

О ФАКТОРАХ УЯЗВИМОСТИ ПИХТЫ СИБИРСКОЙ В СВЯЗИ С ИНВАЗИЕЙ *POLYGRAPHUS PROXIMUS* BLANDF.

© Е.В. Бажина, П.И. Аминев

Виды р. *Abies* весьма уязвимы к воздействию как абиотических, так и биотических факторов среды. В последнее десятилетие в ряде регионов Сибири на фоне нарушения гомеостаза и снижения устойчивости лесных экосистем, усыхание древостоев пихты сибирской *Abies sibirica* Ledeb. вследствие массового размножения полиграфа уссурийского *Polygraphus proximus* Blandf. приняло катастрофический характер. Приведены результаты мониторинга состояния темнохвойных пихтовых древостоев, произрастающих в отрогах Восточного Саяна (на территории национального парка «Красноярские Столбы») в период повреждения в связи с инвазией *P. proximus*. Усыхание пихты сибирской охватывает различные лесорастительные условия. Оценка состояния древостоев показала, что инвазия вредителя привела к гибели *A. sibirica* в среднегорных экосистемах, в настоящее время все темнохвойные древостои пригородной зоны повреждены и относятся к категории усыхающих либо сильно ослабленных. Катастрофическому отпаду пихты сибирской способствует высокая зараженность ржавчинным раком (*Melampsorella caryophyllolearum* G. Schrot. = *M. cerastii* (Wint.) и гнилевыми болезнями (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. sensu stricto (=*Fomitopsis annosa* Karst.), *Phellinus Hartigii* (Allesch. et Schabl.), *Fomitopsis pinicola* (Sw. et Fr.) Karst.). Накопление отпада происходит из разных ступеней толщины в соответствии со строением древостоя по диаметру, весьма активно поражаются не только старовозрастные, но и молодые деревья пихты сибирской (диаметром 12–16 см), при этом часть деревьев не повреждается. *P. proximus*, уничтожая деревья до вступления в возраст семеношения, может не только привести к деградации древостоев, но и создать локальную угрозу существованию пихты сибирской в горных лесных экосистемах. Принимая во внимание особенности репродуктивной биологии пихты сибирской (достаточно высокая семенная продуктивность мегастробилов, обилие и непрерывность семеношения), неповрежденные деревья могут обеспечить естественное возобновление.

Ключевые слова: *Abies sibirica* Ledeb., санитарное и лесопатологическое состояние, *Polygraphus proximus* Blandf., инвазия, отпад, распространенность болезни, ржавчинный рак, стволовая и корневая гнили.

Введение. Пихта сибирская – один из основных лесообразующих видов темнохвойных лесов Сибири, имеющий наиболее обширный среди видов р. *Abies* ареал: от бассейна Северной Двины и средней Мезени на западе (около 40° в.д.) до верховьев Алдана на востоке (138° в.д.) и от долин рек Печора, Обь и Енисей, 64–67° с.ш. до 44–55°с.ш. – на Урале и Джунгарском Алатау [1–2]. Общая площадь пихтовых лесов составляет около 14 млн га. Однако в пределах ареала вид распространен неравномерно – преимущественно в районах, где сумма осадков превышает 600–1000 мм/год. Предпочитая влажные и избыточно влажные районы, пихта крайне неустойчива к действию как био-

тических факторов (активно повреждается энтомовредителями, восприимчива к грибным заболеваниям), так и к атмосферному загрязнению [3–5].

В настоящее время значительная площадь биома boreальных лесов подвержена активной эксплуатации и техногенному загрязнению, поэтому естественная динамика биоценозов замещается сукцессионными процессами, инициируемыми антропогенными воздействиями, а также инвазивными фитопатогенами и энтомовредителями. В последнее десятилетие в ряде регионов Сибири вследствие массового размножения полиграфа уссурийского *Polygraphus proximus* Blandf. на фоне нарушения гомеостаза

и снижения устойчивости темнохвойных экосистем, усыхание пихтовых древостоев приняло катастрофический характер [6–7]. По результатам мониторинга Центра защиты леса Красноярского края на конец 2022 г. *P. proximus* распространился от южной и восточной до западной границы края по всем равнинным и предгорным лесам с примесью пихты, повреждены насаждения в тридцати девяти лесничествах на площади более 561 тыс. га [8]. В отрогах Восточного Саяна (территория национального парка «Красноярские Столбы») к 2017 г. погибли 75% пихтовых древостоев [9].

Хорошо известно, что вредители и патогены повреждают прежде всего ослабленные растения. Так, показано, что в биоценозах Восточной Сибири центрами усыхания являются деревья, пораженные корневыми патогенами р. *Armillaria* [4]. Изучение коренной патогенной биоты позволяет выявить факторы уязвимости, определить роль патогенных организмов при их сопряженном воздействии на древостой и дать прогноз развития инвазий и эпифитотий.

