

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-4-180-196

УДК 630.44:582(1-925.12)



Научная статья

## К ИЗУЧЕНИЮ ЦЕНОТИЧЕСКОЙ РОЛИ ИНФЕКЦИОННЫХ БОЛЕЗНЕЙ В НАСАЖДЕНИЯХ *ABIES SIBIRICA* LEDEB. НА ЮГЕ СРЕДНЕЙ СИБИРИ

*Н.П. Мельниченко, А.И. Татаринцев*

**Обоснование.** Деградация темнохвойных лесов с преобладанием *Abies sibirica* Ledeb. находится в центре внимания многих специалистов. При большом объеме научной информации по данной проблеме недостаточное внимание уделяется исследованию роли патогенных организмов в темнохвойных древостоях.

**Цель.** Оценить ценотическую роль инфекционных болезней в пихтарниках на юге Средней Сибири с учетом дифференциации деревьев.

**Материалы и методы.** Материалами послужили данные обследования древостоев *A. sibirica* в темнохвойных лесах Бирюсинского участкового лесничества КГУ «Емельяновское лесничество». Методы исследования: детальное (инструментальное) лесопатологическое обследование, макроскопическая (патографическая) диагностика болезней деревьев, графоаналитический и статистический анализ рядов распределения деревьев по грациям диаметра, расчет показателей проявления болезней.

**Результаты.** Стволовая гниль и ржавчинный рак (возбудитель – *Melampsorella carpophyllacearum*) – типичные фоновые болезни, приводящие к накоплению гнилевого ветролома и хроническому ослаблению деревьев. Распространенность ржавчинного рака в древостоях пихты достигает очаговых значений (10% и более) и зависит от присутствия промежуточных хозяев для возбудителя, болезнь хаотично поражает деревья разного возраста и размера. Водянка поражает преимущественно деревья I-II классов Крафта, формирует диффузные очаги с пораженностью древостоев до 20%, пораженные деревья постепенно отмирают. Возбудитель корневой гнили (*Armillaria mellea* s. l.) наиболее агрессивен и поражает деревья разного ценотического статуса, в результате формируются куртины усыхания древостоев.

**Заключение.** Дендропатогенные организмы – важный эндогенный фактор состояния темнохвойных насаждений с преобладанием *A. sibirica* на юге Средней Сибири. Их ценотическая роль неравнозначна. Наиболее значимы возбудители некрозно-раковых болезней, и особенно корневой патоген – *A. tellea*, который приводит к ослаблению и усыханию большого числа деревьев разного статуса в структуре дендроценозов.

**Ключевые слова:** пихтарники; некрозно-раковые болезни; корневая гниль; патологический отпад; классы Крафта; ряды распределения деревьев

**Для цитирования.** Мельниченко Н.П., Татаринцев А.И. К изучению ценотической роли инфекционных болезней в насаждениях *Abies sibirica* Ledeb. на юге Средней Сибири // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Т. 15, №4. С. 180-196. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-4-180-196

Original article

## CENOTIC ROLE OF INFECTIOUS DISEASES IN ABIES SIBIRICA LEDEB. STANDS IN THE SOUTH CENTRAL SIBERIA

*N.P. Melnichenko, A.I. Tatarintsev*

**Background.** Degradation of *Abies sibirica* Ledeb.-dominated forests in the South Central Siberia is a reflection of the global trend of coniferous forest ecosystems decline. Nevertheless, the role of infectious diseases in coniferous forests degradation and dieback is often underestimated.

**Research aim.** To assess the coenotic role of infectious diseases in fir-dominated stands in the South Central Siberia, considering the differentiation in trees.

**Materials and methods.** The research was based on a survey of *A. sibirica*-dominated forest stands growing in Biryusinsky forest management unit of the Krasnoyarsk Krai government-owned publicly funded “Emelyanovskoye forestry”. Research methods included a detailed (instrumental) forest pathological examination, macroscopic diagnostics of tree diseases, graph analytics and statistical analysis of tree diameter distribution series, evaluation of disease manifestation indicators.

**Results.** Stem rot and fir broom rust are typical diseases increasing the risk of windsnap and trees weakening. The prevalence of fir broom rust was over 10%. Rust fungus intermediate hosts in the forest floor determine the degree of damage to a stand. Fir broom rust randomly affected trees of different age and diameters. The

*bacterial blight in fir forests mainly affected trees of I-II Kraft classes causing their gradual dying. The bacterial blight in the study area was of low infection degree (up to 20%). The most dangerous was the root rot caused by *Armillaria mellea* s.l. that affected trees of different cenotic roles causing their group dieback.*

**Conclusion.** *Dendropathogenic organisms are an important endogenous factor influencing the state of dark coniferous forests with a predominance of *A. sibirica* in the South Central Siberia. Their cenotic role is unequal. The most significant are pathogens causing necrosis and cancer diseases, and especially the root pathogen *A. mellea*, which leads to weakening and dying of a large number of trees of different status in the stand structure.*

**Keywords:** *fir-dominated stands; cancer diseases; root rot; pathogen-induced tree mortality; crown class; trees distribution series*

