

Научная статья

УДК 630*453+595.768.24(571.1)

DOI: 10.37482/0536-1036-2025-4-77-90

Состояние кедровников на южной границе ареала Западной Сибири

Н.М. Дебков, канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр.; ResearcherID: [H-1146-2019](https://orcid.org/0000-0003-3791-0369),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3791-0369>

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, просп. Академический, д. 10/3, г. Томск, Россия, 634055; nikitadebkov@yandex.ru

Поступила в редакцию 30.01.24 / Одобрена после рецензирования 23.04.24 / Принята к печати 25.04.24

Аннотация. По всей планете в бореальных лесах происходят деструктивные процессы, которые обусловлены и катализируются изменением климата и последующим воздействием вредителей леса. В Сибири наиболее ярко это явление выражено в кедровых лесах на южной границе таежной зоны. С учетом социальной значимости припоселковых кедровников целью исследования была оценка состояния Лучаново-Ипатовского кедровника Томской области. В 2016–2017 гг. на его территории насчитывалось 2 очага сибирского шелкопряда и в последующем активно размножались стволовые вредители. На землях массива проведено полное наземное обследование и дана визуальная оценка санитарного состояния деревьев сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour). Заложена 21 пробная площадь, отобрано 45 образцов кернов древесины пропорционально от живых, усыхающих и погибших деревьев. Также выполнено дешифрирование космоснимков Лучаново-Ипатовского кедровника за период с 2015 по 2023 гг. Установлено, что 75 % площади массива занято насаждениями кедра. Обеспеченность подростом предварительных генераций неудовлетворительная. Статистический анализ показал, что стволовые вредители наносили урон деревьям разных поколений и диаметров ($p = 0,09 > 0,05$ и $p = 0,30 > 0,05$ соответственно). Ход роста с убраным возрастным трендом у групп деревьев разного состояния позволил выявить отсутствие достоверной разницы в радиальном приросте до массового размножения сибирского шелкопряда ($p = 0,06 > 0,05$), но она появилась после вспышки численности ($p = 0,04 < 0,05$). Именно деревья, ослабленные шелкопрядом, и были атакованы стволовыми вредителями. По нашим данным, общая площадь 2 изолированных очагов размножения сибирского шелкопряда составила 34 га (10 % от всей площади кедровых насаждений). В этих очагах и произошло массовое размножение стволовых вредителей. Оценка нарушенных участков показала, что их размер составляет около 235 га, или 70 % территории кедровых насаждений. Наземные исследования подтвердили результаты дешифрирования космоснимков, и в среднесрочной перспективе ожидается снижение лесообразующей роли кедра в данном массиве, вплоть до полной гибели чистых по составу и со значительным участием кедра насаждений на 1/2 сегодняшней площади этих древостоев.

Ключевые слова: кедр сибирский, *Pinus sibirica* Du Tour, санитарное состояние, радиальный прирост, сибирский шелкопряд, *Dendrolimus sibiricus* Tschetverikov, стволовые вредители, Западная Сибирь, деградация кедровников, изменение климата, волны тепла
Благодарности: Исследование было поддержано Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (госзадание ИМКЭС СО РАН, регистрационный номер проекта 1022042600048-9-1.5.1).

Для цитирования: Дебков Н.М. Состояние кедровников на южной границе ареала Западной Сибири // Изв. вузов. Лесн. журн. 2025. № 4. С. 77–90.

<https://doi.org/10.37482/0536-1036-2025-4-77-90>

Original article

The Condition of Siberian Stone Pine Forests on the Southern Border of Western Siberia Range

Nikita M. Debkov, Candidate of Agriculture, Senior Research Scientist;

ResearcherID: [H-1146-2019](https://orcid.org/0000-0003-3791-0369), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3791-0369>

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, prosp. Akademicheskyy, 10/3, Tomsk, 634055, Russian Federation; nikitadebkov@yandex.ru

Received on January 30, 2024 / Approved after reviewing on April 23, 2024 / Accepted on April 25, 2024

Abstract. Destructive processes are taking place in boreal forests all over the planet, driven and catalyzed by climate change and the subsequent impact of forest pests. In Siberia, this pattern is most pronounced in Siberian stone pine forests on the southern border of the taiga zone. Taking into account the social significance of the village Siberian stone pine forests, the aim of the study has been to assess the condition of the forest cover of the Luchanovo-Ipatovsky Siberian stone pine forest in the Tomsk Region. In 2016–2017, there were 2 foci of the Siberian moth on its territory, and subsequently, stem pests have actively multiplied. A complete ground survey has been carried out on the lands of the forest area and a visual assessment of the sanitary condition of Siberian Stone pine (*Pinus sibirica* Du Tour) trees has been given. 21 sample plots have been laid, 45 samples of wood cores have been taken proportionally from living, shrinking and dead trees. Also, the interpretation of satellite images of the Luchanovo-Ipatovsky Siberian stone pine forest for the period from 2015 to 2023 has been carried out. It has been established that 75 % of the forest area under study is occupied by Siberian stone pine stands. The provision of undergrowth for preliminary generations is unsatisfactory. Statistical analysis has shown that stem pests have damaged trees of different generations and different diameters ($p = 0.09 > 0.05$ and $p = 0.30 > 0.05$, respectively). The course of growth with the age trend removed in groups of trees of different conditions has revealed the absence of a reliable difference in radial increment before the mass reproduction of the Siberian moth ($p = 0.06 > 0.05$), but it has appeared after the population outbreak ($p = 0.04 < 0.05$). It was the trees weakened by the Siberian moths that have been attacked by stem pests. According to our data, the total area of 2 isolated foci of the Siberian moth reproduction has been 34 ha (10 % of the total area of Siberian stone pine stands). It was in these foci that the mass reproduction of stem pests has occurred. An assessment of the disturbed areas has shown that their size is approximately 235 ha, or 70 % of the territory of Siberian stone stands. Ground-based studies have confirmed the results of space imagery interpretation, and in the medium term, a decrease in the forest-forming role of Siberian stone pine in this forest area is expected, up to the complete destruction of pure-composition stands and the ones with significant participation of Siberian stone pine in 1/2 of the current area of these stands.