Цель настоящих исследований – оценка санитарного и лесопатологического состояния пихтовых насаждений и выявление факторов уязвимости, повышающих риски патологического отпада деревьев пихты сибирской при повреждении полиграфом уссурийским *P. proximus*.

Материалы и методы. Исследования проводились в лесных экосистемах национального парка «Красноярские Столбы», который расположен на последних северо-западных отрогах Восточного Саяна, на Куйсумском (Красноярском) хребте. По лесорастительному районированию территория национального парка входит в состав Восточно-Саянской лесорастительной провинции в пределах Алтая-Саянской лесорастительной области. Она граничит с крупным промышленным центром – г. Красноярском, характеризующимся ежегодным объемом выбросов токсикантов около 200 тыс. т. [10]. Территория национального парка находится рядом с границами двух геоморфологических структур – Западносибирской низменностью и Среднесибирским плоскогорьем, рельеф в основном низкогорный, с абсолютными высотами 300–830 м, характеризуется выходами интрузивных пород и проявлениями карста [9]. Почвенный покров территории исследований достаточно мозаичен вследствие различного возраста и состава подстилающих геологических пород, неоднородности характера рельефа [9]. Климат района работ континентальный, при этом показатель континентальности нарастает от вершин гор к межгорным котловинам [1].

На абсолютных высотах 480–730 м было заложено 7 безразмерных пробных площадей (ПП): в центральной части национального парка (№ 1 – долина р. Лалетина, № 2 – скала «Грифы»), северной части национального парка, прилегающей к г. Красноярску – в бассейне р. Базаиха (№ 3 – долина р. Б. Сынжул, граница с г. Красноярском; № 4–7 – верховья ручьев Кедровый и Калтат). Пихтовые древостои смешанные (реже чистые), спелые и перестойные (V–VIII классов возраста), зеленомошной, разнотравной и крупнотравной групп типов леса. В составе древостоев кроме пихты отмечается примесь (в сумме от 3 до 6 единиц) кедра, ели, лиственницы, березы и осины. Классы бонитета: III–IV, полнота: 0.5–0.9. На ПП 1–2 распространены дерново-подзолистые почвы с $pH_{водн}$ 5.9, на ПП 3–7 – с выходом горных пород 10–20%, $pH_{водн}$ 5.25–5.6 [11].

Северная часть национального парка (бассейн р. Базаиха – граница с г. Красноярском) подвергается аэроотехногенному загрязнению выбросами города, среди поллютантов преобладают бенз(а)пирен, формальдегид, оксиды серы и азота, взвешенные вещества [10]. Однако благоприятное положение (вне зоны преобладающих ветров) и характер рельефа на естественных границах с городом приводят к значительному снижению уровня загрязнения (в 5–45 раз по отдельным веществам) по сравнению с городскими экосистемами, на 64.6% территории он не превышает окколофоновых значений [9, 11].

Пробные площади закладывали по методу непровешенных ходовых линий с количеством деревьев пихты не менее 200–250 шт. на ПП. Характеристику древостоев и почв определяли с учетом материалов лесоустройства и Летописей природы заповедника. В период интенсивного повреждения *P. proximus* (2019–2021 гг.), выполнили детальное лесопатологическое обследование по общепринятым в лесозащитной практике методикам [12–13]. На каждой ПП провели сплошной перечет деревьев по 4-санитметровым ступеням толщины и категориям состояния. Интегральную оценку состояния деревьев давали по комплексу визуальных признаков: густоте и цвету кроны, состоянию коры, наличию усохших ветвей, смоляных потеков, входных и вылетных отверстий *P. proximus*. Использовали шестибалльную шкалу, разработанную для оценки состояния деревьев в очагах распространения *P. proximus*, учитывающую биологию вредителя и защитные свойства пихты [14]. По результатам перечета через сумму площадей поперечного сечения стволов на высоте 1.3 м рассчитывали средне-

взвешенный индекс состояния деревьев ($K_{ср}$) по формуле:

$K_{ср} = (P_1*K_1+P_2*K_2+P_3*K_3+P_4*K_4+P_5*K_5)/100$, где $K_{ср}$ – средневзвешенный индекс состояния; P_i – доля каждой категории состояния, %; K_i – индекс категории состояния дерева: I – без признаков ослабления, II – ослабленное, III – сильно ослабленное, IV – усыхающее, V – свежий и старый сухостой, ветровал, бурелом.