**For citation.** *Melnichenko N.P., Tatarintsev A.I. Cenotic Role of Infectious Diseases in *Abies sibirica* Ledeb. Stands in the South Central Siberia. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 4, pp. 180-196. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-4-180-196*

## Введение

Отмечаемое в последние десятилетия на юге Средней Сибири неудовлетворительное состояние насаждений с преобладанием *Abies sibirica* Ledeb. – отражение общих тенденций современного существования темнохвойных лесов во многих регионах Евразии и в целом – хвойных бореальной зоны [2, 8, 13, 15, 19, 21]. Значительное ухудшение санитарного состояния пихтарников с массовым усыханием древостоев, и, как следствие, накопление больших площадей насаждений с нарушенной и утраченной устойчивостью – системный процесс, обусловленный сопряженным влиянием на лесные биогеоценозы комплекса экзогенных и эндогенных экологических факторов [20]. Триггером этого процесса выступает современное изменение климата, характерными чертами которого являются неблагоприятные для лесных фитоценозов тренды гидротермических показателей [10, 15, 18], дополнительно на региональных уровнях – последствия антропогенных воздействий (строительство объектов гидроэнергетики, промышленное загрязнение и другие) [1, 11, 22].

Эндогенные факторы деградации пихтовых насаждений – дендробионтные организмы, которые часто воздействуют с синергическим эффектом обычно на фоне ослабления древостоев выше указанными экзогенными факторами. К основным биотическим факторам современного масштабного усыхания древостоев *A. sibirica* в пределах всего её

ареала относят деятельность ксилофага-инвайдера *Polygraphus proximus* Blandford [12, 14, 16, 17]. В ряде работ отмечается значительное влияние на состояние насаждений дендропатогенных организмов, особенно потенциально агрессивных видов – возбудителей некрозно-раковых болезней и корневых гнилей [18-20, 22, 24]. Однако, воздействие инфекционных болезней на древостои, их место в процессе усыхания темнохвойных (пихтовых) насаждений часто недооценивается.

В контексте рассматриваемой проблемы нами проводятся работы по изучению санитарного и лесопатологического состояния насаждений *A. sibirica* в темнохвойных лесах на юге Средней Сибири (в границах Красноярского края). В представленных ранее материалах [23] проанализировано участие биотических факторов, включая выявленные болезни, в ухудшении санитарного состояния пихтовых древостоев. Недостаточно изучены особенности поражения и патологического отпада деревьев различного ценотического статуса в пределах дендроценозов, роль патогенов в перестройке насаждений.

### **Цель исследования**

Цель данной работы – в продолжение ранее выполненных исследований оценить роль основных инфекционных болезней в дендроценозах с преобладанием *A. sibirica* с учетом дифференциации деревьев.

### **Материалы и методы исследования**

Объект исследований – темнохвойные насаждения с преобладанием в составе древостоя *A. sibirica* на территории Бирюсинского участкового лесничества КГУ «Емельяновское лесничество». Насаждения относятся к Алтае-Саянскому горно-таежному лесному району Южно-Сибирской горной лесорастительной зоны. Материалы получены путем проведения лесопатологического обследования древостоев по общепринятым методикам [3, 6], в том числе маршрутного рекогносцировочного обследования, детального обследования. В основу работы положены, главным образом, данные детального обследования пихтарников на двух пробных площадях (ПП). ПП заложены в типичных насаждениях неудовлетворительного санитарного состояния, их лесоводственно-таксационная характеристика приведена в таблице 1.

На пробных площадях проводили сплошной перечет деревьев (не менее 100 шт.) с разнесением по четырехсантиметровым ступеням толщины и категориям состояния: 1 – без признаков ослабления; 2 – ослабленные;

3 – сильно ослабленные; 4 – усыхающие; 5 – погибшие (утратившие жизнеспособность), в том числе свежий и старый сухостой, ветровал, бурелом. Категорию состояния деревьев определяли преимущественно по состоянию кроны. Отмечали пораженность деревьев болезнями, которые устанавливали по комплексу специфических симптомов (макроскопических признаков).

**Таблица 1.**

**Лесоводственно-таксационная характеристика насаждений  
на пробных площадях**

ПП (квартал/ выдел)	Состав, тип леса	Средние для основного элемента леса			бонитет	полнота	стволовой запас, м <sup>3</sup> /га
		возраст, лет	высота, м	диаметр, см			
1 (37/11)	10П+Е,Л,Ос, крупнотравный	110	21,6	24,3	III	0,6	250
2 (25/1)	7ПЗЕ+С, зеленомошно- разнотравный	130	26,3	27,7	II	0,6	290

Исходя из поставленной цели, анализировали роль инфекционных болезней в ослаблении древостоя и накоплении патологического отпада из числа деревьев разного ценотического статуса. Под ценотическим статусом понимается место (ценотическое значение) деревьев в слое эдификатора в соответствии с их морфологической дифференциацией, возникшей вследствие генетических особенностей деревьев и конкуренции за ресурсы среды. Таким образом, ценотический статус деревьев можно отождествить с классами Крафта, которые определяются в пределах древостоя (обычно одного поколения или близких по возрасту поколений) по метрическим показателям деревьев (высоте, габитусу кроны, диаметру ствола). Для установления особенностей поражения древостоев пихты болезнями на ценотическом уровне анализировали графики распределения пораженных деревьев по ступеням толщины стволов на высоте 1,3 м относительно общей структуры древостоя по диаметру. При необходимости оценивали достоверность различий сравниваемых эмпирических рядов распределения деревьев по градациям диаметра, используя критерий  $\lambda$  (Колмогорова-Смирнова).

