

БИОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДРЕВЕСИНЫ ЕЛИ СИБИРСКОЙ (*PICEA OBOVATA* LEDEB.) КАК ОТРАЖЕНИЕ ЖИЗНЕННОГО СОСТОЯНИЯ РАСТЕНИЙ

К.Е. Ведерников¹, Е.А. Загребин¹, И.Л. Бухарина¹, П.А. Кузьмин²

¹ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», 426034, г. Ижевск, ул. Университетская, д. 1

²ФГАОУ ВО «Елабужский институт Казанского федерального университета», Елабужский институт, 423604, г. Елабуга, ул. Казанская, д. 89

wke-les@rambler.ru

Представлены материалы по изучению химического состава древесины особей различного жизненного состояния ели сибирской *Picea obovata* Ledeb. в условиях распространения большого елового кородея *Ips typographus* L. Выдвинуто предположение о различии химической структуры древесины у особей ели сибирской в местах массового усыхания, обуславливающей ее заселяемость вредителями. Изучены растения различного жизненного состояния относительно содержания водорастворимых, смолоподобных экстрактивных веществ и танинов. Полученные данные были подвергнуты статистической обработке. По результатам проведенных исследований выявлено, что на общее содержание экстрактивных веществ влияют жизненное состояние особей и условия произрастания, что с ухудшением состояния растений происходит увеличение экстрактивных веществ. Общее увеличение экстрактивных веществ происходит в связи с увеличением группы водорастворимых веществ, а именно танинов. Наибольшее содержание всех групп метаболитов (в т. ч. и танинов) отмечено у особей удовлетворительного жизненного состояния.

Ключевые слова: еловые насаждения, массовое усыхание, экстрактивные вещества, танины, устойчивость

Ссылка для цитирования: Ведерников К.Е., Загребин Е.А., Бухарина И.Л., Кузьмин П.А. Биохимические особенности древесины ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) как отражение жизненного состояния растений // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 1. С. 13–21. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-1-13-21

Еловые древостои образуют вечнозеленые темнохвойные леса в пределах Северного полушария и являются значительным «углеродным пулом». Ухудшение состояния темнохвойных лесов, которое в ряде случаев сопровождается их гибелью — процесс очень динамичный, который охватывает все Северное полушарие, затрагивая все лесообразующие виды [1].

В Российской Федерации основные площади еловых древостоев представлены на севере Восточно-Европейской равнины, где они образуют ландшафт европейской тайги [2].

Причины деградации и высыхания лесов различны. Некоторые авторы связывают повреждение темнохвойных лесов непосредственно с загрязнением окружающей среды. Например, Т. Хласны и З. Ситкова в качестве основных причин деградации лесов в западной части Карпат называют загрязнение воздуха и нарушение их питания [3]. Однако не следует исключать и роль природных стрессовых факторов. Скорее всего, высыхание темнохвойных лесов является результатом сочетания нескольких причин. Например, Н.И. Федоров и др. связывали массовое усыхание ели в лесах Белоруссии с экстремальными засухами, причем этот эффект усиливался вследствие техногенного загрязнения, после чего ослабленные деревья подвергались поражению стволовыми вредителями [4]. Среди ведущих можно выделить такие при-

чины высыхания, как неравномерность осадков, переувлажнение, распространение паразитических грибов, динамику ксилофагов, эдафические условия произрастания [5–7].

Масштабы деградации коренных лесов бореальной зоны свидетельствует о влиянии глобальных изменений, происходящих в биосфере, в том числе и в связи с деятельностью человека [1, 8].

В Европейской части России особую опасность вызывает гибель темнохвойных лесов. Так, в Архангельской обл. наблюдается гибель хвойных с 1997 г., при этом пики приходились на 2004–2005 гг. и 2008–2012 гг. [9]. Этот процесс весьма динамичен и охватывает практически все регионы Европейской части России. Рассеянные очаги усыхания ели встречаются в Ленинградской, Новгородской, Псковской областях и Карелии, отмечены они в Московской, Брянской и Калужской областях [10, 11], а также фиксируются в предгорьях Урала [12]. Эта проблема актуальна и для Удмуртии, где еловые леса доминируют [13].

Цель работы

Цель работы — изучение химического состава древесины особей различного жизненного состояния ели сибирской *Picea obovata* Ledeb. в условиях распространения большого елового кородея *Ips typographus* L.

Материалы и методы исследования

Исследования были проведены на территории Удмуртской Республики площадью — 42,06 тыс. км². Удмуртия расположена в Европейской части РФ в бассейнах рек Камы и Вятки к западу от Уральских гор между параллелями 56°00' и 58°30' с. ш. и меридианами 51°15' и 54°30' в. д. Территория республики вытянута с севера на юг примерно на 320 км, с запада на восток — на 200 км. Значительная вытянутость территории с севера на юг и сложный рельеф обуславливают значительные отличия по показателям температуры и влажности воздуха, ветрового режима, количеству осадков между северной и южной ее частями. Территория Удмуртии расположена в пределах двух ландшафтных зон: таежной (бореальной) и подтаежной (бореально-суббореальной), а также в пределах двух лесорастительных зон: таежной и

хвойно-широколиственных лесов. Зональная граница совпадает с северной границей ареала дуба (*Quercus*) и лещины (*Corylus*), условно ее проводят между населенными пунктами республики Вавож — Нылга — Ижевск-Воткинск [14] (рис. 1).

Для оценки таксационных параметров и состояния еловых насаждений были заложены пробные площади (ПП) размером 100×100 м в трех лесничествах — Завьяловском, Яганском, Можгинском, располагающихся в подтаежной ландшафтной зоне (лесорастительной зоне хвойно-широколиственных лесов). В каждом лесничестве были заложены по три пробные площади. Пробные площади закладывались в насаждениях с преобладанием ели, в местах массового усыхания деревьев, в кисличных типах леса (E_{kc}).

