

УДК 547.587

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННОГО СОДЕРЖАНИЯ ЭКСТРАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ, КОРНЕЙ И КОРЫ ДЕРЕВЬЕВ ХВОЙНЫХ ВИДОВ СИБИРИ: ЛИСТВЕННИЦЫ (*LARIX SIBIRICA* L.), СОСНЫ (*PINUS SYLVESTRIS* L.), ПИХТЫ (*ABIES SIBIRICA* L.), ЕЛИ (*PICEA OBOVATA* L.) И КЕДРА (*PINUS SIBIRICA DU TOUR.*)

© Л.А. Остроухова, Т.Е. Федорова\*, Н.А. Онучина, А.А. Левчук, В.А. Бабкин

Иркутский институт химии им. Фаворского СО РАН, ул. Фаворского, 1,  
Иркутск, 664033 (Россия), e-mail: fte@iriioch.irk.ru

Проведено исследование количественного содержания экстрактивных веществ из различных органов деревьев (древесина, корни, кора) хвойных видов Сибири: лиственницы (*Larix sibirica* L.), сосны (*Pinus sylvestris* L.), пихты (*Abies sibirica* L.), ели (*Picea obovata* L.) и кедра (*Pinus sibirica* Du Tour.).

Пробы тканей хвойных были отобраны в районе о. Байкал в сентябре-октябре 2015 г. Экстрактивные вещества извлекали из измельченного сырья экстракцией этилацетатом при температуре кипения растворителя в течение 4 ч. Смолистые вещества извлекали из полученных этилацетатных экстрактов гексаном методом настаивания в течение 2 суток. Пробы сырья после экстракции этилацетатом высушивали от остатков растворителя, затем извлекали водорастворимые вещества экстракцией дистиллированной водой при 90 °С в течение 4 ч [1].

Установлено, что наиболее богата экстрактивными веществами кора исследованных видов хвойных и может содержать до 15% от а.с.в. (абсолютно сухого вещества) веществ, растворимых в этилацетате (например, кора пихты). Выход экстрактивных веществ из древесины хвойных сопоставим с их содержанием в корнях и составляет от 2 до 6% от а.с.в.

Наибольшее количество терпеновых веществ содержат древесина кедра и сосны – более 3% от а.с.в. Самый высокий выход водорастворимых веществ был отмечен для древесины лиственницы (18% от а.с.в.) и коры пихты (10% от а.с.в.).

Проведено обобщение и систематизация данных по химическому составу фенольных экстрактивных соединений различных тканей хвойных. Показано, что все исследуемые виды содержат разнообразные биологически ценные полифенолы и обладают хорошим потенциалом для фармации, сельского хозяйства и лесной промышленности.

*Ключевые слова:* древесина, кора, корни, *Larix sibirica* L., *Pinus sylvestris* L., *Abies sibirica* L., *Picea obovata* L., *Pinus sibirica* Du Tour., экстрактивные вещества, фенольные соединения.

### Введение

Отходы лесного хозяйства, такие как кора, корни и ветви деревьев являются важными, но недостаточно изученными с точки зрения источника биологически или фармацевтически активных соединений

---

Остроухова Людмила Андреевна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории химии древесины, e-mail: l-ostrouhova@ya.ru

Федорова Татьяна Евгеньевна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории химии древесины, e-mail: fte@iriioch.irk.ru

Онучина Нина Аркадьевна – ведущий технолог лаборатории химии древесины, e-mail: nina\_onuchina@iriioch.irk.ru

Левчук Алексей Александрович – кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории химии древесины, e-mail: levchuk@iriioch.irk.ru

Бабкин Василий Анатольевич – доктор химических наук, профессор, заведующий лабораторией химии древесины, e-mail: babkin@iriioch.irk.ru

[1–4]. Наиболее важными в промышленном отношении являются такие виды хвойных как сосна, ель, лиственница и пихта. Большинство исследований химического состава древесины, коры и других органов хвойных связаны с видами, произрастающими в Северной Америке и Центральной Европе [2–5].

Например, широко исследована лиственница европейская (*Larix decidua* L., Pinaceae) произрастающая в Альпах, Судетах и Карпатских горах [3, 5]. Древесные опилки этого вида лиственницы главным образом используются в производстве гранул топлива. Вместе с тем древесина лиственницы

---

\* Автор, с которым следует вести переписку.