При значении средневзвешенного индекса 1.0–1.5 древостои относили к здоровым; 1.6–2.5 – к ослабленным; 2.6–3.5 – к сильно ослабленным; 3.6–4.5 – к усыхающим; 4.6 и более – к погибшим. Диагностику инфекционных болезней у деревьев осуществляли по комплексу анатомо-морфологических нарушений и репродуктивным образованиям возбудителей, используя специальную справочную литературу [15]. Распространенность болезней и поврежденность ксилофагами определяли как долю (в %) пораженных (поврежденных) деревьев от всего объема выборочной совокупности.

Результаты исследований и их обсуждение. Повреждение *P. proximus* привело к катастрофической гибели пихты сибирской. Все древостои пригородной зоны повреждены и относились к категории усыхающих либо сильно ослабленных; доля ветровальных деревьев на ПП варьировала от 3.8 до 7.5%. На момент обследования (2019–2021 гг.) ПП 1 представляла собой начинающийся очаг, здесь преобладали ослабленные деревья – 46.6%, а 11.0% – уже отработаны ксилофагами (табл. 1). ПП 2.4 и 7 – затухающие очаги: отработаны

23.5–51.3% деревьев (VI категория), ресурс для заселения в ближайшем будущем (III–IV категории) составлял 5.7–6.0%. ПП 3, 5–6 представляли действующий очаг: отработаны ксилофагами 16.8–22.9% деревьев (VI категория), заселены – 29.9–34.5% (IV–V категорий). От 0.6 до 23.3% деревьев на всех ПП (I категория), вероятно, можно классифицировать как устойчивые.

Анализ диаметров древостоев показывает, что накопление отпада происходит из разных степеней толщины в соответствии со строением древостоя по диаметру (рис. 1). Относительный запас текущего отпада в среднем по национальному парку превышает 30%, что указывает на прогрессирующее усыхание древостоев с потерей ими биологической устойчивости. Средний диаметр деревьев в части отпада, за исключением ПП 1, несколько больше среднего диаметра древостоя, что указывает на наличие патологического отпада с вовлечением в усыхание деревьев I–III классов Крафта (табл. 1). Древостоям северо-восточной части национального парка (ПП 3, 5–7) характерна, как правило, меньшая растянутость распределения отпада по диаметру стволов. Основную роль в современном отпаде деревьев играют ксилофаги – к IV–VI категориям состояния относятся от 79.5 до 96.4% деревьев, поврежденных *P. proximus* и от 95.2 до 100% – черным пихтовым усачом *Monochamus urussovi* (Fischer v. Waldheim) (табл. 2). Усач повреждал 5.5–44.1% деревьев на разных ПП (рис. 2), современный интенсивный отпад деревьев пихты сибирской определяется в основном *P. proximus*.

Таблица 1

Показатели санитарного состояния древостоев

№ ПП	Распределение деревьев по категориям состояния, %						Отпад		Диаметр, см		$K_{ср}$	Состояние древостоя
	I	II	III	IV	V	VI	общий	текущий	всего древостоя	в части отпада		
1	14.8	46.6	5.7	–	21.9	11.0	32.9	21.9	28	27	2.9	сильно ослабленный
2	–	24.2	–	5.7	46.6	23.5	75.8	52.3	26	27	4.2	усыхающий
3	5.6	47.7	–	8.7	21.2	16.8	46.7	29.9	20	27	3.3	сильно ослабленный
4	0.6	14.0	–	6.0	29.1	50.3	85.4	35.1	27	28	4.5	усыхающий
5	11.6	28.0	0.4	23.3	13.8	22.9	60.0	37.1	24	27	3.5	сильно ослабленный
6	23.3	25.4	–	7.7	26.8	16.8	51.3	34.5	21	26	3.2	сильно ослабленный
7	20.7	1.4	–	–	26.6	51.3	77.9	26.6	22	26	4.1	усыхающий



Рис. 1. Распределение живых и усихших деревьев (ось Y, шт.) по ступеням толщины (ось X, см): ■ – живые, ■ – отпад, ПП 1 – пробная площадь № 1, ПП 2 – пробная площадь № 2, ПП 3 – пробная площадь № 3, ПП 4 – пробная площадь № 4, ПП 5 – пробная площадь № 5, ПП 6 – пробная площадь № 6, ПП 7 – пробная площадь № 7

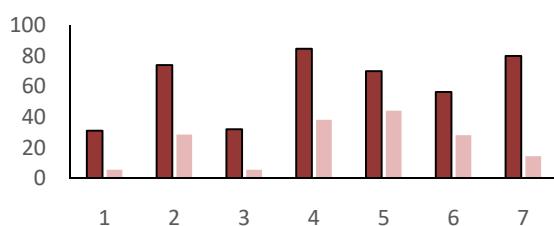


Рис. 2. Распространенность энтомовредителей по ПП, %: ■ – *Polygraphus proximus*, ■ – *Monochamus urussovi*. Ось X – номер пробной площади, ось Y – распространенность, %