Для определения основных количественных и качественных показателей насаждения применялся перечислительный метод таксации. Диаметр деревьев определяли с помощью мерной вилки, возраст — с помощью возрастного бурава Haglof-350 мм, высоту — с помощью высотомера Forestry Pro Nikon. Таксационные параметры насаждения — средний диаметр, среднюю высоту, средний возраст, полноту, состав определяли по общепринятой методике [15].

По жизненному состоянию деревья подразделили на три группы: 1) хорошего (крона густая или слегка изрежена, хвоя зеленая или светло-зеленая, отдельные ветви засохли); 2) удовлетворительно (крона ажурная; хвоя светло-зеленая матовая; прирост ослабленный, менее половины обычного; усыхание ветвей — до 50 %; наличие на стволе механических повреждений, имеются признаки первичного повреждения ксилофагами и/или дереворазрушающими грибами); 3) неудовлетворительно (усыхание ветвей до 2/3 кроны; крона сильно ажурная; хвоя от желто-зеленой до красно-бурой или отсутствует; рост очень слабый или отсутствует; кора частично опала, есть погибшие особи). Для изучения биохимических особенностей древесины ели в пределах каждой группы отбирали по три особи.

У растений различного жизненного состояния образцы древесины отбирали в осенний период на высоте 0,3 м от корневой шейки дерева. Содержание экстрактивных веществ определяли путем горячей отгонки в аппарате Сокслета: водорастворимые вещества — горячей водой, смолоподобные вещества — спирто-толуольной смесью. Содержание танинов в растворе определяли спектрофотометром ПЭ-5400УФ при длине волны 277 нм [16].

Статистическую обработку результатов исследования проводили с использованием пакета статистических программ Statistica 5.5. Использовались методы кластерного и дисперсионного (метод множественного сравнения LCD-test) анализов.

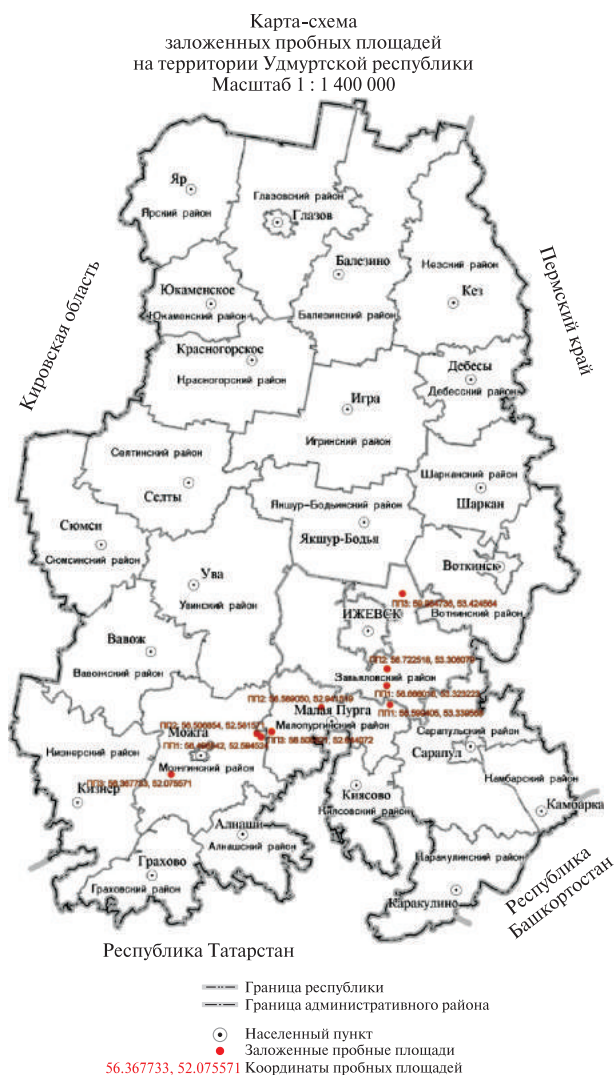


Рис. 1. Карта-схема расположения пробных площадей на территории Удмуртской Республики

Fig. 1. Schematic map of the test plots on the territory of the Udmurt Republic

Результаты исследования

Насаждения на исследуемых ПП характеризуются низкой полнотой (густотой) деревьев основного яруса, абсолютная полнота варьирует от 2,95 до 11,1 м²/га, с большим количеством сухостойных деревьев. Все исследуемые насаждения относятся к средневозрастным (табл. 1).

По данным перечислительной таксации, на всех исследуемых участках отмечен довольно большой запас сухостойной древесины. Ее запас существенно разнится по ПП: 31,1...178,1 м³/га. Таким образом, возрастает риск возникновения и распространения лесных пожаров. На ПП в Яганском лесничестве запас отмершей древесины превышает запас древесины живых деревьев, а в Завьяловском лесничестве на сухостойную древесину приходится более 50 % запаса древесины живых деревьев. Состояние еловых насаждений на ПП в Можгинском лесничестве оказалось лучше по сравнению с насаждениями в других лесничествах. Полнота в насаждении выше, чем на ПП в других лесничествах.

Основной причиной ослабления и гибели ели на территории Удмуртии является изменение

природно-климатических условий, способствующее распространению патогенных организмов, в том числе короеда-типографа (*Ips typographus*) [17]. Это подтверждают и наши исследования. На погибших деревьях выявлены характерные маточные следы ксилофага, кроме ПП1 и ПП3 в Можгинском лесничестве.

Сравнительное исследование химической структуры древесины проводилось различными методами статистической обработки.

Кластерный анализ позволил объединить изучаемые показатели в группы по сходным признакам (параметрам) и показал, что районы исследования по совокупности биохимических параметров подразделяются на два кластера: в первом объединены особи ели неудовлетворительного жизненного состояния, во втором — особи ели хорошего и удовлетворительного жизненного состояния (рис. 2).

Для дальнейшей интерпретации полученных данных нами был использован дисперсионный анализ по перекрестно-иерархической схеме, в которой в качестве факторов выступали место исследования (лесничество и ПП) и состояние растений.