Keywords: Siberian stone pine, *Pinus sibirica* Du Tour, sanitary condition, radial increment, Siberian moth, *Dendrolimus sibiricus* Tschetverikov, stem pests, Western Siberia, degradation of Siberian Stone pine forests, climate change, heat waves

Acknowledgements: The study was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (state assignment for the Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, project registration no.1022042600048-9-1.5.1).

For citation: Debkov N.M. The Condition of Siberian Stone Pine Forests on the Southern Border of Western Siberia Range. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2025, no. 4, pp. 77–90. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2025-4-77-90>

Введение

Усыхание древостоев стало перманентным явлением для бореальных лесов планеты [10, 16, 20]. В ряду основных причин данного глобального процесса учеными отмечаются эпифитотии грибных, бактериальных и вирусных заболеваний [17], хвое- и листогрызущих и стволовых вредителей леса [15]. С нашей точки зрения, ввиду широкомасштабности деструктивных процессов в лесном покрове в качестве триггера деградации хвойных лесов следует назвать изменение климата, в т. ч. возрастание его засушливости [14]. При этом, как правило, ослабленные в результате трансформации погодно-климатической системы древесные сообщества, и в первую очередь хвойные леса, становятся более подвержены различного рода заболеваниям, поражаемости насекомыми, воздействию факторов абиотической природы (например, лесным пожарам) [11, 13].

Одной из наиболее важных лесообразующих пород Сибири является сосна кедровая сибирская, или кедр сибирский (*Pinus sibirica* Du Tour), которая занимает 40 млн га лесопокрываемой площади этого региона [5], что территориально сопоставимо с такой европейской страной, как Швеция. В связи с этим и с учетом не только экологического, но и социального значения кедровых лесов целью исследования была оценка состояния припоселкового Лучаново-Ипатовского кедровника Томской области.

Объекты и методы исследования

В качестве объекта исследования выбран один из массивов припоселковых кедровников – Лучаново-Ипатовский кедровник. Данный массив расположен в непосредственной близости от областного центра (25 км), в окрестностях д. Ипатово и с. Лучаново (рис. 1). Лучаново-Ипатовский кедровник известен тем, что на его территории расположена резервация сибирского шелкопряда *Dendrolimus sibiricus* Tschetverikov и периодически происходят его массовые размножения (рис. 1, обозначение 1). Последняя зафиксированная вспышка массового размножения сибирского шелкопряда была в 2016–2017 гг., и очаг площадью около 12 га подавили с помощью бактериальных препаратов. В данной местности также распространены шестизубчатый короед *Ips sexdentatus* (Börn.) и другие вторичные стволовые вредители. Для предотвращения их деятельности здесь периодически проводятся санитарные рубки (рис. 1, обозначение 2).

Значимость исследуемому массиву кедровых лесов придает и его статус – лесной генетический резерват, т. е. он входит в Единый генетико-селекционный комплекс (ЕГСК) и представляет ценность как уникальная составляющая генофонда кедра на южном пределе его распространения.

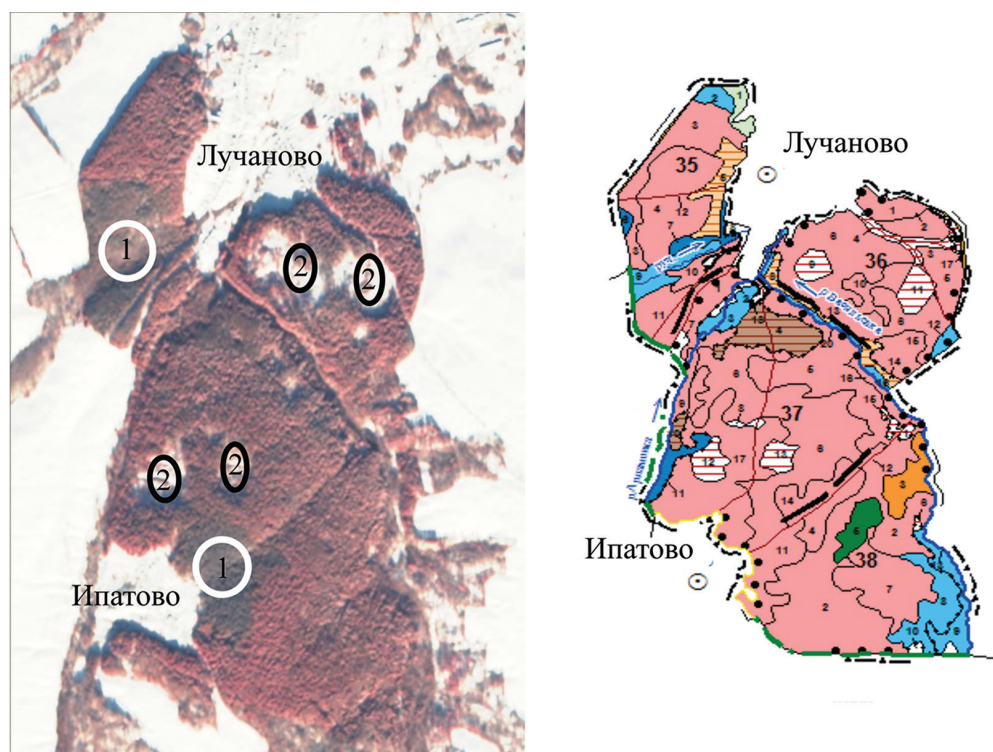


Рис. 1. Лучаново-Ипатовский кедровник (слева – космоснимок от 16.11.2019 г., справа – план лесонасаждений от 2013 г.)