Масштабным повреждениям способствует, очевидно, ослабление деревьев фитопатогенами и высокий возраст. Среди выявленных болезней наибольшей вредоносностью характеризуются корневая и стволовая гнили (табл. 3). В соответствии со средневзвешенным индексом (Кср) состояние деревьев, пораженных этими заболеваниями, к настоящему времени оценивается как «погибшие». В связи с особенностями развития корневой гнили в пихтарниках пораженные деревья размещаются чаще рассеянно и очаги носят диффузный характер. Даже при значительном развитии гнили в корнях и стволах внешне деревья кажутся здоровыми, но такое течение болезни может привести к быстрому, иногда внезапному, усыханию дерева [13]. В нашем случае преобладала слабая степень поражения корневой губкой (*Heterobasidion annosum*) – распространенность болезни на шести ПП не превышала 20% и лишь на ПП 5 отмечалась средняя степень поражения. Величина текущего отпада от корневой гнили оказалась значительно ниже, чем от стволовой гнили. Очевидно, это можно объяснить значительным отпадом от корневой гнили, произошедшим в предшествующие годы, что свидетельствует об окончании активной фазы развития очага и его затухании. Затухаю-

щие очаги характеризуются отсутствием усыхающих деревьев, также отсутствует или встречается единично свежий сухостой. Кроме *Phellinus Hartigii*, вызывающего стволовую гниль, достаточно часто на стволах ослабленных и усыхающих деревьев отмечались базидиомы трутовика окаймленного *Fomitopsis pinicola* (Sw. et Fr.) Karst. – основного деструктора древесного отпада. Как и в пихтовых насаждениях Кемеровской области [16], стволовой гнилью чаще поражаются наиболее толстые стволы. Для пораженных стволовой гнилью деревьев повышается с увеличением возраста древостоя, что подтверждает выводы Э.Н. Фалалеева [2].

В отрогах Восточного Саяна широко распространен ржавчинный рак *Melampsorella caryophyllocearum* G. Schrot. = *M. cerastii* (Wint.). По нашим данным 2007 г., еще до инвазии *P. proximus*, от 21.4 до 71.4% деревьев на ПП были ослаблены этим заболеванием [17]. Настоящее исследование выявило, что зараженность древостоя раком снизилась и варьирует от 11.2 до 61.0% (табл. 3). Снижение распространенности рака объясняется отпадом и выборкой усыхающих и сухостойных деревьев при проведении санитарно-оздоровительных мероприятий. Вместе с тем летальность от рака ниже в сравнении со стволовой гнилью. Как показал анализ распределения деревьев, пораженных раком, по категориям состояния, на ПП 1 и 5, характеризующихся наибольшей зараженностью раком, около 58.0% деревьев на ПП 1 и 32.8% на ПП 5 относится ко II категории. Средний текущий отпад от рака составил 34.2%, при этом поражались в основном деревья с большим диаметром. Однако в отличие от пихтачей Кемеровской области [16], где максимальная зараженность раком отмечалась в древостоях с полнотой 0.7–0.8, в отрогах Восточного Саяна заболеванию в большей степени подвержены древостоя с полнотой 0.5.

Таблица 2

Распределение деревьев, поврежденных энтомовредителями по категориям состояния, %

№ ПП	Категории состояния						Кср	
	I	II	III	IV	V	VI	полиграф	усач
1	–/–	6.7/–	9.6/–	–/4.6	62.3/36.8	21.4/58.6	4.6	5.0
2	–/–	7.3/–	–/–	4.9/4.8	60.0/36.7	27.8/58.5	4.7	5.0
3	–/–	3.6/–	–/–	5.9/7.7	53.6/26.3	36.9/66.0	4.8	4.9
4	–/–	3.9/–	–/–	6.3/0.5	34.2/25.9	55.6/73.6	4.8	5.0
5	–/–	20.5/1.1	–/–	27.4/27.8	27.0/38.1	25.1/33.0	4.1	4.7
6	–/–	9.2/–	–/–	10.4/15.2	53.0/42.2	27.4/42.6	4.6	4.8
7	–/–	19.7/4.8	–/–	–/3.1	28.5/17.2	51.8/74.9	4.4	4.8

Примечание: числитель – деревья поврежденные полиграфом *Polygraphus proximus*, знаменатель – деревья поврежденные усачом *Monochamus urussovi*.