Дополнительно по данным лесопатологического перечета на ПП определяли показатели проявления выявленных болезней: распространенность и вредоносность. Распространенность болезней в древостоях пихты рас-

считывали, как долю (в %) суммарного стволового запаса пораженных деревьев от стволового запаса всех деревьев в перечете. Вредоносность болезней оценивали по значению средневзвешенного индекса состояния ( $K_{cp}$ ), рассчитанному для пораженной конкретной болезнью части древо-стоя по следующей формуле:

$$K_{cp} = (P_1 \times K_1 + P_2 \times K_2 + P_3 \times K_3 + P_4 \times K_4 + P_5 \times K_5) / 100,$$

где  $P_i$  – доля стволового запаса пораженных деревьев каждой категории состояния, в % от суммарного стволового запаса всех пораженных болезнью деревьев;  $K_i$  – индекс категории состояния деревьев (1 – без признаков ослабления, 2 – ослабленные, 3 – сильно ослабленные, 4 – усыхающие, 5 – погибшие). При  $K_{cp} \leq 1,5$  пораженные болезнью деревья в среднем не имеют видимых признаков ослабления;  $1,5 < K_{cp} \leq 2,5$  – в среднем ослаблены;  $2,5 < K_{cp} \leq 3,5$  – сильно ослаблены;  $3,5 < K_{cp} \leq 4,5$  – усыхают;  $K_{cp} > 4,5$  – утратили жизнеспособность.

### Результаты и обсуждение

При очевидном разнообразии патогенных консортов древесных видов в лесных насаждениях, жизненное состояние древостоев (деревья генеративного, синильного возрастных состояний) в наибольшей степени определяют инфекционные болезни, поражающие ткани корней, стволов, ветвей, особенно в случаях системного их развития в дереве. Учитывая это, акцент сделан на выявление некрозно-раковых и гнилевых болезней в древостоях пихты. Характеристика основных болезней, установленных в пихтарниках и, в большинстве случаев, вызываемых грибами, представлена в таблице 2.

Таблица 2.

Инфекционные болезни в древостоях *Abies sibirica*

Болезнь (возбудитель)	Основные симптомы
Ржавчинный опухолевый рак ( <i>Melampsorella caryophyllacearum</i> G. Schrot.)	муфтовидные утолщения на стволах, ветвях, часто в сочетании со скоплением укороченных недоразвитых побегов
Бактериальная водянка ( <i>Erwinia</i> sp., <i>Pseudomonas</i> sp.)	трещины на коре, истечение экссудата темного цвета; мокрая древесина, флоэма с темными пятнами и полосами, с признаками мацерации
Корневая гниль ( <i>Armillaria mellea</i> sensu lato)	под корой корней и в нижней части ствола белые мицелиальные пленки, темные ризоморфы; осенью – группы базидиом (плодовых тел)
Стволовая гниль ( <i>Phellinus hartigii</i> (All. et Schnab.) Bond. и др.)	базидиомы ксилотрофных грибов на стволах, дупла

Стволовая гниль является результатом деструкции древесины комплексом ксилотрофных грибов в стволах живых деревьев. Распространенность стволовой гнили напрямую коррелирует с возрастом древостоев, у хвойных видов часто имеет скрытый характер развития (отсутствие плодовых тел возбудителей). Последний факт объясняет невысокую распространенность установленной по явным признакам стволовой гнили в исследуемых пихтарниках (табл.3). Гниль обычно локализуется в нижней части стволов и затрагивает физиологически активную заболонь в незначительной степени. В связи с этим, при очевидном повышении вероятности накопления гнилевого ветролома, жизненное состояние деревьев со стволовой гнилью длительное время остается удовлетворительным. На это указывает средний индекс состояния таких деревьев в случае отсутствия иных патологий (табл. 3).

Таблица 3.

**Показатели проявления болезней: числитель – распространенность (P, %), знаменатель – средний индекс состояния больных деревьев ( $K_{cp}$ )**

Болезни		На ПП	
		1	2
Ржавчинный опухолевый рак (при отсутствии других болезней)		4,3 / 2,9	4,0 / 1,3
Бактериальная водянка (при отсутствии других болезней)		8,3 / 3,4	10,8 / 2,9
Стволовая гниль (при отсутствии других болезней)		0	4,9 / 1,0
Корневая гниль, в т. ч	при отсутствии других болезней	29,3 / 5,0	34,7 / 5,0
	+ ржавчинный опухолевый рак	3,9 / 5,0	1,9 / 5,0
	+ бактериальная водянка	5,0 / 4,8	0
	+ стволовая гниль	0	2,2 / 5,0