Т а б л и ц а 1

Средние таксационные характеристики насаждений на пробных площадях

Average taxation characteristics of plantings on trial plots

№ пробной площади	Лесничество, участковое лесничество, квартал, выдел	Средний возраст ± ошибка среднего, лет	Средняя высота ± ошибка среднего, м	Средний диаметр (на высоте 1,3 м) ± ошибка среднего, см	Абсолютная полнота		Запас сухостойной древесины, м ³	Состав
					без учета сухостоя, м ² /га	с учетом сухостоя, м ² /га		
1	Завьяловское, Пригородное 78; 3	70 ± 2,3	21 ± 0,6	27,9 ± 0,4	10,7	14,9	67,2	9Е1П+Б
					107,0			260 (47,7)
2	Завьяловское, Пригородное 158; 3	67 ± 3,8	23 ± 0,6	26,0 ± 0,3	11,1	17,9	87,5	9Е1П
					119,9			324 (38,3)
3	Завьяловское, Заречное 66; 18	60 ± 1,8	20 ± 0,8	26,9 ± 0,3	22,0	27,4	48,6	9Е1П+Ос
					198,0			464(25,6)
1	Яганское 115; 8	60 ± 1,7	18 ± 0,5	25,9 ± 0,8	6,0	16,6	93,8	10Е+П
					52,8			252 (50,8)
2	Яганское 214; 8	65 ± 1,6	22 ± 0,3	21,4 ± 0,4	2,95	5,9	31,1	10Е
					30,7			155 (56,1)
3	Яганское 363; 13	60 ± 1,1	18 ± 0,7	20,3 ± 0,2	7,0	15,1	71,5	10Е
					61,6			155 (57,4)
1	Можгинское, Пычасское 70; 24	60 ± 1,6	23 ± 0,6	25,7 ± 0,5	16,6	33,0	178,1	9Е1П+Лп
					178,8			383 (56,7)
2	Можгинское, Пычасское 68; 30	50 ± 1,1	20 ± 0,9	22,6 ± 0,3	15,2	25,5	99,5	9Е1П
					145,7			408 (50,2)
3	Можгинское, Нышинское 35; 12	60 ± 1,5	19 ± 0,5	19,1 ± 0,2	28,8	35,0	57,5	9Е1С+Б
					264,9			456 (20,1)

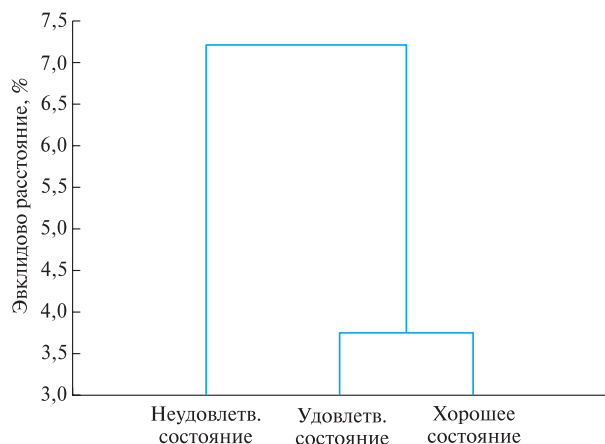


Рис. 2. Результаты кластерного анализа жизненного состояния особей по биохимическим показателям
Fig. 2. Cluster analysis results of the life state by biochemical parameters

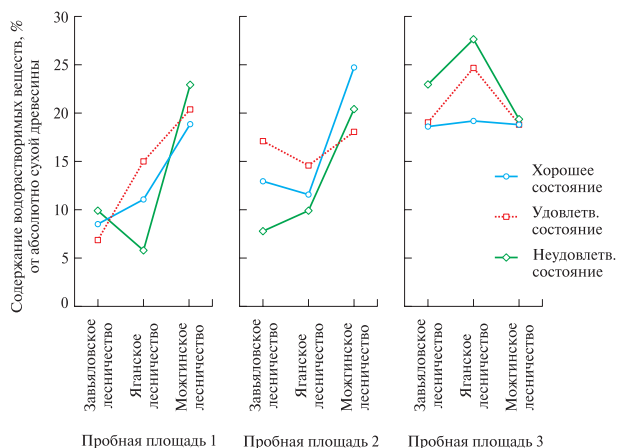


Рис. 3. Общее содержание экстрактивных веществ в древесине при взаимодействии факторов
Fig. 3. The total content of extractives in wood with the interaction of factors

Т а б л и ц а 2

Результаты дисперсионного анализа по общему содержанию экстрактивных веществ в древесине *Picea obovata* Ledeb.
Dispersion analysis for the total content of extractives in *Picea obovata* Ledeb wood

Факторы	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	2	307,51	54	13,66	22,51	<0,05
2	2	438,50	54	13,66	32,10	<0,05
3	2	8,70	54	13,66	0,64	>0,05
1; 2	4	184,41	54	13,66	13,50	<0,05
1; 3	4	23,52	54	13,66	1,72	>0,05
2; 3	4	41,82	54	13,66	3,06	<0,05
1; 2; 3	8	33,19	54	13,66	2,43	<0,05

Примечание.
 1 — лесничества; 2 — пробные площади;
 3 — жизненное состояние растений;
 df Effect — число степеней свободы для суммы квадратов отклонений выборочных средних групп от общего среднего;
 MS Effect — среднее значение суммы квадратов отклонений выборочных средних групп от общего среднего;
 df Error — число степеней свободы для суммы квадратов отклонений результатов наблюдений от выборочных средних групп;
 MS Error — среднее значение суммы квадратов отклонений результатов наблюдений от выборочных средних групп;
 F — выборочное значение F-статистики;
 p-level — вычисленный уровень значимости.

Результаты анализа показали, что на общее содержание экстрактивных веществ в древесине влияют место произрастания (лесничество и ПП) и взаимодействие факторов (лесничества, ПП и жизненное состояние растений) (табл. 2, рис. 3).

По результатам проведенных исследований, вариация экстрактивных веществ наблюдается в широком диапазоне: от 5,82 до 27,67 % а.с.с.