содержит биологически активные фенольные соединения, такие как лигнаны и флаванолы (в основном дигидрокверцетин и дигидрокемпферол). Эти соединения обладают антиоксидантными и противовоспалительными эффектами [1, 3, 5]. Полисахарид арабиногалактан, также выделяемый из древесины европейской лиственницы, был одобрен FDA США в качестве источника пищевых волокон, обладающих иммуностимулирующим воздействием, и может быть использован в терапии рака [6]. Скипидар из европейской лиственницы, часто известный как Венецианский скипидар, состоит из 15% эфирного масла, от 50 до 65% смоляных кислот и приблизительно 15% неомыляемых смол. Основными компонентами фракции смолы являются лабдановые соединения, такие как лариксол и дитерпен лариксил ацетат [7].

Исследование суммарных спиртовых экстрактов древесины и коры ели обыкновенной (*Picea abies*) и лиственницы европейской (*Larix decidua*), произрастающих в Западной Европе, выявило их антибактериальную активность против всех известных бактерий. Установлено, что антибактериальный потенциал коры обоих видов был намного выше, чем потенциал экстракта древесины [4].

Авторами [2, 3] показано, что такие промышленные древесные отходы, как сучки и кора хвойных и лиственных видов, растущих в Финляндии, Франции, Канаде и США, являются богатыми источниками сильных природных антиоксидантов. В экстрактах сучков видов *Abies* (пихта), *Larix* (лиственница), *Picea* (ель) и *Tsuga* (тсуга) доминирующими соединениями являлись лигнаны и олиголигнаны. Экстракты *Abies* и *Larix* преимущественно содержали лигнан секоизоларицирезинол, в то время как оксиматаирезинол доминировал в экстрактах *Picea* и *Tsuga*. 3,5-Диоксистильбены были преобладающими в экстрактах сучков видов *Pinus* (сосна). В экстрактах коры *Pinus* и *Pseudotsuga menziesii* присутствовали также флавоноиды – дигидрокемпферол, дигидрокверцетин и дигидромирицетин. В экстракте коры *Abies lasiocarpa* обнаружены смоляные кислоты, а в экстрактах *Thuja occidentalis* и *Picea abies* – стильбены резвератрол, аstringин, изоралонтин. Все образцы коры содержали танины.

В настоящем исследовании мы сосредоточили внимание на изучении восточно-сибирских видов хвойных семейства *Pinaceae*. Это семейство представляет собой таксономическую группу высокого экономического значения в производстве целлюлозы, бумаги, строительных материалов, химических веществ и эфирных масел, используемых в парфюмерии, ароматерапии и фармацевтике [1].

Для решения этой задачи был разработан унифицированный метод выделения экстрактивных веществ из различных органов деревьев (древесина, корни, кора) хвойных видов Сибири: лиственницы (*Larix sibirica* L.), сосны (*Pinus sylvestris* L.), пихты (*Abies sibirica* L.), ели (*Picea obovata* L.) и кедра (*Pinus sibirica* Du Tour.), заключающийся в последовательной экстракции сырья растворителями разной полярности с выделением ценных биологически активных соединений.

### **Экспериментальная часть**

В работе использованы древесина, корни и кора лиственницы сибирской (*Larix sibirica* L.), сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), пихты сибирской (*Abies sibirica* L.), ели сибирской (*Picea obovata* L.) и кедра сибирского (сосны сибирской) (*Pinus sibirica* Du Tour.), пробы которых были отобраны в районе о. Байкал (Иркутская область, Шелеховский район, с. Подкаменная) в сентябре-октябре 2015 г.

Отбор проб древесины и коры проводили с растущих деревьев, имеющих диаметр не менее 20 см, методом высверливания. Кору и древесину (ядровую, без луба и заболони) отбирали на высоте 1 м от шейки корня в количестве не менее 100–150 г.

Пробы корней были взяты от растущего дерева методом высверливания боковых ответвлений корневой системы дерева  $d=5-10$  см, на расстоянии от ствола  $\sim 70-100$  см. Перед взятием пробы откапывались корни, залегающие на глубине не более 10 см.

От каждого вида дерева взята небольшая веточка (с хвоей и шишечкой) для идентификации ботанического вида. Идентификация проведена в Иркутском институте физиологии растений СО РАН.

Все пробы были герметично упакованы в мешочек с этикеткой, на которой указан вид дерева, дата и место отбора.

Каждый образец содержал усредненную пробу с 4 деревьев разного диаметра одного вида. Диаметр ствола на уровне 1 м от земли, влажность сырья, использованного для экстракции, приведены в таблице 1.

Экстракцию проводили в одинаковых условиях для всех видов сырья (древесина, кора, корни). Для каждого образца непосредственно перед экстракцией определялась влажность. Все образцы были разделены на две части для проведения двух параллельных опытов. Расхождение результатов параллельных измерений не превышало 1.5–2%.