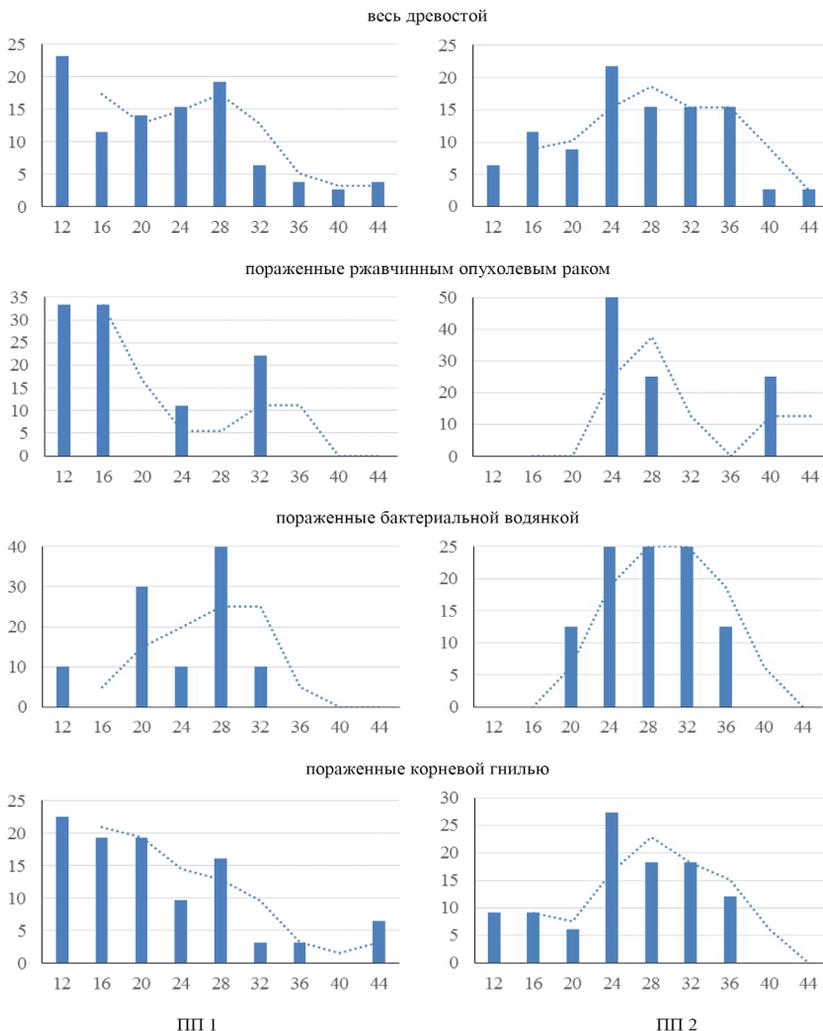
Некротно-раковые болезни (ржавчинный опухолевый рак и бактериальная водянка) в исследованных древостоях характеризовались средними показателями проявления. Суммарная распространенность опухолевого рака в анализируемой выборке не превышает 9% (табл. 3), однако, эта типичная для пихтовых древостоев болезнь всегда имеет потенциал для очагового распространения (> 10%). Степень пораженности древостоев определяет концентрация базидиоспор микромицета *M. caryophyllacearum*, необходимых для весеннего заражения пихты, что в свою очередь зависит от присутствия в живом напочвенном покрове промежуточных хозяев ржавчинного гриба – представителей семейства *Caryophyllaceae*. Ржавчинным раком в древостое хаотично поражаются деревья разного диаметра, соответственно разных классов Крафта, независимо от общего строения древостоя по диаметру (рис. 1), активно поражается также пихтовый под-

рост. Возбудитель – облигатный паразит обычно развивается на деревьях в течение длительного периода и не приводит их к быстрому отмиранию. Скорость ослабления зависит от возраста деревьев, места расположения на них раковых образований. По данным обследования состояние пораженных раком деревьев (при отсутствии других болезней) в среднем от удовлетворительного до сильно ослабленного (табл. 3).

Суммарная распространенность бактериальной водянки в пихтарниках на обследованных участках свидетельствует о наличии очагов болезни со слабой степенью зараженности древостоев (11-13%). В пораженной бактериозом части древостоя преобладают деревья средних ступеней толщины (рис. 1), соответственно I-II классов Крафта (доминирующего социального статуса). Системное развитие бактериальной водянки в деревьях становится причиной их постепенного ослабления с последующим усыханием: по данным обследования средний индекс состояния ( $K_{cp}$ ) пораженных деревьев (при отсутствии других болезней) – 2,9-3,4. О поражении бактериальной водянкой хвойных видов, включая пихту, в лесах Средней Сибири упоминалось ранее [7], в последние годы очаги водянки с нарушением санитарного состояния древостоев зафиксированы в темнохвойных горных лесах Прибайкалья [24].

