

УДК 615.322

<https://www.doi.org/10.34907/JPQAI.2026.20.23.003>

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИНВАЗИИ ПИХТЫ СИБИРСКОЙ УССУРИЙСКИМ ПОЛИГРАФОМ (*POLYGRAPHUS PROXIMUS BLANDFORD*) НА КАЧЕСТВО ДРЕВЕСНОЙ ЗЕЛЕНИ

Д.К. Гуляев, канд. фарм. наук, доцент кафедры фармакогнозии ФГБУ ВО «Пермская государственная фармацевтическая академия» (ПГФА) Минздрава России, г. Пермь

dkg2014@mail.ru

П.С. Мащенко, канд. фарм. наук, доцент кафедры токсикологической химии ФГБУ ВО «Пермская государственная фармацевтическая академия» (ПГФА) Минздрава России, г. Пермь

petlya11@mail.ru

В.Д. Белоногова, доктор фарм. наук, заведующий кафедрой фармакогнозии ФГБУ ВО «Пермская государственная фармацевтическая академия» (ПГФА) Минздрава России, г. Пермь

belonogovavd@yandex.ru

Проблема распространения уссурийского полиграфа коснулась большинства регионов России. Широкое распространение жука оказывает существенное влияние на сырьевую базу древесной зелени пихты сибирской, которую заготавливают для получения эфирного масла и некоторых лекарственных средств. Работа посвящена исследованию влияния инвазии уссурийским полиграфом на химический состав древесной зелени пихты сибирской, находящейся на ранних стадиях поражения. Для исследования заготовили образцы древесной зелени с пораженных жуком деревьев и здоровых деревьев в пределах одной заросли с двух разных популяций пихты сибирской. В результате исследования установлено, что наблюдаются различия между пораженными и здоровыми деревьями только в содержании эфирного масла, а компонентный состав остается характерным. Наблюдается увеличение содержания и фенольных соединений в древесной зелени пораженных жуком деревьев.

Ключевые слова: уссурийский полиграф, инвазия, пихта сибирская, эфирное масло, фенольные соединения

В последние годы проблема инвазии пихты сибирской уссурийским полиграфом приобрела особенную актуальность. Если раньше эта проблема касалась исключительно Дальнего Востока, то сейчас большинство регионов России столкнулись с проблемой распространения уссурийского полиграфа. При поражении деревьев наблюдаются натёки смолы, входные и вылетные отверстия

от жука, некроз участков луба, изменение окраски хвои [1].

На Дальнем Востоке основными кормовыми деревьями являются пихта белокорая – *abies nephrolepis* (Trautv.) Maxim., пихта цельнолистная – *abies sachalinensis* (F. Schmidt) Mast. и другие. Уссурийский полиграф не приносил значительного вреда при обитании на своих исходных видах (кормовых хозяевах), но в районах инвазии проявил себя как наиболее агрессивный вредитель для популяций пихты сибирской. В своем естественном ареале обитания уссурийский полиграф поражает в основном ослабленные и больные деревья. Скорость распространения уссурийского полиграфа значительно выше в лесах, образованных пихтой сибирской, в сравнении с дальневосточными видами пихт. Эта особенность может быть связана с относительно слабой развитостью и менее плотной упаковкой склерееид в тканях луба пихты сибирской, что облегчает внедрение жука-полиграфа [1,2].

При этом некоторые исследования говорят о неполном уничтожении зарослей пихты сибирской. В пораженных насаждениях уссурийский полиграф уничтожает от 30 до 95% деревьев. Некоторым деревьям в пораженных зарослях все же удается выжить [3]. Жук-полиграф оказывает существенное влияние не только на популяции пихты сибирской, но также активно вытесняет из привычного ареала других насекомых – дендрофагов пихты сибирской [4].

Основным методом борьбы с распространением уссурийского полиграфа является рубка

пораженных жуком деревьев с последующей обработкой срубленных стволов инсектицидами. Такие рубки открывают огромный источник сырья. Если при исследовании будет установлено увеличение содержания той или иной группы БАВ, это будет повышать потенциальную привлекательность данного сырья. Таким образом, сырье, взятое после профилактических рубок, может получить возможность дальнейшего использования.

Интерес представляют исследования содержания фенольных соединений. В литературе встречаются данные о стимуляции синтеза фенольных соединений растением на фоне повреждения вредителями. При нападении жука-короеда (*Ips typographus*) наблюдается увеличение размеров клеток паренхимы флоэмы и увеличение содержания некоторых стильбенов, особенно астрингина [5]. Приводятся данные о влиянии на содержание стильбенов в коре *Picea abies* трехпалого дятла (*Picoides tridactylus*). Дятел использует в весенний период сок коры ели для подкормки во время гнездования. При этом в коре деревьев, подвергшихся воздействию трехпалого дятла, достоверно увеличивается содержание стильбеновых гликозидов в сравнении с деревьями контрольной группы [6].