Таблица 1. Характеристика заготовленных образцов

Вид древесины	ель	сосна	кедр	пихта	лиственница
	34	44	32	23	51
Диаметр дерева, см	30	35	28	36	37
	17	36	24	38	39
	27	34	36	32	34
	7.1	9.9	9.9	41.6	7.4
Влажность древесины, %	7.1	9.9	9.9	41.6	7.4
Влажность корней, %	6.1	6.7	6.6	6.6	6.5
Влажность коры, %	5.9	6.8	5.7	6.3	6.3

Экстракцию исходного измельченного сырья (размер частиц 10–15 мм) проводили этилацетатом в колбе с обратным холодильником при температуре кипения растворителя (75–78 °С) при соотношении сырье : экстрагент 1 : 10. Время экстракции – 4 ч. Полученный экстракт I фильтровали от исходного сырья, растворитель отгоняли на роторном испарителе. Экстракт высушивали до постоянного веса в вакуумном эксикаторе.

Высушенный экстракт I обрабатывали гексаном (1 : 10) настаиванием без нагрева в течение суток. Обработку гексаном проводили дважды. Гексановые экстракты объединяли и выпаривали на роторном испарителе. Высушенный в вакуумном эксикаторе экстракт (экстракт II) содержал преимущественно смолистые вещества. Обработанный гексаном экстракт I содержал преимущественно фенольные соединения.

Отфильтрованное после экстракции этилацетатом и высушенное до постоянной массы при 105 °С сырье (древесина, корни, кора) экстрагировали горячей водой. Соотношение твердого вещества и экстрагента 1 : 10, температура экстракции – 90 °С, время экстракции – 4 ч. В полученном водном экстракте III выпариванием определялся сухой остаток: пробу экстракта (25 мл) высушивали до постоянной массы и определяли в ней содержание сухих веществ (преимущественно полисахариды).

Данные по экстракции представлены в таблице 2.

### Обсуждение результатов

Проведено выделение экстрактивных веществ из различных органов деревьев (древесина, корни, кора) пяти исследуемых видов хвойных, произрастающих в одинаковых климатических условиях, проэкстрагированных по одной технологической схеме в одинаковых условиях. В экстрактах определено содержание смолистых веществ, фенольных соединений и полисахаридов. Данные по экстракции исследуемых объектов приведены в таблице 2.

Сравнительный анализ полученных данных по экстракции показывает, что наиболее богата экстрактивными веществами кора пихты – более 15% от веса исходного образца. Из коры лиственницы и кедра можно извлечь более 8% от а.с.в. экстрактивных веществ. В древесине исследуемых видов хвойных содержится в среднем от 2 до 6% от а.с.в. веществ, растворимых в этилацетате. Выход экстрактивных веществ из корней сопоставим с их содержанием в древесине.

Наибольшее количество смолистых веществ содержат древесина кедра и сосны (более 3% от а.с.в.). Самый высокий выход водорастворимых веществ был отмечен для древесины лиственницы (18% от а.с.в.) и коры пихты (10% от а.с.в.).

Следует отметить более высокое содержание экстрактивных веществ в коре всех исследованных хвойных по сравнению с древесиной и корнями.

Среди экстрактивных веществ, извлекаемых из различных тканей (органов) хвойных, особый интерес представляют фенольные соединения. Большинство из этих веществ обладает высокой биологической активностью и, при достаточном содержании, могут являться промышленно важными продуктами. Например, благодаря высокому содержанию флавоноида дигидрокверцетина (3.5–4% от а.с.в.) в древесине лиственниц сибирской и Гмелина, произрастающих в Восточной Сибири, был разработан промышленный способ получения этого ценного природного полифенола и создан лекарственный препарат «Диквертин», обладающий сильным антиоксидантным и капилляропротекторным действием [1, 8].

Содержание фенольных соединений в этилацетатных экстрактах коры лиственницы, пихты и кедра (90.2–97.8%) значительно превосходило таковое для древесины и корней этих хвойных (43.3–68.1%). Кора сосны также более богата фенольными соединениями по сравнению с древесиной и корнями. Исключением явился более высокий выход полифенолов из корней ели (77.3%) по сравнению с другими тканями (27.6 и 42.4%, для древесины и коры соответственно). Наименьшее количество фенольных соединений было извлечено из древесины сосны (2.2%).

