ивовая *Leucoma candida* (Staudinger) [29] и хвойная *Calliteara abietis* (Denis & Schiffermüller) [11], лунка серебристая *Phalera bucephala* (L.) [29], ржаво-бурая кисточница *Clostera anastomosis* (L.) [28], шелкопряды лунчатый *Cosmotriche lobulina* (Denis & Schiffermüller) [12], сосновый *Dendrolimus pini* (L.) [25], пушистый *Eriogaster lanestris* L. [29], шелкопряд-монашенка *Lymantria monacha* (L.) [16], пяденицы пихтовая *Ectropis crepuscularia* (Denis & Schiffermüller) [43], сосновая *Bupalus piniaria* (L.) [38], листовенничная *Semiothisa continuaria* Eversmann [13], ольховая *Parectropis similaria* (Hufnagel), березовая *Biston betularius* (L.), углокрылая еловая *Macaria signaria* (Hübner), пяденица Якобсона *Erannis jacobsoni* Djakonov [29], красноголовая пихтовая листовертка *Zeiraphera rufimitrana* (Herrich-Schäffer) [8], пихтовая листовертка-толстушка *Choristoneura murinana* (Hübner) [9]. Учитывая, что очаги большинства этих видов были приурочены к подтаёжно-лесостепным и горным территориям, в южной части Красноярского края можно было бы ожидать выделения новых кластеров.

Неполны или отсутствуют в результатах ГЛПМ данные и по другим таксономическим и трофическим группам насекомых: филлофагам из числа пилильщиков (Diprionidae, Tenthredinidae, Pamphiliidae: Hymenoptera), минёрам, вредителям генеративных органов.

Вызывает сомнение вредоносность дереворазрушающих грибов *F. fomentarius*, *F. betulina*, *F. pinicola*, которые, по мнению ксилмикологов, лишь в отдельных случаях встречаются на усыхающих деревьях или усохших крупных ветвях ослабленных деревьев [3, 6]. В то же время, в списке вредоносных заболеваний отсутствуют бактериозы, проявляющиеся в виде водянки, некрозно-раковых поражений стволов, нередко приводя к очаговому ослаблению и усыханию древостоев березы, темнохвойных видов [45, 47, 48].

Наиболее ярким примером потенциального влияния недостаточной протяжённости ряда обработанных нами данных на результаты выделения кластеров являются данные о массовых размножениях сибирского шелкопряда. Литературные данные позволяют проследить историю его массовых размножений с конца XIX века по настоящее время [27, 60]. В пределах Красноярского края полностью или частично находятся девять районов вспышек, различающихся частотой массовых размножений и масштабами наносимых повреждений [30]. Очаги же, возникшие с 2007 года, были найдены лишь в четырёх из них. Можно предположить поэтому, что массовые размножения сибирского шелкопряда, учтённые на более длительном временном промежутке, могли серьёзно изменить классификацию лесничеств Красноярского края по характеру биотических угроз их лесам.

Тем не менее, предложенная нами классификация лесничеств по комплексу действующих в них ВО имеет серьёзные преимущества перед ранее предложенными [29, 30, 53]. Во-первых, эти классификации являются излишне дробными. В классификации для сравнительно небольшой части территории Красноярского края в пределах Алтае-Саянской горной системы выделено свыше 30 комплексов вредных насекомых [53]. Значительно менее дробным является деление, предложенное в [29], но и там выделено 16 районов. Во-вторых, все эти классификации описывают территории только с точки зрения состава видов-лесообразователей. Это важнейший признак, но условия для формирования очагов ВО определяет не только он (рис. 2, 3). В-третьих, они выполнены только для насекомых [29, 53] или даже для одного их вида [30], а повреждения, наносимые фитопатогенами, они совершенно игнорируют. Наконец, представленная здесь классификация территорий по таксономическому составу ВО более пригодна с точки зрения лесного хозяйства, так как в основу деления территории положены лесничества, то есть, те же единицы, что используются в других его отраслях.

Адекватность оценки лесопатологической напряжённости и вклад в неё массовых размножений ВО

В лесах Красноярского края периодически фиксируются или фиксировались в прошлом очаги нескольких десятков ВО. Среди них есть и те, которые способны приводить к гибели леса на площадях в несколько сотен тысяч га, в частности, сибирский шелкопряд [27], уссурийский полиграф [33], большой черный еловый усач [21], пихтовая пяденица [43]. Другие, например сосновая пяденица и корневая губка, наносят лесам сравнительно небольшой урон, но эти повреждения затрагивают небольшие по площади лесные массивы в южных малолесных частях региона [38, 48]. Ущерб, наносимый большинством других ВО, не столь значим, но в совокупности площадь их очагов также весьма значительна, занимая примерно четверть от общей (~480 тыс. га с 2008 года). Это превышает медианное значение лесопокрытой площади лесничеств Красноярского края (445 тыс. га).