Таблица 3

Характеристика выявленных болезней, параметры отпада и оценка состояния насаждений

Название болезни	Возбудитель	Распространенность болезни, %		Отпад, в % от запаса		Кср	Состояние пораженных деревьев
		средняя	крайние значения	общий	текущий		
Ржавчинный рак	<i>Melampsorella caryophylloacearum</i> G. Schrot. = <i>M. cerastii</i> (Wint.)	27.3	11.2–61.0	65.7	34.2	3.9	усыхающие
Стволовая гниль	<i>Phellinus hartigii</i> (All. et Schnab.) Bond.	7.7	1.0–18.8	90.4	51.6	4.7	погибшие
Корневая гниль	<i>Heterobasidion annosum</i> (Fr.) Bref. sensu stricto (= <i>Fomitopsis annosa</i> Karst.)	8.8	0–25.0	99.4	28.3	5.0	погибшие

Гибель различных древесных видов вследствие инвазий энтомовредителей и фитопатогенных грибов получила в последние десятилетия широкое распространение [18]. Среди инвайдеров хвойных видов наиболее агрессивна ксилофильная энтомофауна. Инвазиям и вспышкам численности патогенных организмов способствует ослабление деревьев как биотическими (повреждения вредителями, фитопатогенами), так и абиотическими (флуктуации климата, хозяйственная деятельность человека) стресс-факторами [2–5]. Последствия для естественных экосистем зависят от вредоносности агрессора и от экологических функций вида-хозяина [6, 18].

Видоспецифичное подверхушечное усыхание деревьев пихты сибирской неизвестной этиологии в течение многих лет наблюдалось в среднегорных лесных экосистемах Хамар-Дабана, Западного и Восточного Саян, Кузнецкого Алатау, где особенности атмосферной циркуляции способствуют выпадению токсических веществ из атмосферы и в непосредственной близости от источников загрязнения [1, 3, 5, 11]. В поврежденных экосистемах активизировались энтомовредители, отмечены эпифитотии раковых заболеваний, снижающие устойчивость деревьев. В лесных экосистемах Восточного Саяна до инвазии усыхание деревьев пихты сибирской (8.6–19.6% деревьев) наблюдалось в древостоях выше 680 м над ур. м (ПП 6–7) и непосредственно на северо-восточной границе национального парка с г. Красноярском (ПП 3) [17]. По результатам мониторинга в начале XXI в. около 70% пихтаций отрогов Восточного Саяна еще относились к здоровым, нарушения

гомеостаза наблюдались в северо-восточной, прилегающей к городу, части. Очевидно, что масштабное повреждение пихты во всех частях гор Южной Сибири свидетельствует об уязвимости вида на фоне глобальной нестабильности экологических условий (загрязнение, погодно-климатические изменения и пр.). В то же время исследования климатических флуктуаций в горах Южной Сибири показывают, что индекс AMI, определяющий границы распространения пихты, никогда не достигал критического для вида значения [19].

P. proximus широко распространен в лесах Дальнего Востока, где он является вредителем дальневосточных видов *Abies nephrolepis* (Trautv.) Maxim., *A. holophylla* Maxim. и *A. sachalinensis* (F. Schmidt) Mast., агрессивность к пихте сибирской вид проявляет последние два десятилетия [6, 8]. Анализ потенциальной устойчивости пихты сибирской к атакам *P. proximus* позволил предположить наличие факторов ослабления деревьев этого вида: поражение корневыми патогенами, погодно-климатические и антропогенные воздействия [1, 3–5, 11]. Положение усугубляется биологическими особенностями вида и низким генетическим полиморфизмом популяций, многократно ускоряют гибель деревьев грибы-симбионты *P. proximus*. Настоящие исследования показали, что повреждению способствуют поражения стволовой, корневой гнилями, а также ржавчинным раком. Таким образом, подтверждается наша гипотеза о комплексе причин ослабления деревьев пихты сибирской [5].

Вследствие инвазии *P. proximus* сукцессионные процессы, как правило, достаточно медленные в темнохвойных лесных экосистемах

Сибири, вероятно, ускоряется т.к. гибель деревьев приводит к распаду древостоев, осветлению и запуску процессов лесовосстановления. В то же время прогнозы тревожны. Несмотря на то, что в некоторых горных экосистемах Сибири в последние десятилетия наблюдалось расширение ареала пихты сибирской, в большинстве горных биоценозов, вследствие нарушения процессов половой репродукции этого вида, потенциал возобновления значительно снизился, и подроста может оказаться недостаточно [5]. В силу биологических свойств банк семян пихты в почве практически отсутствует, возобновление может осуществляться только за счет семян текущего года. Учитывая высокую семенную продуктивность пихты, выжившие деревья могут обеспечить возобновление, тем не менее, элиминация отдельных генотипов деревьев, уносящих неповторимый генофонд, приведет к снижению генетического разнообразия вида. Кроме того, на фоне значительного осветления некоторых биоценозов, возобновление может проходить через смену пород.