Среди болезней в древостоях *Abies sibirica* доминирует корневая гниль, вызываемая *Armillaria mellea* s. l. (опенок осенний). По имеющимся данным, из комплекса грибов *A. mellea* s. l. в хвойных лесах Красноярского края (Средняя Сибирь) абсолютно преобладает вид *A. borealis* Maghm. & Korhonen [4]. Распространенность корневой гнили (в том числе в сочетании с другими болезнями) по данным детального лесопатологического перечета на пробных площадях превышает 35% (табл. 3), что указывает на наличие в древостоях пихты очагов корневой гнили сильной степени поражения. При сопоставлении рядов распределения деревьев по ступеням толщины в пределах всего древостоя (основного элемента леса – *A. sibirica*) и его пораженной части отмечено, что негативному воздействию корневого патогена подвержены деревья разного диаметра (размера, а значит ценотического статуса) в соответствии с их представленностью в древостое (рис. 1). Это подтверждается отсутствием значимых различий между сравниваемыми рядами распределения деревьев на пробных площадях, установленным по критерию  $\lambda$  (Колмогорова-Смирнова):  $ПП\ 1 - \lambda_{факт.}(0,89) < \lambda_{05}(1,36)$ ;  $ПП\ 2 - \lambda_{факт.}(0,61) < \lambda_{05}(1,36)$ . И.Н. Павлов с соавторами [5] при изучении развития очагов корневой гнили от данного патогена в древостоях *Pinus silvestris* L. отмечали первоначальное интенсивное поражение опенком деревьев низких ступеней толщины (IV-V классов Крафта). Вследствие даль-

нейшего усиления патогенных свойств опенка в очагах болезни поражается бóльшая часть древостоя. Аналогичную закономерность мы отмечали в очагах корневой губки (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.) в монодоминантных сосняках на юге Минусинской котловины [9].



**Рис. 1.** Распределение деревьев по ступеням толщины: по горизонтали – ступени толщины (см), по вертикали – относительное количество деревьев (%)

Токсигенное воздействие агрессивного патогена (*A. borealis*) приводит к ускоренному отмиранию корней и усыханию поражаемых деревьев: по данным обследования  $K_{cp}$  в пораженной части древостоя – 4,8-5,0 (табл. 3). В случаях поражения в сочетании с другими болезнями основным фактором гибели деревьев также выступает корневая гниль. На патологический отпад деревьев с признаками корневой гнили в исследованных пихтарниках, характеризующихся неудовлетворительным состоянием, приходится 60-80% от запаса общего отпада.

### Заключение

К внутриценотическим факторам ослабления и усыхания древостоев с преобладанием *Abies sibirica* на юге Средней Сибири наряду с насекомыми-дендрофагами относятся также дендропатогенные организмы – инициаторы некрозно-раковых и гнилевых болезней в ярусе эдификатора.

Типичные фоновые болезни в пихтарниках – стволовая гниль и ржавчинный опухольевый рак. Стволовая гниль, вызываемая комплексом ксилотрофных макромицетов, не снижает текущее жизненное состояние древостоев, однако ухудшает их санитарное состояние вследствие накопления гнилевого ветролома. Распространенность ржавчинного рака зависит от присутствия в напочвенном покрове промежуточных хозяев для возбудителя болезни – микромицета *Melampsorella caryophyllacearum*, может достигать очагового поражения (10 % и более). В насаждении раком хаотично поражаются деревья разного возраста и размера, для которых болезнь становится фактором хронического ослабления.

Основные причины патологического отпада деревьев в пихтарниках на фоне нарушения их биологической устойчивости экзогенными факторами – бактериальная водянка и, в первую очередь, корневая гниль (возбудитель – *Armillaria mellea* s. l., в том числе *A. borealis*). Бактериальная водянка поражает в древостое преимущественно деревья I-II классов Крафта, формирует диффузные очаги с пораженностью древостоев до 20%.

Возбудитель корневой гнили отличается высокой агрессивностью, поражает в насаждениях деревья разного ценотического статуса. При этом в древостоях возникают очаги корневой гнили (группы, куртины усохших деревьев), распространенность болезни достигает более 30%. Таким образом, корневые патогены (в частности *A. mellea* s. l.) в синергизме с иными биотическими воздействиями выступают значимым эндогенным фактором в современной перестройке экосистем темнохвойных лесов на юге Средней Сибири.

Для более полного понимания роли дендропатогенных организмов в функционировании и динамике темнохвойных насаждений необходимо проведение дальнейших исследований.

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

**Информация о спонсорстве.** Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по выполнению сотрудниками научной лаборатории «Защита леса» проекта «Фундаментальные основы защиты лесов от энтомо- и фитовредителей в Сибири» (№ FEFE-2020-0014).