В Можгинском лесничестве вне зависимости от условий произрастания и жизненного состояния особей, статистически достоверных отличий между растениями нет. На наш взгляд, это обусловлено отсутствием реакции особей на раздражителей. В результате натурных обследований на ПП1 и ПП3 не был зафиксирован короед-типограф, а гибель растений в данных насаждениях обусловлена естественным отпадом деревьев. Однако на ПП2 были выявлены участки усыхания ели. Очаг погибающих (погибших) растений представлял собой локально расположенные растения — от 2 до 8 шт. У погибших растений на стволе наблюдались вылетные отверстия насекомых. На ПП2 у растений хорошего жизненного состояния выявлено достоверно более высокое общее содержание экстрактивных веществ по сравнению с особями удовлетворительного и неудовлетворительного жизненного состояния (см. рис. 3).

Определение компонентного состава экстрактивных веществ на фоне неблагоприятных факторов позволяет понять работу иммунного механизма растительного организма. Вещества, экстрагируемые горячей водой — как правило ингибированны в клеточную стенку, а смолоподобные вещества формируются в межклеточном пространстве.

Исследованиями по содержанию смолоподобных веществ в древесине выявлено, что условия произрастания являются значимым фактором ($p < 0,05$), при этом жизненное состояние растений не влияет на содержание этих веществ в древесине ($p > 0,05$), а по содержанию водорастворимых веществ, — что на количественное содержание этой группы существенное влияние

Таблица 3

Результаты дисперсионного анализа по содержанию водорастворимых экстрактивных веществ в древесине *Picea obovata* Ledeb.

Dispersion analysis results for the content of water-soluble extractives in *Picea obovata* Ledeb wood

Факторы	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	2	201,74	54	7,27	27,73	<0,05
2	2	502,29	54	7,27	69,05	<0,05
3	2	9,15	54	7,27	1,26	>0,05
1; 2	4	146,03	54	7,27	20,07	<0,05
1; 3	4	12,153	54	7,27	1,67	>0,05
2; 3	4	32,65	54	7,27	4,49	<0,05
1; 2; 3	8	16,11	54	7,27	2,21	<0,05

оказывают место произрастания (лесничество и ПП) и взаимодействие факторов (лесничества, ПП и жизненное состояние растений) (табл. 3, 4).

Таким образом, изменение содержания общего количества экстрактивных веществ связано с группой водорастворимых экстрактивных веществ (рис. 3, 4).

Водорастворимые экстрактивные вещества — это поли- и моносахариды, пектины, камеди, белки, красители, циклические спирты и танины. Танины, согласно научным публикациям, имеют важное за-

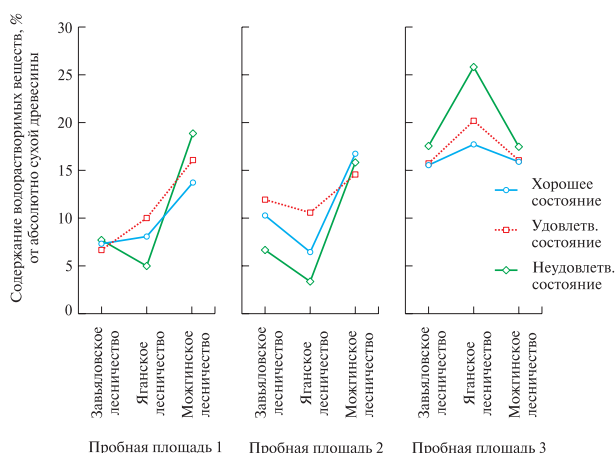


Рис. 4. Содержание водорастворимых экстрактивных веществ в древесине при взаимодействии факторов
Fig. 4. The content of water-soluble extractives in wood with the interaction of factors

щитное значение при воздействии на растения факторов негативного характера [18, 19]. Так согласно научной литературе вещества, ингибированные в клеточную стенку обладают больше защитными свойствами, в сравнении с веществами из межклеточного пространства [20–22].

Результаты проведенных исследований подтверждают ранее опубликованные данные. У деревьев *Picea obivata* Ledeb. наблюдается достоверное отличие по содержанию танинов в древесине в зависимости от жизненного состояния.

Таблица 4

Содержание веществ в древесине ели сибирской (*P. obovata* Ledeb.) различного жизненного состояния по лесничествам Удмуртской Республики (% от абсолютно сухого состояния древесины)

The content of substances in the wood of Siberian spruce (*P. obovata* Ledeb.) of various life states in the forestries of the Udmurt Republic (% of the absolutely dry state of wood)

Наименование веществ	Лесничество, участковое лесничество	Квартал, выдел	Жизненное состояние		
			Хорошее	Удовлетворительное	Неудовлетворительное
Общее содержание экстрактивных веществ	Завьяловское, Пригородное	78; 3	8,41 ± 0,04* 8,24...8,58**	6,78 ± 0,10 6,37...7,19	9,91 ± 1,74 2,43...17,38
		158; 3	12,99 ± 0,18 12,20...13,77	17,04±1,02 12,65...21,42	7,83 ± 1,28 2,32...13,33
	Завьяловское, Заречное	66; 18	18,57 ± 1,25 13,21...23,93	18,91 ± 0,96 14,79...23,03	23,02 ± 3,09 9,74...36,30
		Яганское	115; 8	11,06 ± 0,12 10,53...11,58	14,90 ± 0,21 14,00...15,81
	214; 8		11,57 ± 0,16 10,87...12,27	14,49 ± 2,65 3,10...25,87	9,91 ± 1,74 2,43...17,38
	363;13		19,12 ± 0,73 15,99...22,25	24,62 ± 1,36 18,76...30,48	27,69 ± 5,62 3,50...51,87
	Можгинское, Пычасское	70; 24	18,78 ± 1,88 10,70...26,86	20,30 ± 1,55 13,63...26,96	22,97 ± 1,01 18,62...27,32
		68; 30	24,68 ± 5,73 0,02...49,34	18,07 ± 1,42 11,94...24,20	20,45 ± 2,85 8,19...32,71
	Можгинское, Нышинское	35; 12	18,78 ± 0,66 15,93...21,64	18,80 ± 0,43 16,94...20,65	19,30 ± 3,18 5,60...33,00