Авторы глубоко признательны директору национального парка «Красноярские Столбы» В.М. Щербакову за поддержку исследований на территории заповедника, а также сотрудникам заповедника, осуществлявшим помощь в сборе образцов. Авторы искренне благодарны к.б.н. Т.В. Пономаревой и Е.Ф. Формовой за консультации по классификации почв территории исследований, а также А.Т. Дутбаевой и Ю.С. Чeredниковой за помощь в определении типов леса. Сбор материалов исследований выполнен в рамках базового проекта FWES-2024-0028.

Литература

1. Поликарпов Н.П., Чебакова Н.М., Назимова Д.И. Климат и горные леса Южной Сибири. Новосибирск: Наука, 1986. 226 с.
2. Фалалеев Э.Н. Пихта. Москва: Лесн. промст., 1982. 85 с.
3. Белова Н.А., Морозова Т.И. Динамика лесопатологического состояния пихтовых древостоев Байкальского заповедника (1983–2015) // Лесной вестник. 2018. Т. 22. № 2. С. 5–15. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-2-5-15
4. Павлов И.Н., Барабанова О.А., Агеев А.А., Шкуренко А.С., Кулаков С.С., Шпенглер Д.В., Губарев П.В. Основная причина массового усыхания пихтово-кедровых лесов в горах Восточного Саяна – корневые патогены // Хвойные бореальной зоны. 2009. Т. 26. № 1. С. 33–41.
5. Бажина Е.В., Третьякова И.Н. К проблеме усыхания пихтовых лесов // Успехи современной биологии. 2001. Т. 121. № 6. С. 626–631.
6. Гниненко Ю.И., Клюкин М.С. Уссурийский короед на территории России // Защита и карантин растений. 2011. № 11. С. 32–34.
7. Кривец С.А., Керчев И.А., Бисирова Э.М., Волкова Е.С., Астапенко С.А., Ефременко А.А., Ко- силов А.Ю., Кудрявцев П.П., Кузнецова Ю.Р., Пономарев В.И., Потапкин А.Б., Тараксин Е.Г., Титова В.В., Шилоносов А.О., Баранчиков Ю.Н. Обзор современного вторичного ареала уссурийского полиграфа (*Polygraphus proximus* Blandford) на территории Российской Федерации // Российский журнал биологических инвазий. № 1. 2024. С. 49–69. DOI:10.35885/1996-1499-17-1-49-69
8. Полиграф уссурийский продолжает распространение в Красноярском крае. Центр защиты леса Красноярского края. URL: <https://krasnoyarsk.rcfh.ru/presscenter/novosti/poligraf-ussuriyskiy-prodolzhaet-rasprostranenie-v-krasnoyarskom-krae> (дата обращения: 7.02.2025)
9. Национальный парк «Красноярские Столбы». URL: <https://kras-stolby.ru> (дата обращения: 7.03.2025)
10. Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2020 году. Министерство экологии и национального природопользования Красноярского края КГБУ «ЦРМПиООС» / под ред. Ю.М. Мальцева. Красноярск: Минприроды, 2021. 337 с. URL: <http://www.mpr.krskstate.ru/envir/page5849/0/id/70305> (дата обращения: 7.03.2025)
11. Бажина Е.В. Состояние древостоев пихты сибирской (*Abies sibirica*) и распределение химических элементов по ярусам ее кроны в лесных экосистемах ООПТ Красноярского края, Россия // Nature Conservation Research. Заповедная наука. 2018. № 3 (Suppl. 2). С. 40–53. DOI: 10.24189/ncr.2018.064
12. Руководство по планированию, организации и ведению лесопатологических обследований: Приложение 3 к приказу Рослесхоза от 29.12.2007 № 523. 74 с.
13. Болезни и вредители в лесах России: справочник: в 3 т. Т. 3. Методы мониторинга вредителей и болезней леса / под общ. ред. В.К. Тузова. М: ВНИИЛМ, 2004. 200 с.
14. Уссурийский полиграф в лесах Сибири (распространение, биология, экология, выявление и обследование поврежденных насаждений). Методическое пособие / отв. ред. С.А. Кривец, Ю.Н. Баранчиков. Томск-Красноярск. 2015. 48 с.
15. Кузьмичев Е.П., Соколова Э.С., Мозолевская Е.Г. Болезни древесных растений. Справочник. М.: ВНИИЛМ. 2004. 120 с.
16. Аминев П.И., Измельцев А.В. О пораженности пихтовых насаждений Кемеровской области ржавчинным раком и стволовой гнилью // Непре-

рывное экологическое образование и экологические проблемы. Красноярск, 2005. Т. 2. С. 15–21.