Fig. 1. The Luchanovo-Ipatovsky Siberian stone pine forest (left – satellite image from 16.11.2019, right – stand map from 2013)

В ходе научных работ глазомерно осуществляли оценку деревьев кедровника с использованием утвержденной шкалы категорий жизненного состояния (приказ Министерства природных ресурсов от 9 нояб. 2020 г. № 910 «Об утверждении Порядка проведения лесопатологических обследований и формы акта лесопатологических обследований»). По санитарному состоянию деревья разделили на 3 группы: жизнеспособные (I–III категории), усыхающие (IV категория), погибшие (V категория). В каждой группе отобрали по 15 деревьев, у которых взяли приростным буром Пресслера керны на высоте 1,3 м для оценки изменений в радиальном приросте кедровника сибирского. Данный показатель является индикатором состояния деревьев и позволяет ретроспективно охарактеризовать жизнеспособность как погибших, так и живых деревьев. Измерение ширины древесных колец проводилось с помощью комплекса LINTAB-5 с пакетом компьютерных программ TSAP [19] с точностью 0,01 мм. В дальнейшем индивидуальные древесно-кольцевые ряды подвергались детрендингу. Для удаления возрастного тренда деревьев осуществляли стандартизацию индивидуальных серий прироста с помощью сплайн-функции (окно сплайна – 67 % от длины ряда, 50%-й уровень подавления дисперсии). Эта процедура выполнялась через программу CRONOL.

Также анализировались таксационные и картографические материалы лесоустройства 2013 г. по всему Лучаново-Ипатовскому кедровнику. Был построен профиль высот по маршруту с. Лучаново – Лучаново-Ипатовский кедровник – д. Ипатово с помощью ресурса <https://www.dzz.by/tools/elevation/>.

Космоснимки Sentinel получены с помощью ресурса <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>. Для изучаемой территории были выбраны практически безоблачные (облачность менее 1 %) снимки Sentinel-2A L1C за период ноябрь–декабрь 2015, 2017, 2020 и 2023 гг. Взято именно это время, поскольку уже опала листва и сформировался устойчивый снежный покров, но на кронах снег отсутствовал. Космические фотографии проанализированы в разных спектрах (комбинации каналов (4-3-2, 8-4-3, 12-11-4), индексы NDVI, SWIR, NDWI, Moisture index, NDSI). С помощью функции «Classification of Sentinel2 data as result of ESA's Scene classification algorithm» [18] выполнено дешифрирование космоснимков с целью оценки деградации лесного покрова. Уточнение дат дефолиации крон кедра сибирского в очагах массового размножения сибирского шелкопряда производилось по информации из системы глобального мониторинга лесного покрова, разработанной в Мэрилендском университете [12].

Для верификации данных дешифрирования космоснимков было проведено полное наземное обследование Лучаново-Ипатовского кедровника. Заложена 21 реласкопическая площадка (РПП) полнотомером Биттерлиха. Оценка древостоя давалась по 2 категориям: внешне здоровые деревья с зеленой кроной и отмирающие/погибшие деревья с дехромацией кроны. Для каждой РПП устанавливалась высота над уровнем моря и породный состав древостоя.

Оценку санитарного состояния древостоев давали с использованием шкалы, предложенной В.А. Алексеевым [1]. При сумме площадей сечения здоровых деревьев в пределах 80–100 % жизненное состояние древостоя оценивалось как здоровое, при 50–79 % – как ослабленное, при 20–49 % – как сильно ослабленное, при 19 % и ниже – как деградированное.

Камеральная обработка данных произведена в программе Statistica 10 с применением стандартных описательных статистик, непараметрических критериев оценки достоверности разности для 2 (тест Манна–Уитни) и нескольких (тест Краскела–Уоллиса) независимых переменных. Также выполнен множественный регрессионный анализ для установления связи между несколькими переменными.

Результаты исследования и их обсуждение

Характерной особенностью припоселковых кедровников Сибири в целом и Томской области в частности является их расположение среди агрокультурного ландшафта, т. е. они зачастую являются сохранившимися массивами некогда распространенной темнохвойной тайги [5]. Отсюда вытекает другая ключевая особенность припоселковых кедровников – они выступают в качестве перманентных очагов стволовых вредителей, в основном шестизубчатого короеда [2]. Данный вид в условиях таежной зоны не несет ощутимой угрозы кедровым лесам, этот вид вредителя вторичен. Он может оказывать деструктивное воздействие только после особенно мощной вспышки сибирского шелкопряда [9]. Причина наличия хронических очагов стволовых вредителей в припоселковых насаждениях состоит в зачастую неудовлетворительном санитарном состоянии кедровников [7]. В свою очередь, такое состояние древостоев обусловлено расположением кедровников не в той лесорастительной зоне (южная тайга сменилась подтаежной подзоной вследствие антропогенной деятельности), в которой они произрастали ранее (смещение зоны тайги привело к изменению некото-

рых климатических показателей), практически полным доминированием кедра в составе сообществ, относительно высоким возрастом деревьев, массовыми механическими повреждениями стволов кедра вследствие околота и иными повреждениями, вызванными орехосбором [5]. Кроме того, по нашим наблюдениям, многие кедровники произрастают в тех экотопах, где естественным образом они бы никогда не сформировались – на месте сосновых боров на супесчаных почвах.

Отличительной особенностью Лучаново-Ипатьевского припоселкового кедровника является его высокое расположение в рельефе (рис. 2), что в условиях засух, отмечаемых в последнее десятилетие практически ежегодно [8], негативно влияет на состояние деревьев. Также его положение в рельефе объясняет наличие на такой небольшой территории первичного очага сибирского шелкопряда. Как показало изучение вспышки шелкопряда 1953–1957 гг. [9], резервации этого вредителя приурочены к повышенным элементам местности. Высота над уровнем моря с. Лучаново составляет около 105–115 м, а припоселкового кедровника – 140–180 м.