#### *Список литературы*

1. Бажина Е. В., Сторожев В. П., Третьякова И. Н. Усыхание пихтово-кедровых лесов Кузнецкого Алатау в условиях техногенного загрязнения // Лесоведение. 2013. № 2 С. 15–21.
2. Жигунов А.В., Семакова Т.А., Шабунин Д.Л. Массовые усыхания лесов на Северо-Западе России // Лесобиологические исследования на Северо-Западе таежной зоны России. Итоги и перспективы: Материалы науч. конф., посвящ. 50-летию Ин-та леса Карельского науч. центра РАН. Петрозаводск, КарНЦ РАН, 2007. С. 42–52.
3. Мозолевская Е. Г., Катаев О. А., Соколова Э. С. Методы лесопатологического обследования очагов стволовых вредителей и болезней леса. М: Лесная промышленность. 1984. 152 с.
4. Павлов И. Н., Литовка Ю. А., Литвинова Е. А., Тимофеева А. А., Пашенова Н. В., Сафронова И. Е., Кулаков С. С., Мулява В. В., Мулява В. Е. *Armillaria borealis* Marxm. & Korhonen: распространение, фитопатогенность и морфолого-культуральные особенности // АгроЭкоИнфо. 2017. № 3(29).18 с.
5. Павлов И. Н., Миронов А. Г., Юшкова Т. Ю. Активизация патогенных свойств грибов комплекса *Armillaria mellea sensu lato* в хвойных лесах юга Восточной Сибири // Хвойные бореальной зоны, 2007. Т. XXIV. № 1. С. 9–20.
6. Правила санитарной безопасности в лесах: Утверждены постановлением правительства Российской Федерации от 9 декабря 2020 года № 2047. 24 с.
7. Рыбалко Т. М., Гукасян А. Б. Бактериозы хвойных Сибири. Новосибирск: Наука. 1986. 78 с.
8. Сингатуллин И. К. Состояние пихтарников Республики Татарстан // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2015. Т. 10. № 2(36). С. 145–150.

9. Татаринцев А. И., Каленская О. П., Бубликов А. Г. К вопросу пораженности корневой гнилью сосняков Минусинской котловины // Хвойные boreальной зоны. 2015. Т. XXXIII. № 5-6. С. 240–247.
10. Allen C. D., Macalady A. K., Chenchouni H., Bachelet D., McDowell N., Venetier M. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests // *Forest Ecology and Management*. 2010. № 259. P. 660–684.
11. Bazhina E. V. On the factors of drying out of fir forests in the mountains of Southern Siberia // *Irkutsk State University Journal*. 2010. № 3(3). P. 20–25.
12. Debkov N. Natural regeneration in Siberian fir (*Abies sibirica* Ledeb.) forests subjected to invasion of the four-eyed fir bark beetle (*Polygraphus proximus* Blandf) // *Forestry Studies*. 2019. № 70. P. 44–57. <https://doi.org/10.2478/fsmu-2019-0004>
13. Ivanchina L. A., Koltyrin A. The problem of drying up spruce stands and ways to solve it // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. Vol. 274. Iss. 1. № 12124. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/274/1/012124>
14. Kerchev I. A. Context-dependent acoustic signals in the four-eyed fir bark beetle, *Polygraphus proximus* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) // *Environmental Entomology*. 2019. № 48(1). P. 181–188. <https://doi.org/10.1093/ee/nvy178>
15. Kharuk V. I., Shushpanov A. S., Petrov I. A., Demidko D. A., Im S. T. and Knorre A. A. Fir (*Abies sibirica* Ledeb.) Mortality in Mountain Forests of the Eastern Sayan Ridge, Siberia // *Contemporary Problems of Ecology*. 2019. № 12(4). P. 299–309. <https://doi.org/10.1134/S199542551904005X>
16. Krivets S. A., Kerchev I. A. Insects inhabiting the galleries of the four-eyed fir bark beetle *Polygraphus proximus* Blandf (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) // *Entomological Review*. 2016. № 96(5). P. 545–558. <https://doi.org/10.1134/S0013873816050043>
17. Mezei P., Jakus J., Pennerstorfer M., Havasova J., Skvarenina J., Ferencik J. Storms, temperature maxima and the Eurasian spruce bark beetle *Ips typographus* – An infernal trio in Norway spruce forests of the Central European High Tatra Mountains // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2017. № 242. P. 85–95. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.04.004>
18. Pavlov I. N. Biotic and abiotic factors as causes of coniferous forests dieback in Siberia and Far East // *Contemporary Problems of Ecology*. 2010. № 8(4). P. 440–456.
19. Pavlov I. N., Litovka Y. A., Golubev D. V., Astapenko A. S. Mass Reproduction of *Polygraphus proximus* Blandford in Fir Forests of Siberia Infected with Root and Stem Pathogens: Monitoring, Patterns, and Biological Control // *Contemporary Problems of Ecology*. 2020. № 13. P. 71–84. <https://doi.org/10.1134/S1995425520010060>

20. Pavlov I. N., Rukhullaeva O. V., Barabanova O. A., Ageev A. A. Assessment of the role of root pathogens in the deterioration of the state of the forest fund of the Siberian Federal District // Coniferous boreal zones. 2008. № XXV(3-4). P. 262–268.
21. Soldatov V.V., Astapenko A S, Golybev D V, Vaganov E A, Pyzhev I P and Ibe A A Weakening factors of boreal forests of Siberia // IBFRA Conference «Cool forests at risk?» Book of Abstracts (Laxenburg, Austria). 2018. P. 47–80.
22. Tatarintsev A. I. On the problem of drying out dark coniferous plantations in the southern part of Central Siberia // Protection of forests from pests and diseases: scientific bases, methods and technologies: All-Russian conference with international participation, (Irkutsk: Publishing house of the Institute of Geography). 2015. P. 73–80.
23. Tatarintsev A. I., Aminev P. I., Mikhaylov P. V., Bulanova O. S. State of dark coniferous plantations in the southern part of the Yenisei Siberia: the role of biotic factors // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. № 677 (052075). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/5/052075>
24. Voronin V. I., Sofronov A. P., Morozova T. I., Oskolkov V. A., Sukhovolsky V. G., Kovalev A. V. Landscape occurrence of bacterial diseases in dark coniferous forests of the Khamar-Daban ridge (the Southern Baikal region) // Geography and natural resources. 2019. № 4(158). P. 56–65. [https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2019-4\(56-65\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2019-4(56-65))