Окончание табл. 4

Наименование веществ	Лесничество, участковое лесничество	Квартал, выдел	Жизненное состояние		
			Хорошее	Удовлетворительное	Неудовлетворительное
Водорастворимые вещества	Завьяловское, Пригородное	78; 3	7,20 ± 0,20 6,33...8,07	6,62 ± 0,09 6,22...7,02	7,57 ± 1,58 0,79...14,36
		158; 3	10,25 ± 0,14 9,63...10,87	11,93 ± 0,57 9,48...14,37	6,63 ± 1,26 1,22...12,04
	Завьяловское, Заречное	66; 18	15,57 ± 0,95 11,49...19,65	15,67 ± 1,02 11,29...20,04	17,59 ± 2,25 7,93...27,25
	Яганское	115; 8	7,98 ± 0,57 5,53...10,44	9,98 ± 0,14 9,38...10,59	4,97 ± 0,44 3,09...6,85
		214; 8	6,41 ± 0,09 6,03...6,80	10,60 ± 2,33 0,58...20,62	3,34 ± 0,64 0,57...6,11
		363; 13	17,72 ± 0,33 16,29...19,15 16,29...19,1516,	20,22 ± 2,05 11,42...29,02	25,78 ± 5,62 1,60...49,96
	Можгинское, Пычасское	70; 24	13,65 ± 2,16 4,37...22,93	16,04 ± 1,31 10,39...21,69	18,92 ± 1,18 13,86...23,98
		68; 30	16,72 ± 0,33 15,29...18,15	14,61 ± 0,09 14,21...15,01	15,85 ± 0,93 11,86...19,84
	Можгинское, Нышинское	35; 12	15,83 ± 0,06 15,59...16,08	15,98 ± 0,83 12,42...19,55	17,45 ± 1,53 10,87...24,03
	Танины	Завьяловское, Пригородное	78; 3	6,63 ± 0,33 5,23...8,03	5,83 ± 0,08 5,48...6,18
158; 3			6,06 ± 0,09 5,69...6,43	5,39 ± 0,10 4,96...5,82	4,09 ± 0,57 1,63...6,55
Завьяловское, Заречное		66; 18	3,91 ± 0,54 1,57...6,25	3,09 ± 0,27 1,92...4,26	1,91 ± 0,29 0,65...3,17
Яганское		115; 8	6,48 ± 0,23 5,50...7,45	6,72 ± 0,09 6,31...7,13	3,30 ± 0,45 1,35...5,25
		214; 8	5,16 ± 0,07 4,85...5,47	7,78 ± 1,85 -0,19...15,74	2,45 ± 0,31 1,13...3,77
		363; 13	5,48 ± 0,67 2,62...8,34	12,53 ± 2,06 3,66...21,39	6,09 ± 3,64 -9,55...21,74
Можгинское, Пычасское		70; 24	7,28 ± 1,58 0,50...14,06	5,12 ± 1,29 -0,42...10,66	5,48 ± 0,62 2,83...8,13
		68; 30	8,01 ± 1,35 2,21...13,82	9,04 ± 2,82 -3,09...21,17	6,11 ± 0,92 2,16...10,06
Можгинское, Нышинское		35; 12	8,30 ± 1,19 3,17...13,43	8,89 ± 2,29 -0,94...18,73	7,44 ± 2,82 -4,71...19,59
Смолосодержащие вещества		Завьяловское, Пригородное	78; 3	1,21 ± 0,24 0,17...2,25	0,16 ± 0,00 0,14...0,17
	158; 3		2,74 ± 0,04 2,58...2,90	5,11 ± 1,59 -1,72...11,94	1,20 ± 0,27 0,01...2,38
	Завьяловское, Заречное	66; 18	3,00 ± 0,50 0,57...5,14	3,25 ± 0,81 -0,24...6,74	5,43 ± 1,62 -1,56...12,41
	Яганское	115; 8	3,07 ± 0,48 1,00...5,14	4,92 ± 0,07 4,62...5,22	0,85 ± 0,22 -0,08...1,78
		214; 8	5,16 ± 0,07 4,85...5,47	3,89 ± 0,44 2,01...5,76	2,28 ± 0,41 0,52...4,05
		363; 13	1,39 ± 0,41 -0,39...3,17	4,40 ± 0,80 0,98...7,82	1,91 ± 0,02 1,83...1,98
	Можгинское, Пычасское	70; 24	5,13 ± 3,93 -11,77...22,03	4,26 ± 0,85 0,60...7,91	4,05 ± 0,19 3,25...4,84
		68; 30	7,96 ± 5,72 -16,66...32,58	3,45 ± 1,51 -3,06...9,96	4,60 ± 2,44 -5,91...15,10
	Можгинское, Нышинское	35; 12	2,95 ± 0,66 0,13...5,77	2,81 ± 1,11 -1,96...7,59	1,84 ± 1,66 -5,31...9,00

Примечание. * среднее ± ошибка среднего, ** доверительный интервал для среднего значения при $p < 0,05$

У растений хорошего и удовлетворительного состояния содержание танинов достоверно больше, чем у растений неудовлетворительного состояния (рис. 5).

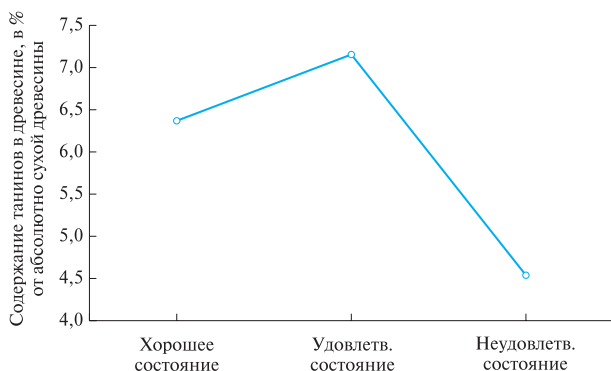


Рис. 5. Содержание танинов в древесине *Picea obiovata* Ledeb. в зависимости от жизненного состояния

Fig. 5. The content of tannins in the wood of *Picea obiovata* Ledeb. depending on the life state

Однако у растений удовлетворительного жизненного состояния отмечены значительные колебания по содержанию экстрактивных веществ, что может отражать нарушение иммунной системы растительного организма (см. табл. 4).