С учетом значительной нагрузки на леса региона, которая по результатам ГЛПМ фиксируется со стороны ВО, оценка её как средней для большинства лесничеств (см. Лесопатологическая напряжённость в лесах Красноярского края) выглядит нелогичной. С точки зрения значений НЛпУ, установленные Приказом Рослесхоза

№1067, границы также не выглядят оптимальными. Более логичным представляется сместить их таким образом, чтобы они проходили через локальные минимумы (рис. 5).

Результаты анализа соответствий позволяют утверждать, что в период, для которого были проанализированы данные (2007–2023 годы), наибольшую угрозу для состояния лесов представляют полиграф уссурийский и сибирский шелкопряд. Наносимые первым из этих двух видов повреждения тесно связаны с кластерами 1 и 2, выделенными по НЛпУ (рис. 6). Ущерб, нанесённый сибирским шелкопрядом, в наибольшей степени проявился в лесничествах кластера 4 (рис. 6). Угроза же со стороны комплекса видов, связанных со светлохвойными древостоями (связан с кластером 3 по НЛпУ) и серой лиственничной листовёрткой (связан с кластером 5), сравнительно невелика. В структуру показателя лесопатологической напряженности вредоносность этих видов вносит сравнительно небольшой вклад (рис. 6), несмотря на значительные масштабы ущерба со стороны *Z. griseana* (рис. 2).

Заключение

Анализ характера наносимого вредными организмами ущерба, выявленного в лесах Красноярского края в ходе государственного лесопатологического мониторинга, показал неравномерную представленность разных экологических групп вредителей и болезней леса. Среди первых по числу видов преобладают стволовые вредители, значительно меньше хвоелистогрызущих, и лишь один вид минирующих насекомых. Возбудители болезней вызывают преимущественно стволовые гнили, возбудители некрозно-раковых заболеваний представлены намного слабее. Зависимости повреждаемых площадей и частоты появления очагов от характера наносимого ущерба установлено не было.

Анализ пространственного размещения очагов массового размножения разных вредных организмов показал, что оно подчиняется определённым закономерностям. В первую очередь, состав их комплексов на определённой территории связан с породным составом лесов на ней. Это хорошо объясняется тем, что большинство вредителей и возбудителей болезней более или менее тесно связаны трофически с определённой древесной породой. Активность некоторых таксономических групп вредных организмов (по крайней мере, возбудителя стволовой гнили *Fomitopsis officinalis*) зависит от среднего возраста древостоев повреждаемой породы. Для некоторых видов насекомых (*Polygraphus proximus*, *Zeiraphera griseana*) на степень наносимого ущерба влияет климат местности. Изначальное предположение о том, что на распределение в пространстве выявленных очагов могла повлиять транспортная доступность территорий (через интенсивность хозяйственной деятельности или мониторинговых работ) подтверждения не нашла.

Неравномерность лесорастительных и климатических условий в разных частях Красноярского края привели к преобладанию в них разных комплексов вредных организмов. На территории региона выделяется по меньшей мере шесть кластеров, различающихся по таксономическому составу грибов и насекомых, наносящих ущерб лесам. В первом из этих кластеров ведущая роль принадлежит полиграфу уссурийскому. Значительный ущерб он наносит и во втором кластере, но сравнительно велик в нём ущерб от других организмов, повреждающих темнохвойные древостой. Леса третьего кластера массово повреждались только серой лиственничной листовёрткой, шестого – другим хвоелистогрызущим вредителем, сибирским шелкопрядом. В пятом кластере нельзя выделить какой-либо один таксон по площади повреждённых им лесов; в нём близкий масштаб по этой характеристике имеет группа видов, связанных со светлохвойными породами (чёрный сосновый усач, сосновая и лиственничная губки и некоторые другие). В лесах четвёртого кластера биогенные повреждения при проведении лесопатологического мониторинга почти не выявлялись.