Цель исследования – определение влияния инвазии уссурийским полиграфом на химический состав древесной зелени пихты сибирской.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объектов исследования использовали образцы древесной зелени пихты сибирской, заготовленные в августе 2023 года на территории Чусовского городского округа Пермского края, и в августе 2024 года на территории Ильинского городского округа Пермского края. Заготовку образцов проводили с пораженных жуком деревьев и здоровых деревьев в пределах одной заросли. Пораженными считались деревья со следами входа и отлета жука-полиграфа, обильными натеками смолы на стволе и измененной окраской хвои. Заготовку образцов проводили с живых деревьев, деревья со значительным поражением и погибшие в эксперимент не включались.

Для исследования эфирного масла использовали свежее сырье. Для определения содержания суммы фенольных соединений заготовленную древесную зелень высушивали воздушно-теньевым способом.

Определение содержания эфирного масла проводили в соответствии с ОФС.1.5.3.0010.15 «Определение содержания эфирного масла в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах» по методике 2 с использованием аппарата Клевенджера.

Эфирное масло получали гидродистилляцией измельченных образцов древесной зелени пихты сибирской с помощью аппарата Клевенджера. Для хроматографического исследования эфирное масло отбирали из приемника одноразовым шприцем и запаивали в ампулы.

Хроматографирование проводилось в следующих условиях: газовый хроматограф Agilent 7890A с масс-спектрометром Agilent 5975C; колонка неполярная HP-5ms (30 м, 0,25 мм, 0,25 мкм); ионизация осуществлялась методом электронного удара; скорость потока газа-носителя (гелий) 1 мл/мин.; объем вводимой пробы 1 мкл, деление потока 1:30; температура испарителя 280°C; температура колонки программируемая: 2 мин. 100°C, затем со скоростью 20°C/мин поднималась до 290°C и выдерживалась 25 мин.; регистрацию масс-спектров проводили по полному ионному току, сканируемый диапазон масс 40–450 m/z. Идентификацию компонентного состава проводили путем сравнения полученных на хроматограммах масс-спектров с библиотечными масс-спектрами путем автоматического поиска с использованием литературных данных (для идентификации изомеров); используемая библиотека – NIST11. Компоненты считались идентифицированными, если определялись по библиотеке с вероятностью более 90%.

Определение суммарного содержания фенольных соединений проводили спектрофотометрическим методом с использованием реактива Фолина – Чокалтеу. Метод основан на передаче электронов в щелочной среде от фенольных соединений до комплексов фосфомолибдиновой кислоты с образованием синих комплексов, которые определяются спектрофотометрически при приблизительно 760 нм [7].

Статистическая обработка полученных результатов исследования проводилась с помощью программы Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе исследования определили содержание эфирного масла в древесной зелени пихты сибирской, пораженной уссурийским

Таблица 1

СОДЕРЖАНИЕ ЭФИРНОГО МАСЛА В ДРЕВЕСНОЙ ЗЕЛЕНИ ПИХТЫ СИБИРСКОЙ, ЗАГОТОВЛЕННОЙ С ПОРАЖЕННЫХ И ЗДОРОВЫХ ДЕРЕВЬЕВ

Место заготовки	Показатель	Пихты, пораженные жуком			Контроль (здоровое растение)
		Пихта № 1	Пихта № 2	Пихта № 3	
Чусовской городской округ	Содержание эфирного масла, %	2,49	3,84	3,32	2,78±0,1
	Среднее содержание, %	3,22±0,68			
Ильинский городской округ	Содержание эфирного масла, %	4,59	4,05	3,91	3,62±0,11
	Среднее содержание, %	4,18±0,36			

полиграфом, и здоровой пихты, произрастающей в пределах изучаемой заросли.

Содержание эфирного масла в древесной зелени образцов пихт, пораженных жуком, оказалось выше, чем в древесной зелени, заготовленной с дерева, не подвергшегося инвазии уссурийского полиграфа (**табл. 1**). Это может указывать на защитную реакцию дерева в ответ на воздействие жука.

Установленная разница в содержании эфирного масла в древесной зелени поврежденных жуком и здоровых деревьев указывает на необходимость исследования компонентного состава эфирного масла. Компонентный состав определяли с помощью хромато-масс-спектрометрии. Результаты исследования представлены в **табл. 2**.