Выводы

Полученные результаты позволили выявить следующие закономерности. На общее содержание экстрактивных веществ влияют жизненное состояние особей и условия произрастания. Увеличение содержания общих экстрактивных веществ происходит в связи увеличением содержания группы водорастворимых экстрактивных веществ. Очевидно, установленное усиление процессов образования веществ данной группы (в отличие от смолоподобных) обусловлено повышением содержания танинов и является одной из стратегий метаболической защиты ели от поражения ксилофагами.

Наибольшее содержание всех групп метаболитов (в том числе танинов) отмечено у особей удовлетворительного жизненного состояния. Деревья ели сибирской имеют признаки усыхания и иные патологии ствола и кроны, тем не менее повышенное содержание экстрактивных веществ в ее древесине способствует функционированию механизмов защиты. В то же время значительное варьирование изучаемых биохимических показателей у этих деревьев, может свидетельствовать о возможном нарушении гомеостатических механизмов.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 19-04-00353 А.

Список литературы

[1] Jose F. Negron Biological Aspects of Mountain Spruce Beetle in Lodgepole Spruce Stands of Different Densities

in Colorado // USA Forests, 2019, no. 10(1), p. 18. URL: <https://doi.org/10.3390/f10010018>

- [2] Теринов Н.Н., Андреева Е.М., Залесов С.В., Луганский Н.А., Магасумова А.Г. Восстановление еловых лесов: теория, отечественный опыт и методы решения // ИВУЗ Лесной журнал, 2020. № 3. С. 9–23. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-3-9-23.
- [3] Hlasny T., Grodzki W., Šramek V., Holusa J., Kulla L., Sitkova Z., Turcani M., Raczka G., Strzelinski P., Wegiel A. Spruce forest decline in the Beskids / Eds. Hlasny T., Sitkova Z. Zvolen: National Forest Centre-Forest Research Institute Zvolen, Czech University of Life Sciences Prague, Forestry and Game Management Research Institute Jiloviště-Strnady, 2010, p. 182.
- [4] Федоров Н.И., Сарнацкий В.В. Причинно-следственные связи массового усыхания ельников Беларуси в 1993–1998 годы // Лес XXI века: тез. докладов Междунар. практ. конф. Брянск 20–24 октября 2005 г., Брянск: БГТУ, 2005. С. 58.
- [5] Любарский Л.В. Санитарное состояние лесов Дальнего Востока и пути их оздоровления // Вопросы развития лесного хозяйства и лесной промышленности Дальнего Востока. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1955. 175 с.
- [6] Черненко Т.В., Бочкарев Ю.Н. Динамика еловых насаждений Кольского Севера в условиях воздействия природно-антропогенных факторов среды // Журнал общей биологии, 2013. Т. 74. № 4. С. 283–303.
- [7] Пукинская М.Ю. К методике изучения естественных нарушений в еловых лесах по дендрохронограммам // Ботанический журнал, 2014. Т. 99. № 6. С. 690–701.
- [8] Lohmander P. Optimal principles of forest management with consideration of global warming // Леса Евразии — Леса Поволжья: Материалы XVII Междунар. конф. молодых ученых, посвященной 150-летию со дня рождения профессора Г.Ф. Морозова, 95-летию Казанского государственного аграрного университета и Году экологии в России, 22–28 октября 2017 г. М.: Маска, 2017. С. 73–45.
- [9] Об утверждении Лесного плана Архангельской области. Указ Губернатора Архангельской области от 14.12.2018 г. №116-у. С. 44–45. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/2900201812190003> (дата обращения 21.04.2020).
- [10] Жигунов А.В., Семакова Т.А., Шабунин Д.А. Массовое усыхание лесов на Северо-Западе России // Материалы науч. конф., посвященной 50-летию Института леса Карельского научного центра РАН, 3–5 октября 2007 г. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. С. 42–52.
- [11] Алябьев А.Ф. Усыхание ельников Подмосковья // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2013. № 6 (98). С. 159–166.
- [12] Иванчина Л.А., Залесов С.В. Влияние типа леса на устойчивость еловых древостоев Прикамья // Пермский аграрный вестник, 2017. № 1 (17). С. 38–43.
- [13] Ведерников К.Е., Бухарина И.Л., Загребин Е.А. Динамика площади еловых насаждений в Удмуртской Республике // Современные условия взаимодействия науки и техники: сб. статей Всерос. науч.-практ. конф., г. Тюмень, 5 апреля 2019 г. В 2 ч. Ч. 2. Уфа: Omega Scientific, 2019. С. 77–81.
- [14] География Удмуртии: природные условия и ресурсы / под ред. И.И. Рысина. Ижевск: Изд. дом «Удмуртский университет», 2009. Ч. 1. 256 с.
- [15] Ушаков А.И. Лесная таксация и лесоустройство. М.: МГУЛ, 1997. 176 с.
- [16] Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонич А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. М.: Экология, 1991. 320 с.
- [17] Вахрашев К.В., Абсалямов Р.Р. Лесной комплекс Удмуртской Республики: состояние, проблемы, перспективы развития лесных отношений // Леса Евразии — Леса Поволжья: Материалы XVII Междунар. конф. молодых ученых, посвященной 150-летию со дня

- рождения профессора Г.Ф. Морозова, 95-летию Казанского государственного аграрного университета и Году экологии в России, 22–28 октября 2017 г. М.: Маска, 2017. С. 34–38.
- [18] Фуксман И.Л., Новицкая Л.Л., Исидоров В.А. Фенольные соединения хвойных деревьев в условиях стресса // Лесоведение, 2005. № 3. С. 4–10, 13.
- [19] Schofield J.A., Hagerman A.E., Harold A. Loss of tannins and other phenolics from willow leaf litter // J. Chem. Ecol., 1998, v. 24, pp. 1409–1421.
- [20] Hillis W.E. Heartwood and tree exudates. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1987, 268 p.
- [21] Kleist G.D.U. Schmitt Evidence of accessory compounds in vessel walls of Sapelli heartwood (*Entandrophragma cylindricam*) obtained by transmission electron microscopy // Holz Roh Werkst, 1999, no. 57, pp. 93–95.
- [22] Srinivasan U., Ung T., Taylor A., Cooper P. Natural durability and waterborne treatability of tamarack // Forest Prod. J., 1999, no. 49(1), pp. 82–87.