Рис. 2. Профиль высот, построенный по маршруту с. Лучаново – Лучаново-Ипатьевский кедровник – д. Ипатьево

Fig. 2. The elevation profile constructed along the route: Luchanovo Village – the Luchanovo-Ipatovskiy Siberian stone pine forest – Ipatovo Village



Общая площадь массива составляет 445 га, большая часть территории (75 %) приходится на кедровые насаждения (рис. 3). В основном встречаются древостои 110 и 140 лет, преобладающий тип леса – разнотравный. Насаждения среднеполнотные (0,5–0,6) с запасами 300–400 м³/га, т. е. достаточно производительные (II–III класс бонитета).

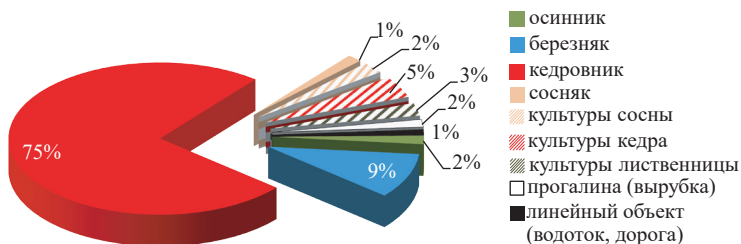


Рис. 3. Распределение территории Лучаново-Ипатьевского кедровника по категориям земель и преобладающей породе

Fig. 3. The distribution of the Luchanovo-Ipatovskiy Siberian stone pine forest territory by land categories and predominant species

Важно отметить, что 54,5 % площади занято чистыми насаждениями, 19,1 % – древостоями с явным преобладанием кедра (6–8 ед.) и 26,4 % –

смешанными насаждениями, где доля кедрa варьирует в пределах 3–5 ед. В 70 % насаждений густота жизнеспособного подростa кедрa не превышает 0,5 тыс. шт./га (варьирование – 0,1–2 тыс. шт./га). Симптоматично, что именно в монодоминантных кедровниках численность вида не превышает 0,5 тыс. га. В смешанных же насаждениях в 1/2 случаев встречается 1–2 тыс. шт./га подростa. Средний возраст деревьев этой возрастной категории колеблется от 10 до 20 лет. Значимую площадь занимают березняки (9 %) и лесные культуры сосны, лиственницы и кедрa (10 %). Остальная площадь (6 %) занята осинниками, сосняками, прогалинами (как правило, на местах санитарных рубок прошлых лет) и линейными объектами (водотоками и дорогами). Стоит отметить, что лесные культуры лиственницы и сосны создавались в 1951 и 1961 гг. Они имеют хорошее состояние (большинство деревьев относятся к I–III категориям состояния, количество отпада лежит в пределах нормы, динамика пополнения этой категории не имеет патологического характера), о чем говорит и состав (10С и 7–8Л соответственно). Кедровые посадки выполнялись в последние 10–15 лет, и без систематических уходов они, скорее всего, погибнут.

Насаждение, в котором получены керны, как и многие другие древостои, состоит из 2 возрастных поколений. Учитывая, что отбор кернов производился на высоте 1,3 м, к значениям, приведенным в таблице, следует добавить около 20 лет [6]. Таким образом, старшее поколение образовано деревьями возрастом 150–160 лет, а младшее – 115–125 лет.

Характеристика деревьев кедрa сибирского в зависимости от санитарного состояния

The characteristics of Siberian stone pine trees depending on their sanitary condition

Показатель		Группа деревьев по санитарному состоянию, поколение					
таксационный	статистический	жизнеспособные		усыхающие		погибшие	
		старшее	младшее	старшее	младшее	старшее	младшее
Возраст	M±m, лет	135±2	105±5	136±3	93±6	133±5	99±3
	lim, лет	122–145	92–115	128–144	69–111	121–151	91–115
	σ, лет	7,3	10,8	7,3	13,8	11,3	7,9
	CV, %	5,4	10,2	5,4	14,8	8,4	7,9
Диаметр	M±m, см	37,6±3,5	25,1±3,9	54,4±2,7	36,5±2,8	47,6±4,2	39,9±3,0
	lim, см	15,7–57,8	21,2–29,0	47,7–63,3	25,3–48,8	33,9–61,1	28,5–58,2
	σ, см	12,5	5,5	5,9	8,4	10,2	9,6
	CV, %	33,3	22,0	10,9	23,1	21,5	24,1

Примечание: M±m – среднее с ошибкой; lim – размах показателя; σ – среднеквадратическое отклонение; CV – коэффициент вариации.

Статистический анализ подтвердил достоверную разницу между возрастными поколениями по всем категориям состояния: U-критерий Манна–Уитни, $p = 0,01 < 0,05$ для живых деревьев, $p = 0,03 < 0,05$ для усыхающих, $p = 0,01 < 0,05$ для погибших. При этом достоверной разницы в возрасте между этими группами деревьев не выявлено (ранговый дисперсионный анализ Краскела–Уоллиса, $p = 0,09 > 0,05$), т. е. стволовые вредители повреждали деревья разных поколений.

Для живых и погибших деревьев не обнаружена разница между диаметрами по возрастным поколениям: U-критерий Манна–Уитни, $p = 0,23 > 0,05$ и $p = 0,15 > 0,05$ соответственно. Однако такая связь установлена для усыхающих

деревьев (U-критерий Манна–Уитни, $p = 0,01 < 0,05$). При этом достоверной разницы в диаметре между этими группами деревьев не зафиксировано (ранговый дисперсионный анализ Краскела–Уоллиса, $p = 0,30 > 0,05$), т. е. стволовые вредители поселялись в деревьях разного диаметра.