Компонентный состав эфирного масла образцов древесной зелени пихты сибирской,

Таблица 2

КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ ЭФИРНОГО МАСЛА ДРЕВЕСНОЙ ЗЕЛЕНИ ПИХТЫ СИБИРСКОЙ, ЗАГОТОВЛЕННОЙ С ПОРАЖЕННЫХ И ЗДОРОВЫХ ДЕРЕВЬЕВ В ЧУСОВСКОМ ГОРОДСКОМ ОКРУГЕ

Компонент эфирного масла	Время удерживания, мин.	Образцы			Контроль (здоровое растение)
		Пихты, пораженные жуком			
		№ 1	№ 2	№ 3	
Δ ³ -Карен	2,763	9,21	11,68	8,97	14,58
D-Лимонен	2,891	0,00	0,00	6,55	0,00
β-Фелладрен	2,902	6,52	8,37	0,00	8,94
4-Карен	3,357	0,94	1,28	0,00	1,62
Эндо-борнеол	4,027	8,32	3,52	7,53	4,81
Борнил ацетат	5,001	67,64	67,3	69,71	62,41
Кариофиллен	6,032	2,15	2,46	2,41	2,51
Гумуллен	6,266	1,26	1,44	1,37	1,57
α-Фарнезен	6,749	1,01	1,08	0,00	1,05
α-Бисаболол	7,804	1,84	1,87	2,58	1,77
Лонгифолен	5,957	0,00	0,00	0,00	0,79

подвергшейся инвазии уссурийским полиграфом, не имеет существенных отличий от компонентного состава эфирного масла здорового дерева, произрастающего в пределах пораженной заросли (табл. 2). Основным компонентом эфирного масла во всех образцах является борнилацетат, и его доля не отличается от содержания в эфирном масле здорового дерева. Следует отметить небольшое снижение содержания 3-карена в эфирном масле пораженных деревьев.

Таким образом, состав эфирного масла образцов древесной зелени пихты сибирской, подвергшейся инвазии уссурийским полиграфом, является абсолютно характерным и соответствует компонентному составу здоровых деревьев пихты сибирской. Наблюдаются различия только в содержании эфирного масла, но с точки зрения промышленного использования сырья это будет являться положительным моментом.

Основным компонентом эфирного масла древесной зелени пихты сибирской, заготовленной от здорового растения и растений, пораженных уссурийским жуком-полиграфом, является борнилацетат (табл. 3). Присутствие основного компонента указывает на то, что эфирное масло от пораженных жуком деревьев будет сохранять свои свойства и пригодно для использования.

Как и в образцах эфирного масла пораженных жуком деревьев из Чусовского района, наблюдается уменьшение содержания Δ^3 -карена. В эфирном масле древесной зелени пихты № 3 содержание Δ^3 -карена близко к содержанию в эфирном масле здорового дерева, что может указывать на начальную стадию поражения или особенности реакции растения на инвазию жуком.

Содержание суммы фенольных соединений в растениях может изменяться под влиянием некоторых вредителей. Это указывает на необходимость

Таблица 3

КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ ЭФИРНОГО МАСЛА ДРЕВЕСНОЙ ЗЕЛЕНИ ПИХТЫ СИБИРСКОЙ, ЗАГОТОВЛЕННОЙ С ПОРАЖЕННЫХ И ЗДОРОВЫХ ДЕРЕВЬЕВ В ИЛЬИНСКОМ ГОРОДСКОМ ОКРУГЕ

Компонент эфирного масла	Время удерживания, мин.	Образцы				Контроль (здоровое растение)
		Пихты, пораженные жуком				
		№ 1	№ 2	№ 3		
Δ^3 -Карен	2,748	7,48	4,02	11,7	10,7	
D-Лимонен	2,879	9,85	0,00	0,00	0,00	
Гамма-терпинен	2,882	0,00	0,00	0,00	6,43	
β -Фелладрен	2,902	0,00	6,79	5,99	0,00	
4-Карен	3,337	0,82	0,65	1,08	0,99	
Эндоборнеол	4,007	2,51	2,1	3,62	4,1	
Борнилацетат	4,98	74,15	77,93	67,51	69,17	
Изоледен	5,87	0,00	0,82	0,00	0,00	
Кариофиллен	6,007	2,57	1,98	4,37	3,45	
Гумуллен	6,241	1,42	1,25	2,36	1,99	
β -Бисаболен	6,536	0,00	0,76	0,00	0,66	
Эпибицикlossenкви-фелландрен	7,299	0,00	0,00	0,00	0,84	
Селина-6-ен-4-ол	7,301	1,19	0,00	1,09	0,00	
α -Бисаболол	7,804	0,00	2,75	2,28	2,3	

Таблица 4

СОДЕРЖАНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ДРЕВЕСНОЙ ЗЕЛЕНИ ПИХТЫ СИБИРСКОЙ, ЗАГОТОВЛЕННОЙ С ПОРАЖЕННЫХ И ЗДОРОВЫХ ДЕРЕВЬЕВ

Место заготовки	Содержание суммы фенольных соединений, %			
	Пихта № 1 (пораженная жуком)	Пихта № 2 (пораженная жуком)	Пихта № 3 (пораженная жуком)	Здоровое растение (контроль)
Чусовской округ	3,72±0,34	6,78±0,26*	3,76±0,4	3,17±0,26
Ильинский округ	7,0±0,18*	12,9±0,41*	6,94±0,21*	4,65±0,27

* Статистически значимое различие ($p < 0,05$) по отношению к контролю.