### References

1. Bazhina E.V., Storozhev V.P., Tret'yakova I.N. Usykhaniye pikhtovo-kedrovyykh lesov Kuznetskogo Alatau v usloviyakh tekhnogennoy zagryazneniya [Fir-Siberian pine forests dieback in the Kuznetsk Alatau under industrial pollution stress]. *Russian Journal of Forest Science*, 2013, no. 2, pp. 15-21.
2. Zhigunov A.V., Semakova T.A., Shabunin D.L. Massovye usykhaniya lesov na Severo-Zapade Rossii [Forests dieback in the Northwestern Russia]. *Lesobiologicheskie issledovaniya na Severo-Zapade taezhnoy zony Rossii. Itogi i perspektivy: Materialy nauch. konf., posvyashch. 50-letiyu In-ta lesa Karelskogo nauch. tsentra RAN* [Forest biological research in the North-West of the taiga zone of Russia. Results and prospects: Proceedings of scientific conference dedicated to the 50th anniversary of the Institute of forests of the Karelian Scientific. Center of the Russian Academy of Sciences]. Petrozavodsk: Karelian Scientific. Center RAS Publ., 2007, pp. 42-52.
3. Mozolevskaya E.G., Kataev O.A., Sokolova E.S. *Metody lesopatologicheskogo obsledovaniya ochagov stvolovykh vrediteley i bolezney lesa* [Methods of forest pathological examination of foci of stem pests and forest diseases]. M: Lesnaya promyshlennost Publ., 1984, 152 p.

4. Pavlov I.N., Litovka Y.A., Litvinova E.A., Timofeeva A.A., Pashenova N.V., Safronova IE, Kulakov SS, Mulyava VV, Mulyava VE. *A. borealis* Marxm. & Korhonen: rasprostranenie, fitopatogennost' i morfologo-kul'tural'nye osobennosti [*A. borealis* Marxm. & Korhonen: distribution, phytopathogenicity and morphological and cultural features]. *AgroEkoInfo*, 2017, no. 3(29), 18 p.
5. Pavlov I.N., Mironov A.G., Yushkova T.Yu. Aktivizaciya patogennyh svojstv gribov kompleksa *Armillaria mellea* sensu lato v hvoynyh lesah yuga Vostochnoj Sibiri [Activation of pathogenic behaviour of *Armillaria mellea* sensu lato fungi in coniferous forests of the south of Eastern Siberia]. *Conifers of the boreal area*, 2017, vol. XXIV, no. 1. pp. 9–20.
6. *Pravila sanitarnoy bezopasnosti v lesakh: Utverzheny postanovleniem pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 9 dekabrya 2020 goda №2047* [Rules for sanitary safety in forests: Approved by the Decree of the Government of the Russian Federation of December 9, 2020 No. 2047]. 24 p.
7. Rybalko T.M., Gukasyan A.B. *Bakteriozy khvoynykh Sibiri* [Bacterioses of conifers of Siberia]. *Novosibirsk: Nauka*, 1986, 78 p.
8. Singatullin I.K. Sostoyanie pikhtarnikov Respubliki Tatarstan [State of fir forests of the Republic of Tatarstan]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2015, vol. 10, no. 2(36), pp. 145–150.
9. Tatarintsev A.I., Kalenskaya O.P., Bublikov A.G. K voprosu porazhennosti kornevoj gnil'yu sosnyakov Minusinskoj [On the issue of pine forests infestation with root rot in the Minusinsk Hollow]. *Conifers of the boreal area*, 2015, vol. XXXIII, no. 5-6. pp. 240–247.
10. Allen C. D., Macalady A. K., Chenchouni H., Bachelet D., McDowell N., Vennetier M. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, 2010, no. 259, pp. 660–684.
11. Bazhina E. V. On the factors of drying out of fir forests in the mountains of Southern Siberia. *Irkutsk State University Journal*, 2010, no. 3(3), pp. 20–25.
12. Debkov N. Natural regeneration in Siberian fir (*Abies sibirica* Ledeb.) forests subjected to invasion of the four-eyed fir bark beetle (*Polygraphus proximus* Blandf). *Forestry Studies*, 2019, no. 70, pp. 44–57. <https://doi.org/10.2478/fsmu-2019-0004>
13. Ivanchina L. A., Koltyrin A. The problem of drying up spruce stands and ways to solve it. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, vol. 274, iss. 1, no. 12124. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/274/1/012124>
14. Kerchev I. A. Context-dependent acoustic signals in the four-eyed fir bark beetle, *Polygraphus proximus* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Environmental Entomology*, 2019, no. 48(1), pp. 181–188. <https://doi.org/10.1093/ee/nvy178>