Ход роста возрастных поколений по диаметру (рис. 4) показал, что младшее поколение появилось до пика «большого роста», но стало интенсивно развиваться вслед за прохождением этой фазы у старшего поколения; после пика роста у младшего поколения до массового размножения сибирского шелкопряда в 2016 г. сохранился устойчиво больший прирост по сравнению со старшим поколением; регрессивная динамика роста стабильна, т. е. насаждение снижало прирост, особенно старшее поколение, до 0,5 мм/год. Для здорового древостоя характерны циклические колебания прироста, в данном случае можно утверждать о планомерном ослаблении кедровника. Из рис. 4 следует, что в число основных причин здесь входит старение древостоя.



Рис. 4. Динамика радиального прироста кедра сибирского по возрастным поколениям

Fig. 4. The dynamics of radial increment of Siberian Stone pine trees by age generations

Различий в радиальном приросте до и после массового размножения сибирского шелкопряда у старшего поколения не выявлено (U-критерий Манна–Уитни, $p = 0,07 > 0,05$), но они установлены у младшего поколения (U-критерий Манна–Уитни, $p = 0,03 < 0,05$). При этом до вспышки шелкопряда радиальный прирост был достоверно выше у младшего поколения по сравнению со старшим (U-критерий Манна–Уитни, $p = 0,01 < 0,05$). После массового размножения сибирского шелкопряда разница исчезла (U-критерий Манна–Уитни, $p = 0,15 > 0,05$). То есть вспышка сибирского шелкопряда оказала не только прямое воздействие в виде объедания ассимиляционного аппарата у деревьев кедра сибирского, но и косвенное – воздействуя совокупно с резким изменением экологических условий, привела к падению прироста у младшего поколения. У старшего поколения прирост и без названной причины был очень низкий.

Анализ хода роста при исключенном возрастном тренде (детрендинг) у групп деревьев с разным состоянием показал (рис. 5), что достоверной разницы в радиальном приросте (ранговый дисперсионный анализ Краскела–Уоллиса, $p = 0,06 > 0,05$) до массового размножения шелкопряда нет, но она появилась после вспышки численности (ранговый дисперсионный анализ Краскела–Уоллиса, $p = 0,04 < 0,05$). То есть деревья, которые подверглись полному или частично объеданию крон сибирским шелкопрядом, снизили прирост и были в первую

очередь атакованы стволовыми вредителями. На графике рис. 5 видно снижение годовых приростов по сравнению с тем, что было перед гибелью деревьев.

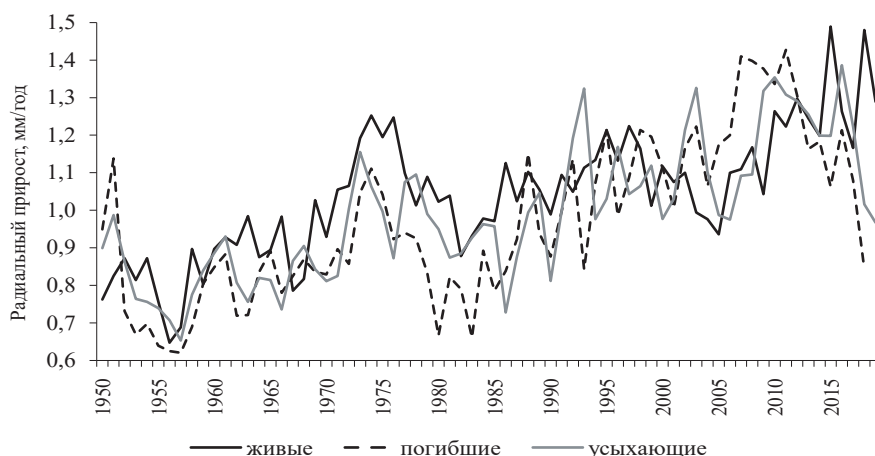


Рис. 5. Динамика радиального прироста (детрендинг) деревьев кедров сибирского в зависимости от санитарного состояния

Fig. 5. The dynamics of radial growth (detrending) of Siberian Stone pine trees depending on the sanitary condition

По данным системы глобального мониторинга лесного покрова Global Forest Watch установлено, что уже в 2017 г. в 2 очагах сибирского шелкопряда (площадью около 19 га в верхней части массива вблизи с. Лучаново и около 15 га вблизи д. Ипатово соответственно) произошло усыхание кедров. Как отмечено выше, по данным регионального Департамента лесного хозяйства и Томского филиала Центра защиты леса, размер очага сибирского шелкопряда равнялся 12 га. По нашим данным, общая территория 2 изолированных очагов составила 34 га (10 % от площади кедровников массива), т. е. больше почти в 3 раза. Причина таких расхождений объясняется тем, что лесопатологическое обследование специалистами Томского лесничества проводилось на начальном этапе повреждения, когда очаги находились в инициальной стадии, и прошло несколько недель, прежде чем провели обработку бактериальным препаратом лепидодидом. За это время гусеницы сибирского шелкопряда, как правило, проходят развитие до 6–7 возрастов и кратно увеличивают потребность в питании, что приводит к наиболее сильному объеданию крон деревьев и росту площади очагов.

Именно в этих очагах произошло массовое размножение стволовых вредителей, в последующем повлекшее масштабную деградацию ослабленного припоселкового кедровника (рис. 6). На рис. 6 приведены результаты дешифрирования с применением индекса NDVI, основанного на комбинации спектров (B8–B4)/(B8+B4) – где B4 – это красный, а B8 – ближний инфракрасный каналы – за период с 2015 по 2023 гг. За фоновое состояние лесного покрова Лучаново-Ипатовского кедровника принята информация с космоснимка 2015 г. (рис. 6, а), где нарушения отмечаются только в виде 4 участков санитарных рубок прошлых лет в местах распространения стволовых вредителей, на данных участках впоследствии созданы лесные культуры кедров. В 2016–2017 гг. произошла вспышка сибирского шелкопряда на территории массива, и это четко отображается на космоснимке (рис. 6, б), где визуализируется более крупный очаг к юго-западу от с. Лучаново и очаг меньшей площади к северо-востоку от д. Ипатово.