исследования содержания суммы фенольных соединений в древесной зелени пихты сибирской на фоне повреждения жуком-полиграфом.

В результате выполненного исследования показано (табл. 4), что содержание суммы фенольных соединений увеличивается в древесной зелени пихты сибирской, заготовленной с деревьев, подвергшихся инвазии уссурийским полиграфом. Это указывает на усиление образования растением фенольных соединений для борьбы с жуком.

ВЫВОДЫ

В результате проведенного исследования установлено, что в деревьях, пораженных дендрофагом, наблюдается существенное увеличение содержания эфирного масла в сравнении со здоровыми деревьями. Это указывает на важность компонентов эфирного масла для организации защиты растения. В пораженных деревьях также наблюдается увеличение содержания суммы фенольных соединений. Состав эфирного масла пораженных жуком деревьев является характерным и соответствует компонентному составу не пораженной жуком пихты сибирской. Таким образом, древесная зелень пихты сибирской может быть заготовлена для получения эфирного масла с растений, находящихся на начальной стадии инвазии уссурийским полиграфом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кривец С.А., Керчев И.А., Бисирова Э.М., Волкова Е.С., Астапенко С.А., Ефременко А.А., Косилов А.Ю., Кудрявцев П.П., Кузнецова Ю.Р., Пономарев В.И., Потапкин А.Б., Тараскин 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. 202417(1): 49–69. DOI: 10.35885/1996-1499-17-1-49-69.

2. Астраханцева Н.В., Серая Л.Г., Пашенова Н.В., Коженкова А.А., Баранчиков Ю.Н. Анатомические особенности коры как фактор устойчивости видов пихт к заселению уссурийским полиграфом // Сибирский лесной журнал. 2023(5): 43–59. DOI: 10.15372/SIFS20230507.
3. Дебков Н.М., Бисирова Э.М. Факторы устойчивости пихты сибирской к воздействию уссурийского полиграфа // Лесоведение. 2020(3): 219–230.
4. Керчев И.А., Бисирова Э.М., Кривец С.А. Влияние инвазии уссурийского полиграфа на состав и структуру комплекса стволовых насекомых-дендрофагов пихты сибирской // Сибирский экологический журнал. 2022(3): 336–349. DOI: 10.15372/SEJ20220308.
5. Li S-H., Nagy N., Hammerbacher A. Krokene P., Niu X.M., Gershenzon J., Schneider B. Localization of phenolics in phloem parenchyma cells of Norway spruce (*Picea abies*) // Chem.Bio. Chem. 2012; 13(18): 2707–2713. DOI: 10.1002/cbic.201200547.
6. Jyske T., Keinanen S., Holtta T., Lintunen A., Pranovich A., Laakso T., Suuronen J.P., da Silva Viana G., Pakkala T. Pilot study of sap properties of Norway Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) trees used and not used for sap-feeding by three-toed woodpeckers (*Picoides tridactylus*) // Forests. 2022; 13(10): Article ID 1681. DOI: 10.3390/f13101681.
7. Carmona-Hernandez J.C., Taborada-Ocampo G., Gonzalez-Correa C.H. Folin-Ciocalteu reaction alternatives for higher polyphenol quantitation in Colombian passion fruits // International journal of food science. 2021: Article ID 8871301.

STUDY OF THE INFLUENCE OF SIBERIAN FIR INVASION BY THE USSURI POLYGRAPH – POLYGRAPHUS PROXIMUS BLANDFORD ON THE QUALITY OF WOOD GREENERY

D.K. Gulyaev, P.S. Mashchenko, V.D. Belonogova

Perm state pharmaceutical Academy of the Ministry of Health of the Russia, Perm, Russian Federation

The problem of the spread of the Ussuri polygraph beetle has affected most regions of Russia. The widespread distribution of this beetle has a significant impact on the raw material base of Siberian fir tree greenery, which is harvested for the production of essential oil and certain medicinal substances. This work investigates the effect of the Ussuri polygraph invasion on the chemical composition of Siberian fir tree greenery at early stages of infestation. For the study, samples of tree greenery were collected from beetle-infested trees and healthy trees within the same thicket from two different Siberian fir populations. The results showed that differences between infested and healthy trees are observed only in the content of essential oil, while the component composition remains characteristic. An increase in the content of phenolic compounds is also observed in the tree greenery of beetle-infested trees.

Keywords: Ussuri polygraph, invasion, Siberian fir, essential oil, phenolic compounds.