Оценка уровня напряженности лесопатологической угрозы зависит преимущественно от интенсивности ведения лесного хозяйства. Тем не менее, таксономический состав вредных организмов вносит в него существенный вклад. Исторические данные позволяют предполагать, что современные оценки уровня лесопатологической угрозы могут быть не вполне адекватными. Так, ряд видов вредных насекомых, ущерб от которых в лесах Красноярского края был известен ранее, за исследованный период себя не проявляли или проявляли далеко не везде, где их очаги были сформированы ранее. Но даже накопленные с 2007 года данные лесопатологического мониторинга указывают, что необходима переоценка современной классификации лесничеств Красноярского края по степени угрозы со стороны вредителей и болезней леса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев ВА, Астапенко ВВ, Басова ЮГ, Бондарев АИ, Лузанов ВГ, Отнюкова ТН, Яновский ВМ. Состояние пихтовых лесов Кузнецкого Алатау. Лесное хозяйство. 1999;(4):51-3.
2. Алексеев ВА, Связева ОА. Древесные растения лесов России. Красноярск: ИЛ СО РАН; 2009.
3. Арефьев СП. Системный анализ биоты дереворазрушающих грибов. Новосибирск: Наука; 2010.
4. Астапенко СА, Гуров АВ. Биоэкологические особенности пилильщика *Pristiphora subarctica* (Hymenoptera, Tenthredinidae) в искусственных еловых насаждениях Красноярского края. Зоол. ж. 2016;95(2):189-95. DOI: 10.7868/S0044513416020057.
5. Астапенко СА, Ягунов МН, Голубев ДВ, Сашко ЕВ. Оценка воздействия и распространения насекомых вредителей в лесах Красноярского края на примере полиграфа уссурийского. В кн.: Мониторинг,

- моделирование и прогнозирование опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций; Железногорск; 2014. С. 46-51.
6. Бондарцева МА. В кн.: Эколого-биологические закономерности функционирования ксилотрофных базидиомицетов в лесных экосистемах. Грибные сообщества лесных экосистем. Петрозаводск: КарНЦ РАН; 2000. С. 9-25.
 7. Галкин ГИ. Некоторые вопросы формирования резерваций и первичных очагов сибирского шелкопряда в лесах Красноярского края. В кн.: Сибирский шелкопряд. Новосибирск: Изд-во СО АН СССР; 1960. С. 21-33.
 8. Галкин ГИ. Красноголовая пихтовая листовёртка - массовый вредитель пихты сибирской. Лесное хозяйство. 1976;(10):70-3.
 9. Галкин ГИ. Пихтовая листовёртка-толстушка – массовый вредитель пихтово-еловых лесов в Красноярском крае. Лесное хозяйство. 1980;(3):65-7.
 10. Галкин ГИ. Лиственничный жёлтый пилильщик – вредитель подроста лиственницы в Красноярском крае. Лесное хозяйство. 1982;(7):52-4.
 11. Галкин ГИ. Хвойная волнянка в пихтовых лесах Красноярского края. Лесн. хоз-во. 1990;(12):41-3.
 12. Галкин ГИ. Лунчатый шелкопряд в пихтовых лесах Красноярского края. Лесн. хоз-во. 1991;(11):45-6.
 13. Галкин ГИ. Лиственничная пяденица в лесах Красноярского края. Лесн. хоз-во. 1992;(1):46-8.
 14. Галкин ГИ. Красноголовый пилильщик-ткач в сосновых молодняках Красноярского края. Сиб. экол. ж. 1997;(6):609-14.
 15. Герасимов И.П., ред. Средняя Сибирь. М.: Наука; 1964.
 16. Гниненко ЮИ. Шелкопряд-монашенка – вредитель лесов России. Пушкино: ВНИИЛМ; 2016.