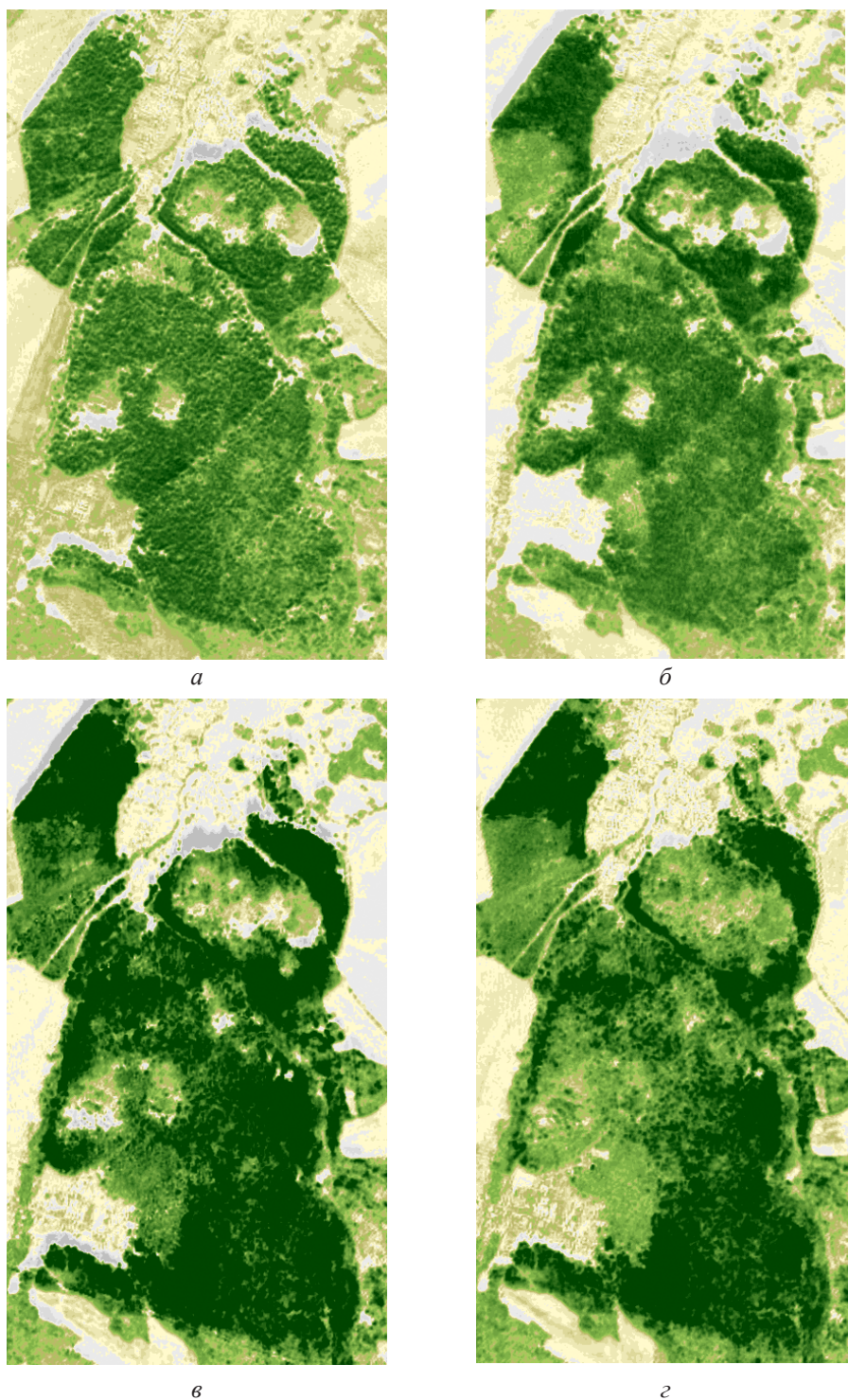


Рис. 6. Дешифрирование Лучаново-Ипатовского кедровника: *a* – космоснимок от 20.11.2015; *б* – космоснимок от 31.12.2017; *в* – космоснимок от 28.11.2020; *г* – космоснимок от 10.11.2023

Fig. 6. The interpretation of satellite images of the Luchanovo-Ipatovsky Siberian stone pine forest: *a* – from 20.11.2015; *б* – from 31.12.2017; *в* – from 28.11.2020; *г* – from 10.11.2023

В дальнейшем в течение нескольких лет отмечалось массовое размножение стволовых вредителей, пик которого пришелся на период до 2020 г., на космоснимке (рис. 6, в) хорошо видно сильную деградацию лесного покрова в центральной части Лучаново-Ипатовского кедровника. На сегодняшний день процессы деградации снизились (рис. 6, з), и площадь нарушенных участков в совокупности составляет (шелкопрядники+короедники) около 235 га, т. е. почти 1/2 массива, или 70 % его площади. В результате дешифрирования космоснимков выявлено, что сомкнутые кедровые насаждения сохранились отдельными участками, наиболее крупный из которых находится юго-восточней д. Ипатово (рис. 6, з). Однако повреждена большая часть кедровых насаждений, поэтому существует риск их значительного усыхания в течение 5–10 лет, по крайней мере, чистых древостоев и древостоев с явным преобладанием кедра.

Наземное обследование показало, что только 17 % кедровых насаждений не имеют видимых следов воздействия стволовых вредителей. Причем 40 % насаждений без видимых признаков присутствия вредителей характеризуются повреждениями до 20 % (в среднем 16 %), т. е. они относятся к несильно ослабленным древостоям. Около 47 % кедровников свойственны повреждения от 20 до 50 % (в среднем 40 %), т. е. они ослаблены в средней степени. И 13 % древостоев повреждены на от 51 до 80 % (в среднем 63 %) – это значительно ослабленные насаждения. Доля зараженных деревьев в среднем составляет 27 ± 5 % (лимиты 1–75 %), а показатель участия в составе сообществ других древесных видов равен 14 ± 4 % (лимиты 1–54 %).