Сведения об авторах

Ведерников Константин Евгеньевич — канд. биол. наук, доцент кафедры инженерной защиты окружающей среды, ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», wke-les@rambler.ru

Загребин Егор Александрович — ассистент кафедры инженерной защиты окружающей среды, ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», i.am.yeti@yandex.ru

Бухарина Ирина Леонидовна — д-р биол. наук, зав. кафедрой инженерной защиты окружающей среды, ФГБОУ ВО Удмуртский государственный университет, buharin@udmlink.ru

Кузьмин Петр Анатольевич — канд. с-х наук, доцент кафедры биологии и химии, ФГАОУ ВО «Елабужский институт Казанского федерального университета», petrkuzman84@yandex.ru

Поступила в редакцию 05.10.2020.

Принята к публикации 16.11.2020.

PICEA OBOVATA LEDEB. WOOD BIOCHEMICAL CHARACTERISTICS AS STATE OF PLANTS

K.E. Vedernikov¹, E.A. Zagrebin¹, I.L. Bukharina¹, P.A. Kuzmin²

¹Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Udmurt State University»

²Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kazan (Volga region) Federal University, Yelabuga Institute»

wke-les@rambler.ru

The process of forest destruction is very dynamic and covers the entire boreal zone of the Northern hemisphere. Against the background of deterioration of the sanitary condition of plantings, pathogenic organisms are activated. The article presents materials on the study of the chemical composition of wood of individuals of different life States of *Picea obovata* Ledeb. In the context of IPS typographus L. distribution It is suggested that there is a difference in the chemical structure of wood in individuals of Siberian spruce in places of mass drying, which affects the population of pests. Plants of various life States were studied for the content of water-soluble, resin-like extractives and tannins. The obtained data were subjected to statistical processing. The results of the research revealed that the overall content of extractive substances is influenced by the vital state of individuals and growing conditions. It was found that with the deterioration of the plant condition, there is an increase in extractive substances. The overall increase in extractive substances occurs due to an increase in the group of water-soluble substances, namely tannins. The highest content of all groups of metabolites (including tannins) was observed in individuals of a satisfactory life condition.

Keywords: spruce stands, mass drying, extractive substances, tannins, stability

Suggested citation: Vedernikov K.E., Zagrebin E.A., Bukharina I.L., Kuzmin P.A. *Biokhimicheskie osobennosti drevesiny eli sibirskoy (Picea obovata Ledeb.) kak otrazhenie zhiznennogo sostoyaniya rasteniy [Picea obovata Ledeb. wood biochemical characteristics as state of plants]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2021, vol. 25, no. 1, pp. 13–21. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-1-13-21*

References

- [1] Jose F. Negron Biological Aspects of Mountain Spruce Beetle in Lodgepole Spruce Stands of Different Densities in Colorado. USA Forests, 2019, no. 10(1), p. 18. URL: <https://doi.org/10.3390/f10010018>
- [2] Terinov N.N., Andreev E.M., Zalesov S.V., Lugansk N.A. Magzumova A.G. *Vosstanovlenie elovykh lesov: teoriya, otechestvennyj opyt i metody resheniya* [Restoration of spruce forests: theory, domestic experience and methods of solution] Lesnoy Zhurnal [Russian Forestry Journal], 2020, no. 3, pp. 9–23. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-3-9-23
- [3] Hlasny T., Grodzki W., Šramek V., Holusa J., Kulla L., Sitkova Z., Turcani M., Raczka G., Strzelinski P., Wegiel A. Spruce forest decline in the Beskids / Eds. Hlasny T., Sitkova Z. Zvolen: National Forest Centre-Forest Research Institute Zvolen, Czech University of Life Sciences Prague, Forestry and Game Management Research Institute Jiloviště-Strnady, 2010, p. 182.
- [4] Fedorov N. I., Sarnatsky V. V. *Prichinno-sledstvennyye svyazi massovogo usyhanija el'nikov Belarusi v 1993–1998 gody* [Cause-and-effect relationships of mass drying of spruce forests in Belarus in 1993–1998]. Les XXI veka: tezisy dokladov Mezhdunar. prakt. konf. [Forest of the XXI century: abstracts of the international practical conference] Bryansk 20–24 October 2005. Bryansk: BSTU, 2005, p. 58.