15. Kharuk V.I, Shushpanov A. S., Petrov I. A., Demidko D. A., Im S. T. and Knorre A. A. Fir (*Abies sibirica* Ledeb) Mortality in Mountain Forests of the Eastern Sayan Ridge, Siberia // *Contemporary Problems of Ecology*, 2019, no. 12(4), pp. 299–309. <https://doi.org/10.1134/S199542551904005X>
16. Krivets S. A., Kerchev I. A. Insects inhabiting the galleries of the four-eyed fir bark beetle *Polygraphus proximus* Blandf (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Entomological Review*, 2016, no. 96(5), pp. 545–558. <https://doi.org/10.1134/S0013873816050043>
17. Mezei P., Jakus J., Pennerstorfer M., Havasova J., Skvarenina J., Ferencik J. Storms, temperature maxima and the Eurasian spruce bark beetle *Ips typographus* – An infernal trio in Norway spruce forests of the Central European High Tatra Mountains. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2017, no. 242, pp. 85–95. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.04.004>
18. Pavlov I. N. Biotic and abiotic factors as causes of coniferous forests dieback in Siberia and Far East. *Contemporary Problems of Ecology*, 2010, no.8(4), pp. 440–456.
19. Pavlov I. N., Litovka Y. A., Golubev D. V., Astapenko A. S. Mass Reproduction of *Polygraphus proximus* Blandford in Fir Forests of Siberia Infected with Root and Stem Pathogens: Monitoring, Patterns, and Biological Control. *Contemporary Problems of Ecology*, 2020, no. 13, pp. 71–84. <https://doi.org/10.1134/S1995425520010060>
20. Pavlov I. N., Rukhullaeva O. V., Barabanova O. A., Ageev A. A. Assessment of the role of root pathogens in the deterioration of the state of the forest fund of the Siberian Federal District. *Coniferous boreal zones*, 2008, no. XXV(3-4), pp. 262–268.
21. Soldatov V.V., Astapenko A S, Golybev D V, Vaganov E A, Pyzhev I P and Ibe A A Weakening factors of boreal forests of Siberia. *IBFRA Conference «Cool forests at risk?» Book of Abstracts* (Laxenburg, Austria), 2018, pp. 47–80.
22. Tatarintsev A. I. On the problem of drying out dark coniferous plantations in the southern part of Central Siberia. Protection of forests from pests and diseases: scientific bases, methods and technologies: All-Russian conference with international participation. Irkutsk: Publishing house of the Institute of Geography, 2015, pp. 73–80.
23. Tatarintsev A. I., Aminev P. I., Mikhaylov P. V., Bulanova O. S. State of dark coniferous plantations in the southern part of the Yenisei Siberia: the role of biotic factors. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, no. 677 (052075). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/5/052075>

24. Voronin V. I., Sofronov A. P., Morozova T. I., Oskolkov V. A., Sukhovolsky V. G., Kovalev A. V. Landscape occurrence of bacterial diseases in dark coniferous forests of the Khamar-Daban ridge (the Southern Baikal region). *Geography and natural resources*, 2019, no. 4(158), pp. 56–65. [https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2019-4\(56-65\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2019-4(56-65))

### **ВКЛАД АВТОРОВ**

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

### **AUTHOR CONTRIBUTIONS**

The authors contributed equally to this article.

### **ДАнные ОБ АВТОРАХ**

**Мельниченко Наталья Павловна**, младший научный сотрудник

*Научная лаборатория «Защита леса» Сибирский государственный университет науки и технологии имени академика М.Ф. Решетнева пр. Красноярский рабочий, 31, г. Красноярск, 660037, Российская Федерация*  
*natalia.melnichenko@mail.ru*

**Татаринцев Андрей Иванович**, д-р биол. наук, доцент, ведущий научный сотрудник

*Научная лаборатория «Защита леса» Сибирский государственный университет науки и технологии имени академика М.Ф. Решетнева пр. Красноярский рабочий, 31, г. Красноярск, 660037, Российская Федерация*  
*lespat@mail.ru*

### **DATA ABOUT THE AUTHORS**

**Natalia P. Melnichenko**, Junior Researcher, Laboratory of Forest Health

*Reshetnev Siberian State University of Science and Technology  
31, Krasnoyarskii Rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation*

*natalia.melnichenko@mail.ru*

*SPIN-code: 7018-2819*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0934-055X>*

*ResearcherID: ACX-8059-2022*

*Scopus Author ID: 57286678400*

**Andrey I. Tatarintsev**, Dr. Sci. (Biol.), Assoc. Prof, Leading Researcher, Laboratory of Forest Health

*Reshetnev Siberian State University of Science and Technology*

*31, Krasnoyarskii Rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation*

*lespat@mail.ru*

*SPIN-code: 4196-3994*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2969-8740>*

*ResearcherID: AAB-6276-2019*

*Scopus Author ID: 35224058500*

Поступила 24.11.2022

После рецензирования 22.12.2022

Принята 26.01.2023

Received 24.11.2022

Revised 22.12.2022

Accepted 26.01.2023