Анализ корреляционных зависимостей показал, что состояние кедровников не связано с высотой над уровнем моря ($r = 0,19 \pm 0,45$, $p = 0,98 > 0,05$), но определяется наличием и количеством сопутствующих пород в составе сообществ ($r = 0,77 \pm 0,09$, $p = 0,01 < 0,05$). Таким образом, подтверждается факт большей устойчивости смешанных насаждений.

Перспективы состояния Лучаново-Ипатовского кедровника обусловлены погодно-климатическими явлениями, от которых в т. ч. зависит состояние популяций вредителей леса. Проблема заключается в том, что в период с 1971 по 1990 гг. средние суммы температур за период активной вегетации в южной части Томской области изменялись в пределах 1500–1800 °С, а в 2 последних десятилетия они повсеместно превысили 2000 °С, в отдельные годы (в 2012 и 2020 гг., когда и были самые масштабные лесные пожары) достигали более 3000 °С [8]. Рост температурного фона становится причиной и увеличения продолжительности вегетационного периода за последние 20 лет [4], что не может не приводить к повышению продуктивности лесных экосистем. Например, на рис. 5 виден восходящий тренд по приросту для живых деревьев, он «перебивает» естественное возрастное снижения прироста по диаметру.

Однако лимитирующим фактором являются экстремальные положительные температуры в течение вегетационного периода. Установлено, что от 30 до 60 % всех волн тепла за историю метеонаблюдений (около 150 лет) на территории Томской области зафиксировано после 2000 г. [8]. Число дней с максимальной температурой воздуха (более 25 °С) составляет в южной части области около 40 дней, с рекордами 60–70 дней за вегетацию в 2012 и 2016 гг. [8]. Развитие ситуации с трансформацией климата не вызывает оптимизма, поскольку по югу Западной Сибири прогнозируется увеличение летних температур на 2–3 °С при снижении количества осадков на 5–10 % к середине XXI в. [3].

Лесные экосистемы уже реагируют на происходящее изменение климата, в частности активизировались стволовые вредители. Повсеместно стало отмечаться такое явление, как «зеленый сухостой» – это деревья, заселенные жуками в начале лета с отложением яиц, из которых вылупились гусеницы, позднее превратившиеся в имаго и покинувшие кормовое растение, при наличии живой кроны. Данное явление происходит в случае длительных сильных засух, когда деревья не могут активизировать защитные механизмы и вырабатывать достаточный объем смолы. Дехромация кроны происходит только на следующий год в весенне-летний период, что и определяет такое название как «зеленый сухостой».

Заключение

Припоселковые кедровники являются особенностью Томской области и наиболее известны из рукотворных лесов Азиатской части России. История их формирования берет начало с освоения Сибири, когда благодаря питательным орешкам крестьяне массово сохраняли кедр в близлежащих лесах к селам и деревням. В итоге за 4 столетия только в Западной Сибири сформировались тысячи гектаров кедровников, которые в значительной степени определяют южную границу ареала кедра сибирского на равнине и важны как хранилище ценного генофонда, адаптированного к местным условиям.

С начала XXI в. отмечается изменение климата, в т. ч. его потепление, увеличение засушливости, снижение количества осадков и рост частотности экстремальных погодных явлений. Это сильно влияет на состояние лесных фитоценозов, как непосредственно, так и косвенно – через состояние популяций стволовых вредителей, которые активно пользуются ослаблением деревьев и древостоев. В случае с Лучаново-Ипатовским кедровником первичными факторами наращивания численности стволовых вредителей выступили сильная вспышка сибирского шелкопряда и систематические засухи, приведшие к ослаблению кедровых насаждений, занимающих повышенные места рельефа. Усиливает деградационные процессы простая форма насаждений с доминированием кедра сибирского в условиях агроландшафта на южной границе ареала в пределах Западной Сибири. В среднесрочной перспективе ожидается снижение лесообразующей роли кедра в данном массиве, вплоть до полной гибели чистых по составу и со значительным участием кедра насаждений на 1/2 площади массива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. № 4. С. 51–57.

Alekseev V.A. Diagnostics of the Vitality of Trees and Stands. *Lesovedenie* = Russian Journal of Forest Science, 1989, no. 4, pp. 51–57. (In Russ.).

2. Бех И.А., Кривец С.А., Бисирова Э.М. Кедр – жемчужина Сибири. Томск: Печатная мануфактура, 2009. 50 с.

Bekh I.A., Krivets S.A., Bisirova E.M. *Siberian Stone Pine – the Pearl of Siberia*. Tomsk, Pechatnaya Manufaktura Publ., 2009. 50 p. (In Russ.).

3. Глобальные изменения климата и Сибирский Федеральный округ. На пути к адаптации. СПб.: Научно-технологические, 2021. 12 с.

Global Climate Change and the Siberian Federal District. On the Way to Adaptation. St. Petersburg, Naukoemkie tekhnologii Publ., 2021. 12 p. (In Russ.).

4. Горбатенко В.П., Волкова М.А., Носырева О.В., Кузжевская И.В. Современные тенденции климатических характеристик, влияющих на развитие транспортной системы Томской области // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2021. Т. 7, № 4. С. 71–95.

Gorbatenko V.P., Volkova M.A., Nosyрева O.V., Kuzhevskaya I.V. Modern Trends in Climatic Characteristics Affecting the Development of the Transport System of the Tomsk Region. *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya* = Fundamental and Applied Climatology, 2021, vol. 7, no. 4, pp. 71–95. (In Russ.). <https://doi.org/10.21513/2410-8758-2021-4-71-95>

5. Данченко А.М., Бех И.А. Кедровые леса Западной Сибири. Томск, 2010. 424 с.
Danchenko A.M., Bekh I.A. *Cedar Forests of Western Siberia*. Tomsk, 2010. 424 p. (In Russ.).