- [5] Lyubarskiy L.V. Sanitarnoe sostoyanie lesov Dal'nego Vostoka i puti ikh ozdorovleniya [Sanitary condition of the forests of the Far East and ways to improve them]. *Voprosy razvitiya lesnogo khozyaystva i lesnoy promyshlennosti Dal'nego Vostoka* [Questions of development of forestry and forest industry of the Far East]. Moscow-Leningrad: USSR Academy of Sciences, 1955, 175 p.
- [6] Chernen'kova T.V., Bochkarev Yu.N. *Dinamika elovykh nasazhdeniy kol'skogo severa v usloviyakh vozdeystviya prirodno-antropogennykh faktorov sredi* [Dynamics of spruce stands in the Kola North under the influence of natural and anthropogenic environmental factors]. *Zhurnal obshchey biologii* [Journal of General biology], 2013, vol. 74, no. 4, pp. 283–303.
- [7] Pukinskaya M.Yu. *K metodike izucheniya estestvennykh narusheniy v elovykh lesakh po dendrokronogrammam* [The methodology for the study of natural disturbances in the spruce forests on dendrochronology]. *Botanicheskiy zhurnal*, 2014, vol. 99, no. 6, pp. 690–701.
- [8] Lohmander P. Optimal principles of forest management with consideration of global warming. *Lesy Evrazii — Lesy Povolzh'ya: Materialy XVII Mezhdunarodnoy konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchennoy 150-letiyu so dnya rozhdeniya professora G.F. Morozova, 95-letiyu Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta i Godu ekologii v Rossii* [Forests of Eurasia — Forests of the Volga region: Materials of the XVII International conference of young scientists dedicated to the 150th anniversary of the birth of Professor G.F. Morozov, the 95-th anniversary of the Kazan state agrarian University and the Year of ecology in Russia]. Moscow: Mask, 2017, pp. 73–45.
- [9] Ob utverzhdenii Lesnogo plana Arkhangel'skoy oblasti. Ukaz Gubernatora Arkhangel'skoy oblasti ot 14.12.2018 g. №116-u [About the approval of the Forest plan of the Arkhangel'sk region. Decree of the Governor of the Arkhangel'sk region from 14.12.2018 № 116-u], pp. 44–45. Available at: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/2900201812190003> (accessed 21.04.2020).
- [10] Zhigunov A.V., Semakova T.A., Shabunin D.A. *Massovoe usykhaniye lesov na Severo-Zapade Rossii* [Mass shrinking of forests in the North-West of Russia] *Materialy nauchnoy konferentsii, posvyashchennoy 50-letiyu Instituta lesa Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN* [Materials of the scientific conference dedicated to the 50th anniversary of the forest Institute of the Karelian scientific center of the Russian Academy of Sciences] 3–5 Oktober 2007. Petrozavodsk: Karnts RAS, 2007, pp. 42–52.
- [11] Alyab'ev A.F. *Usykhaniye el'nikov Podmoskov'ya* [Shrinking of spruce forests in the Moscow region]. *Bulletin of the Moscow state University of forest — Forest Bulletin*, 2013, no. 6 (98), pp. 159–166.
- [12] Ivanchina L.A., Zalesov S.V. Vliyaniye tipa lesa na ustoychivost' elovykh drevostoev Prikam'ya [Influence of the forest type on the stability of spruce stands in the Kama region.] *Permskiy agrarnyy vestnik* [Perm agricultural Bulletin], 2017, no. 1 (17), pp. 38–43.
- [13] Vedernikov K.E., Bukharina I.L., Zagrebin E.A. *Dinamika ploshchadi elovykh nasazhdeniy v Udmurtskoy Respublike* [Dynamics of the area of spruce stands in the Udmurt Republic]. *Sovremennyye usloviya vzaimodeystviya nauki i tekhniki: sbornik statey Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Modern conditions of interaction between science and technology: collection of articles of the all-Russian scientific and practical conference]. In 2 v. ch. 2. Ufa: Omega Scienic, 2019, pp. 77–81.
- [14] *Geografiya Udmurtii: prirodnye usloviya i resursy* [Udmurt Republic geography: natural conditions and resources]. Ed. I.I. Rysin. Izhevsk: «Udmurt University» publishing house, 2009, part. 1, 256 p.
- [15] Ushakov A.I. *Lesnaya taksatsiya i lesoustroystvo* [Forest taxation and forest management]. Moscow: MSFU, 1997, 176 p.
- [16] Obolenskaya A.V., El'nitskaya Z.P., Leonovich A.A. *Laboratornyye raboty po khimii drevesiny i tsellyulozy* [Laboratory work on the chemistry of wood and cellulose]. Moscow: Ecology, 1991, 320 p.
- [17] Vakhrashev K.V., Absalyamov R.R. *Lesnoy kompleks Udmurtskoy Respubliki: sostoyaniye, problemy, perspektivy razvitiya lesnykh otnosheniy* [Forest complex of the Udmurt Republic: state, problems and prospects of development of forest relations] *Lesy Evrazii — Lesy Povolzh'ya: Materialy XVII Mezhdunarodnoy konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchennoy 150-letiyu so dnya rozhdeniya professora G.F. Morozova, 95-letiyu Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta i Godu ekologii v Rossii* [Forests of Eurasia — Forests of the Volga region: Materials of the XVII International conference of young scientists dedicated to the 150th anniversary of the birth of Professor G.F. Morozov, the 95th anniversary of the Kazan state agrarian University and the Year of ecology in Russia]. Moscow: Mask, 2017, pp. 34–38.
- [18] Fuksman I.L., Novitskaya L.L., Isidorov V.A. *Fenol'nye soedineniya khvoynykh derev'ev v usloviyakh stressa* [Phenolic compounds of coniferous trees under stress]. *Lesovedeniye* [Forest science], 2005, no. 3, pp. 4–10, 13.
- [19] Schofield J.A., Hagerman A.E., Harold A. Loss of tannins and other phenolics from willow leaf litter. *J. Chem. Ecol.*, 1998, v. 24, pp. 1409–1421.
- [20] Hillis W.E. *Heartwood and tree exudates*. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1987, 268 p.
- [21] Kleist G.D.U. Schmitt Evidence of accessory compounds in vessel walls of Sapelli heartwood (Entandrophragma cylindricum) obtained by transmission electron microscopy. *Holz Roh Werkst*, 1999, no. 57, pp. 93–95.
- [22] Srinivasan U., Ung T., Taylor A., Cooper P. Natural durability and waterborne treatability of tamarack. *Forest Prod. J.*, 1999, no. 49(1), pp. 82–87.

Authors' information

Vedernikov Konstantin Evgen'evich — Cand. Sci. (Biology), Associate Professor of the Department of environmental engineering of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Udmurt State University», wke-les@rambler.ru

Zagrebin Egor Aleksandrovich — Assistant of the Department of environmental engineering of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Udmurt State University», i.am.yeti@yandex.ru

Bukharina Irina Leonidovna — Dr. Sci. (Biology), Head of the Department of environmental engineering of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Udmurt State University», buharin@udmlink.ru

Kuz'min Petr Anatol'evich — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Department of biology and chemistry of the Federal state Autonomous educational institution of Higher Education Kazan (Volga region) Federal University, Elabuga Institute, petrkuzmin84@yandex.ru

Received 05.10.2020.

Accepted for publication 16.11.2020.