17. Бажина Е.В., Аминев П.И. Особенности семеношения и морфологии побегов деревьев пихты сибирской, пораженных ржавчинным раком // Лесной журнал. 2007. № 3. С. 7–13.

18. Ostry M.E., Laflamme and S.A. Katovich. Silvicultural approaches for management of eastern white pine to minimize G.impacts of damaging agents // For. Path. 2010. № 40 С. 332–346. DOI: 10.1111/j.1439-0329.2010.00661.x

19. Tchekakova N.M., Parfenova E.I., Bazhina E.V., Soja A.J., Groisman P.Y. Droughts are not the likely primary cause for *Abies sibirica* and *Pinus sibirica* forest Dieback in the South Siberian Mountains // Forests. 2022. V. 13. P. 1378. URL: <https://doi.org/10.3390/f13091378>

References

1. Polykarpov N.P., Chebakova N.M., Nazimova D.I. Klimat i gornye lesa Yuzhnoj Sibiri. Novosibirsk: Nauka, 1986, 226 p.

2. Falaleev E.N. Pihta. Moscow: Lesnaya prom-st', 1982, 85 p.

3. Belova N.A., Morozova T.I. Dinamika lesopatologicheskogo sostoyaniya pihtovyh drevostoev Bajkal'skogo zapovednika (1983–2015) // Lesnoj vestnik, 2018, vol. 22, no. 2, pp. 5–15. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-2-5-15

4. Pavlov I.N., Barabanova O.A., Ageev A.A. i dr. Osnovnaya prichina massovogo usyhaniya pihtovokedrovych lesov v gorah Vostochnogo Sayana – kornevye patogeny // Hvojnye boreal'noj zony, 2009, vol. 26, no. 1, pp. 33–41.

5. Bazhina E.V. Tret'yakova I.N. K probleme usyhaniya pihtovyh lesov // Uspekhi sovremennoj biologii, 2001, vol. 121, № 6, pp. 626–631.

6. Gnenenko Yu.I., Klyukin M.S. Ussurijskij koreo na territorii Rossii // Zashchita i karantin rastenij, 2011, no. 11, pp. 32–34.

7. Krivec S.A., Kerchev I.A., Bisirova E.M., Volkova E.S., Astapenko S.A., Efremenko A.A., Kosilov A.Yu., Kudryavtsev P.P., Kuznetcova Yu.P., Ponomarev V.I., Potapkin A.B., Taraskin E.G., Titov A.V., Shilonosov A.O., Baranchikov Yu.N. Obzor sovremenennogo vtorichnogo areala ussurijskogo poligrafa (*Polygraphus proximus* Blandford) na territorii Rossijskoj Federacii// Rossijskij zhurnal biologicheskikh invazij, 2024, no. 1, pp. 49–69. DOI: 10.35885/1996-1499-17-1-49-69

8. Poligraf ussurijskij prodolzhaet rasprostranenie v Krasnoyarskom krae. Centr zashchity lesa Krasnoyarskogo kraja URL: <https://krasnoyarsk.rcfh.ru/presscenter/novosti/poligraf-ussurijskiy-prodolzhaet-rasprostranenie-v-krasnoyarskom-krae> (Data obrashheniya: 7.02.2025)

ussurijskiy-prodolzhaet-rasprostranenie-v-krasnoyarskom-krae (Data obrashheniya: 7.02.2025)

9. National Park "Krasnoyarskiye Stolby. URL: <https://kras-stolby.ru> (Data obrashheniya: 7.03.2025)

10. State report on the state and protection of the environment in the Krasnoyarsk Territory in 2020. Ministry of Ecology and Rational Nature Management of the Krasnoyarsk Territory KGBU "CRMPiOOS" / Ed. Yu.M. Maltsev. Krasnoyarsk, Ministry of Natural Resources, 2021, 337 p. URL: <http://www.mpr.krsksstate.ru/envir/page5849/0/id/70305> (Data obrashheniya: 7.03.2025)

11. Bazhina E.V. Sostoyanie drevostoev pihty sibirskoj (*Abies sibirica*) i raspredelenie himicheskikh elementov po yarusam ee krony v lesnyh ekosistemah OOPT Krasnoyarskogo kraja, Rossiya// Nature Conservation Research. Zapovednaya nauka, 2018, no. 3 (Suppl. 2), pp. 40–53. DOI: 10.24189/ncr.2018.064

12. Rukovodstvo po planirovaniyu, organizaciji i vedeniyu lesopatologicheskikh obsledovanij: Prilozhenie 3 k prikazu Rosleskhoza ot 29.12.2007 no. 523, 74 p.