 17. Гродницкий ДЛ, Разнобарский ВГ, Солдатов ВВ, Ремарчук НП. Деграция древостоев в таёжных шелкопрядниках. Сиб. экол. ж. 2002; Прил. 1:3-12.
 18. Жуков АБ, ред. Леса СССР. Леса Урала, Сибири и Дальнего Востока. М.: Наука; 1969.
 19. Жуков АМ. Грибные болезни Верхнего Приобья. Новосибирск: Наука; 1978.
 20. Исаев АС, Рожков АС, Киселев ВВ. Черный пихтовый усач *Monochamus urussovi* (Fisch.). Новосибирск: Наука; 1988.
 21. Казачинская ТП, Кондаков ЮП. Главнейшие вредные насекомые лиственничных лесов Красноярского края. В кн.: Лиственница. Труды Сибирского технологического института. Красноярск; 1964.
 22. Керчев ИА. Экология полиграфа уссурийского *Polygraphus proximus* Blandford (Coleoptera; Curculionidae, Scolytinae) в Западно-Сибирском регионе инвазии. Росс. журн. биол. инвазий. 2014;7(2):80-95.
 23. Коломиец НГ. Изучение сибирского шелкопряда в Западной Сибири и перспективы использования его паразитов. В кн.: Сибирский шелкопряд. Новосибирск: Изд-во СО АН СССР; 1960.
 24. Кондаков ЮП. Сопряжённые очаги *Dendrolimus sibiricus* Tschtv., *Ocneria dispar* L. и *Semiothisa pumila* Kusn. в лиственничных лесах Красноярского края. В: Уч. зап. Красноярск. пед. ин-та. Красноярск; 1959. С. 183-93.
 25. Кондаков ЮП. Непарный шелкопряд (*Ocneria dispar* L.) в лесах Красноярского края. В кн.: Защита лесов Сибири от насекомых-вредителей. М.: Изд-во АН СССР; 1963. С. 30-77.
 26. Кондаков ЮП. Закономерности массовых размножений сибирского шелкопряда. В кн.: Экология популяций лесных животных Сибири. Новосибирск: Наука; 1974а. С. 206-65.
 27. Кондаков ЮП. Хохлатки (Lepidoptera, Notodontidae) – вредители лиственных пород Средней Сибири. В кн.: Вопросы энтомологии Сибири. Новосибирск: Наука; 1974б. С. 84-6.
 28. Кондаков ЮП, Баранчиков ЮН, Черкашин ВП, Корец МА. Районы массового размножения насекомых-филофагов в лесах Приенисейской Сибири: топографическая карта. Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН; 2003а.
 29. Кондаков ЮП, Баранчиков ЮН, Черкашин ВП, Корец МА. Районы массового размножения сибирского шелкопряда в лесах Приенисейской Сибири: топографическая карта. Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН; 2003б.
 30. Конев ГИ. Сосна, пораженная центральной гнилью, в Приангарье и ее раскряжевка. В: Тр. Вос.-Сиб. науч.-иссл. и проектн. ин-та лесн. и деревообрабатывающ. пром-ти. 1964;(2):77-84.
 31. Корытный ЛМ, Тулохонов АК, ред. Восточная Сибирь Новосибирск: Гео; 2016. 396 с.
 32. Кривец СА, Керчев ИА, Бисирова ЭМ, Волкова ЕС, Астапенко СА, Ефременко АА, Косилов АЮ, Кудрявцев ПП, Кузнецова ЮР, Пономарёв ВИ, Потапкин АБ, Тараскин ЕГ, Титова ВВ, Шилоносоев АО, Баранчиков ЮН. Обзор современного вторичного ареала уссурийского полиграфа (*Polygraphus proximus* Blandford) на территории Российской Федерации. Росс. журн. биол. инвазий. 2024;17(1):49-69. DOI:10.35885/1996-1499-17-1-49-69.
 33. Кривец СА, Керчев ИА, Бисирова ЭМ, Пашенова НВ, Демидко ДА, Петько ВМ, Баранчиков ЮН. Уссурийский полиграф в лесах Сибири (распространение, биология, экология, выявление и обследование повреждённых насаждений). Томск-Красноярск; 2015.
 34. Криволицкая ГО. Скрытостволовые вредители в темнохвойных лесах Западной Сибири, повреждённых сибирским шелкопрядом. М.-Л.: Наука; 1965.