6. Дебков Н.М. Основа роста и развития дендроценозов, сформировавшихся из сохраненного подроста // *Вестн. Томск. гос. ун-та. Биология*. 2012. № 4(20). С. 162–170.

Debkov N.M. Retrospective Analysis of Forest Stands Preliminary Generations Formation. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya* = Tomsk State University Journal of Biology, 2012, no. 4(20), pp. 162–170. (In Russ.).

7. Дебков Н.М., Данченко А.М. Припоселковые кедровники Томской области. Проблемы устойчивого лесопользования // *Сиб. лесн. журн.* 2014. № 3. С. 127–139.

Debkov N.M., Danchenko A.M. The Siberian Stone Pine Stands Near Settlements in Tomsk Region. Problems of Sustainable Forest Use. *Sibirskij lesnoj zhurnal* = Siberian Journal of Forest Science, 2014, no. 3, pp. 127–139. (In Russ.).

8. Кузжевская И.В., Горбатенко В.П., Носырева О.В., Волкова М.А., Нечепуренко О.Е., Чурсин В.В., Чередыко Н.Н. Агроклиматические характеристики земель сельскохозяйственного назначения на территории Сибирского федерального округа в условиях изменения климата // *Метеорология и гидрология*. 2023. № 10. С. 77–87.

Kuzhevskaya I.V., Gorbatenko V.P., Nosyрева O.V., Volkova M.A., Nechepurenko O.E., Chursin V.V., Chered'ko N.N. Agroclimatic Characteristics of Agricultural Land in the Siberian Federal District in Changing Climate. *Meteorologiya i gidrologiya* = Russian Meteorology and Hydrology, 2023, no. 10, pp. 77–87. <https://doi.org/10.3103/S1068373923100072>

9. Куликов М.И. Шелкопрядники таежной зоны Западной Сибири и особенности их лесовозобновительного процесса: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Свердловск, 1966. 26 с.

Kulikov M.I. *Forests Damaged by Siberian Moth of the Taiga Zone of Western Siberia and the Features of their Restoration Process*: Cand. Agr. Sci. Diss. Abs. Sverdlovsk, 1966. 26 p. (In Russ.).

10. Allen C.D., Macalady A.K., Chenchouni H., Bachelet D., McDowell N., Venetier M., Kitzberger T., Rigling A., Breshears D.D., Hogg E.H., Gonzalez P., Fensham R., Zhang Z., Castro J., Demidova N., Lim J.-H., Allard G., Running S.W., Semerci A., Cobb N. A Global Overview of Drought and Heat-Induced Tree Mortality Reveals Emerging Climate Change Risks for Forests. *Forest Ecology and Management*, 2010, vol. 259, iss. 4, pp. 660–684. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.001>

11. Born W., Rauschmayer F., Bräuer I. Economic Evaluation of Biological Invasions – a Survey. *Ecological Economics*, 2005, vol. 55, iss. 3, pp. 321–336. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.08.014>

12. Hansen M.C., Potapov P.V., Moore R., Hancher M., Turubanova S.A., Tyukavina A., Thau D., Stehman S.V., Goetz S.J., Loveland T.R., Kommareddy A., Egorov A., Chini L., Justice C.O., Townshend J.R.G. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science*, 2013, vol. 342, iss. 6160, pp. 850–853. <https://doi.org/10.1126/science.1244693>

13. Kenis M., Auger-Rozenberg M.-A., Roques A., Timms L., Péré C., Cock M.J.W., Settele J., Augustin S., Lopez-Vaamonde C. Ecological Effects of Invasive Alien Insects. *Eco-*

logical Impacts of Non-Native Invertebrates and Fungi on Terrestrial Ecosystems. Dordrecht, Springer, 2008, pp. 21–45. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9680-8_3

14. Kharuk V.I., Im S.T., Oskorbin P.A., Petrov I.A., Ranson K.J. Siberian Pine Decline and Mortality in Southern Siberian Mountains. *Forest Ecology and Management*, 2013, vol. 310, pp. 312–320. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.08.042>

15. Logan J.A., Régnière J., Powell J.A. Assessing the Impacts of Global Warming on Forest Pest Dynamics. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2003, vol. 1, iss. 3, pp. 130–137. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2003\)001\[0130:ATIOGW\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2003)001[0130:ATIOGW]2.0.CO;2)

16. Martínez-Vilalta J., Lloret F., Breshears D.D. Drought-Induced Forest Decline: Causes, Scope and Implications. *Biology Letters*, 2012, vol. 8, iss. 5, pp. 689–691. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2011.1059>

17. Raffa K.F., Aukema B.H., Bentz B.J., Carroll A.L., Hicke J.A., Turner M.G., Romme W.H. Cross-Scale Drivers of Natural Disturbances Prone to Anthropogenic Amplification: The Dynamics of Bark Beetle Eruptions. *Bioscience*, 2008, vol. 58, iss. 6, pp. 501–517. <https://doi.org/10.1641/B580607>

18. Raiyani K., Gonçalves T., Rato L., Salgueiro P., Marques da Silva J.R. Sentinel-2 Image Scene Classification: A Comparison between Sen2Cor and a Machine Learning Approach. *Remote Sensing*, 2021, vol. 13, no. 2, art. no. 300. <https://doi.org/10.3390/rs13020300>

19. Rinn F. *TSAP V3.5. Computer Program for Tree-Ring Analysis and Presentation*. Heidelberg, Frank Rinn Distribution, 1996. 264 p.

20. Worrall J.J., Marchetti S.B., Egeland L., Mask R.A., Eager T., Howell B. Effects and Etiology of Sudden Aspen Decline in Southwestern Colorado, USA. *Forest Ecology and Management*, 2010, vol. 260, iss. 5, pp. 638–648. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.05.020>

Конфликт интересов: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interest: The author declares that there is no conflict of interest