13. Bolezni i vrediteli v lesah Rossii: spravochnik: v 3 t. T. 3. Metody monitoringa vreditelj i boleznej lesa / pod obshchej red V.K. Tuzova. Moscow: VNIIILM, 2004, 200 p.

14. Ussurijskij poligraf v lesah Sibiri (rasprostranenie, biologiya, ekologiya, vyvaylenie i obsledovanie povrezhdennyh nasazhdjenij). Metodicheskoe posobie/otv. red. S.A. Krivec, Yu.N. Baranchikov. Tomsk-Krasnoyarsk, 2015, 48 p.

15. Kuz'michev E.P., Sokolova E.S., Mozolevs'kaya E.G. Bolezni drevesnyh rastenij. Spravochnik. M: VNIIILM, 2004, 120 p.

16. Aminev P.I., Izmest'ev A.V. O porazhennosti pihtovyh nasazhdjenij Kemerovskoj oblasti rzhavchinym rakom i stvolovoj gnil'yu. V sb.: Nepreryvnoe ekologicheskoe obrazovanie i ekologicheskie problemy. Krasnoyarsk, 2005, vol. 2, pp. 15–21.

17. Bazhina E.V., Aminev P.I. Osobennosti semenoosheniya i morfologii побегов деревьев pihty sibirskoj, porazhennyh rzhavchinnym rakom // Lesnoj zhurnal. 2007, no. 3, pp. 7–13.

18. Ostry M. E., Laflamme and S. A. Katovich. Silvicultural approaches for management of eastern white pine to minimize G.impacts of damaging agents // For. Path., 2010, vol. 40, pp. 332–346. DOI: 10.1111/j.1439-0329.2010.00661.x

19. Tchekakova N.M., Parfenova E.I., Bazhina E.V., Soja A.J., Groisman P.Y. Droughts are not the likely primary cause for *Abies sibirica* and *Pinus sibirica* forest Dieback in the South Siberian Mountains // Forests, 2022, vol. 13, 1378 p. <https://doi.org/10.3390/f13091378>

ON THE VULNERABILITY FACTORS OF SIBERIAN FIR IN RELATION WITH THE INVASION OF THE *POLYGRAPHUS PROXIMUS* BLANDF.

© E.V. Bazhina^{1,2}, P.I. Aminev³

¹ V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Siberian Federal University,
Akademgorodok 50/28, 660036, Krasnoyarsk, Russian Federation

² Siberian Federal University,
79, Svobodnyy prospect, stroenie 5, 660041, Krasnoyarsk, Russian Federation

³ M.F. Reshetnev Siberian State University of Science and Technology,
31, prospekt imeni gazety Krasnoyarskiy rabochiy, 660037, Krasnoyarsk, Russian Federation

The *Abies* ssp. proved to be highly vulnerable to the effects of both abiotic and biotic environmental factors. In the last decade in a number of regions of Siberia, against the background of a violation of homeostasis and a decrease in the stability of forest ecosystems, the drying up of fir stands *Abies sibirica* Ledeb. due to the mass reproduction of the *Polygraphus proximus* Blandf. has become catastrophic. The article presents the results of monitoring the condition of dark coniferous fir stands growing in the spurs of the Eastern Sayan (on the territory of the Krasnoyarsk Rock Pillars National Park) during the period of damage due to the *P. proximus* invasion. The drying of Siberian fir covers a wide range of forest-growing conditions. An assessment of the state of the stands showed that the *P. proximus* invasion led to the death of Siberian fir in the mid-mountain ecosystems, currently all dark coniferous stands in the suburban area are damaged and belong to the category of damaging or severely weakened. The catastrophic fallen of Siberian fir is facilitated by high infestation with rust cancer (*Melampsorella caryophyllolearum* G. Schrot. = *M. cerastii* (Wint.)) and putrefactive diseases (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. sensu stricto (=*Fomitopsis annosa* Karst.), *Phellinus Hartigii* (Allesch. et Schabl.), *Fomitopsis pinicola* (Sw. et Fr.) Karst.). The accumulation of fall occurs from different thickness levels in accordance with the structure of the stand in diameter, not only old-age, but also young fir trees (with a diameter of 12-16 cm) are very actively affected, while some of the fir trees are not damaged. The *P. proximus* destroying trees before entering the age of seed production, can not only lead to the degradation of stands, but also create a local threat to the existence of Siberian fir in mountain forest ecosystems. Taking into account the peculiarities of the reproductive biology of Siberian fir (sufficiently high seed productivity of megastrobiles, abundance and continuity of seed production) these trees can provide natural regeneration.

Keywords: *Abies sibirica* Ledeb., sanitary and forest pathology, *Polygraphus proximus* Blandf., invasion, decay, disease prevalence, rust cancer, stem and root rot.