35. Павлов ИН, Рухуллаева ОВ, Барабанова ОА, Агеев АА. Оценка роли корневых патогенов в ухудшении состояния лесного фонда Сибирского федерального округа. Хвойные бореальной зоны. 2008;25(3-4):262-8.
36. Павлов ИН, Барабанова ОА, Агеев АА, Шкуренко АС, Кулаков СС, Шпенглер ДВ, Губарев ПВ. Основная причина массового усыхания пихтово-кедровых лесов в горах Восточного Саяна – корневые патогены. Хвойные бореальной зоны. 2009;26(1);33-41.
37. Пальникова ЕН, Сви́дерская ИВ, Сухо́вольский ВГ. Сосновая пяденица в лесах Сибири. Новосибирск: Наука; 2002.
38. Плешанов АС. Насекомые-дефолианты лиственничных лесов Восточной Сибири. Новосибирск: Наука; 1982.
39. Плешиков ФИ, ред. Лесные экосистемы Енисейского меридиана. Новосибирск: Изд-во СО РАН; 2002.
40. Побединский АВ. Сосновые леса Средней Сибири и Забайкалья. М.: Наука; 1965.
41. Поликарпов НП, Чебакова НМ, Назимова ДИ. Климат и горные леса Южной Сибири. Новосибирск: Наука; 1986.
42. Прозоров СС. Пихтовая пяденица *Boarmia bistortata* Goeze как массовый вредитель пихты сибирской. Красноярск; 1955.
43. Рунион Р. Справочник по непараметрической статистике. Современный подход. М.: Финансы и статистика; 1982.
44. Рыбалко ТМ, Гукасян АБ. Бактериозы хвойных Сибири. Новосибирск: Наука; 1986.
45. Седых ВН. Лесообразовательный процесс. Новосибирск: Наука; 2009.
46. Татаринцев АИ. Эколого-ценотические особенности пораженности березняков бактериальной водянкой в южной части Средней Сибири (Красноярская группа районов). Сиб. экол. ж. 2014(2):273-81.
47. Татаринцев АИ. К проблеме усыхания темнохвойных насаждений в южной части Средней Сибири. В кн.: Защита лесов от вредителей и болезней: научные основы, методы и технологии. Иркутск: Изд-во ин-та географии им. В.Б. Сочавы СО РАН; 2015. С. 73-78.
48. Татаринцев АИ, Каленская ОП, Бубликов АГ. К вопросу пораженности корневой гнилью сосняков Минусинской котловины. Хвойные бореальной зоны. 2015;33(5-6):240-7.
49. Татаринцев АИ, Скрипальщикова ЛН. Эколого-фитопатологическое состояние березняков на территории Красноярской группы районов. Сибирский лесной журн. 2015;(2):8-19. DOI: 10.15372/SJFS20150201.
50. Татаринцев АИ, Скрипальщикова ЛН. Эколого-фитопатологическое состояние сосновых дендроценозов в лесах Красноярской группы районов. Хвойные бореальной зоны. 2018;36(4):322-33.
51. Черепанов АИ. Усачи Северной Азии (Lamiinae: Dorsadionini – Aromesytini). Новосибирск: Наука; 1983.
52. Яновский ВМ. Лесопатологическое районирование южной части Приенисейской Сибири. Красноярск: ИЛ СО РАН; 2003.
53. Baltensweiler W. Why the larch bud-moth cycle collapsed in the subalpine larch-cembra pine forests in the year 1990 for the first time since 1850. Oecologia. 1993;(94)1:62-6. DOI: 10.1007/BF00317302.
54. Baltensweiler W, Fischlin A. The Larch Budmoth in the Alps. In: Dynamics of Forest Insect Populations. Boston: Springer US; 1988. p. 331-51. DOI: 10.1007/978-1-4899-0789-9_17.
55. Benjamini Y, Hochberg Y. Controlling the False Discovery Rate: A Practical and Powerful Approach to Multiple Testing. Journal of the Royal Statistical Society Series B: Statistical Methodology. 1995;57(1):289-300.
56. Büntgen U, Frank D, Liebhold A, Johnson D, Carrer M, Urbinati C, Grabner M, Nicolussi K, Levanic T, Esper J. Three centuries of insect outbreaks across the European Alps. New Phytologist. 2009;182(4):929-41. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2009.02825.x.
57. Chlebićki A, Mukhin VA, Ushakova N. *Fomitopsis officinalis* on Siberian larch in the Urals. Mycologist. 2003;17(3):116-20. DOI: 10.1017/S0269915X03003057.
58. Kassambara A, Mundt F. factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses. 2020. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=factoextra> (access date: 03.06.2025).
59. Kharuk VI, Im ST, Yagunov MN. Migration of the Northern Boundary of the Siberian Silk Moth. Contemporary Problems of Ecology. 2018;11(1):26-34. DOI: 10.1134/S1995425518010055.
60. Maechler M, Rousseeuw P, Struyf A, Hubert M, Hornik K. cluster: Cluster Analysis Basics and Extensions. 2023. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=cluster> (access date: 03.06.2025).
61. Özden S, Ünal S, Karadeniz M. The effect of *Melampsorella caryophyllacearum* (fir broom rust) on the morphological and anatomical traits of *Abies nordmanniana* subsp. *equi-trojani*. Forest Pathology. 2021;51(6):1-11. DOI: 10.1111/efp.12678.
62. Solla A, Camarero JJ. Spatial patterns and environmental factors affecting the presence of *Melampsorella caryophyllacearum* infections in an *Abies alba* forest in NE Spain. Forest Pathology. 2006;36(3):165-75. DOI: 10.1111/j.1439-0329.2006.00443.x.
63. Venables WN, Ripley BD. Modern applied statistics with S. New York: Springer; 2002.
64. Weber UM. Dendroecological reconstruction and interpretation of larch budmoth (*Zeiraphera diniana*) outbreaks in two central alpine valleys of Switzerland from 1470 - 1990. Trees. 1997;11(5):277-90. DOI: 10.1007/PL00009674.