Таблица 2. Выход экстрактивных веществ из древесины, корней и коры исследуемых видов хвойных

Объект исследования	Выход этилацетатного экстракта (I), % от а.с.в.	Выход гексанового экстракта (II), % от а.с.в.	Выход фенольных соединений, % от веса экстракта I	Выход водного экстракта (III), % от а.с.в.
<i>Лиственница</i>				
Древесина	2.57	0.83	67.5	18.0
Корни	2.54	1.27	50.0	2.6
Кора	8.65	0.69	92.0	4.75
<i>Пихта</i>				
Древесина	1.88	0.6	68.1	1.08
Корни	2.94	1.06	64.0	1.18
Кора	15.17	0.34	97.8	10.0
<i>Кедр</i>				
Древесина	6.55	3.71	43.3	2.04
Корни	4.63	1.75	62.2	1.76
Кора	8.47	0.83	90.2	4.71
<i>Сосна</i>				
Древесина	3.3	3.22	2.2	1.57
Корни	4.57	2.76	39.7	2.05
Кора	3.67	1.19	83.7	3.82
<i>Ель</i>				
Древесина	2.1	1.52	27.6	2.03
Корни	1.85	0.42	77.3	2.58
Кора	3.37	1.94	42.4	6.94

В таблице 3 представлен химический состав экстрактивных фенольных соединений из древесины, коры и корней исследуемых видов хвойных. Эти данные были получены на основе анализа совокупности результатов собственных исследований различных органов таких видов хвойных, как лиственница и ель сибирские, и литературных данных.

В составе фенольного комплекса древесины лиственницы сибирской нами были идентифицированы две фенолкарбоновые кислоты – феруловая и ванилиновая, а также четыре лигнанных соединения – конидендрин, пинорезинол, ларицирезинол и секоизоларицирезинол. Среди лигнанов количественно преобладают ларицирезинол и секоизоларицирезинол. Основным компонентом флавоноидной фракции экстрактивных веществ древесины лиственницы является (+)-дигидрокверцетин (85% и более от суммарной флавоноидной фракции). Как уже отмечено выше содержание флавоноидов в ядровой древесине лиственницы может достигать 4.5% от а.с.в. Помимо дигидрокверцетина в составе флавоноидной части экстракта содержится дигидрокемпферол, в небольших количествах представлены эриодиктиол, нарингенин, кверцетин и кемпферол [1].

Проведены исследования по динамике содержания экстрактивных веществ в ядровой древесине и корнях лиственницы [9]. Было установлено, что по абсолютному содержанию экстрактивных веществ всегда больше в корнях, чем в стволовой части дерева. Химический состав фенольных соединений корней лиственницы близок к таковому древесины. Количество флавоноидов (дигидрокверцетина) в корнях лиственницы превышает их содержание в ядровой древесине в 2–6 раз.

Недавно нами была исследована антимикробная активность этилацетатных фракций древесины, коры и корней лиственницы сибирской относительно микроорганизмов различных таксономических групп [10]. Также были исследованы выделенные из древесины лиственницы, полисахарид арбиногалактан, флавоноид дигидрокверцетин и дигидрокверцетин-сырец, представляющий собой смесь, содержащую 70–75% дигидрокверцетина, родственные минорные флавоноиды и смолистые вещества. Установлено, что экстракты коры и древесины лиственницы, арабиногалактан и дигидрокверцетин-сырец проявляют антибактериальную активность по отношению к модельному грамположительному микроорганизму *Enterococcus durans* и могут быть использованы в качестве антимикробных агентов.

Состав фенольных экстрактивных веществ коры лиственницы существенно разнообразнее и богаче по сравнению с древесиной. Нами проведена подробная систематизация фенольных соединений коры лиственницы сибирской в соответствии с современными представлениями об их биохимической взаимосвязи [11–14]. Показано, что в коре присутствуют представители практически всех классов флавоноидов, начиная от флаванона нарингенина до бифлавоноидов, проантоцианидинов и конденсированных танинов. Сложный полифенольный комплекс коры лиственницы условно можно разделить на группы: фенолокислоты и их эфиры, мономерные флавоноиды, спирофлавоноиды, олигомерные и полимерные флавоноидные соединения.

Таблица 3. Фенольные соединения экстрактивных веществ из древесины, коры и корня исследуемых видов хвойных

Вид хвойных	Древесина	Кора	Корень
Лиственница сибирская ( <i>Larix sibirica</i> L.)	фенолокислоты, нарингенин, эриодиктиол, кемпферол, кверцетин, дигидрокемпферол, дигидрокверцетин, $\alpha$ -конидендрин, секоизоларицирезинол, ларицирезинол, пинорезинол	фенолокислоты, нарингенин, эриодиктиол, кемпферол, кверцетин, дигидрокемпферол, дигидрокверцетин, (-)-эпиафцелехин, (+)-катехин, (-)-эпикатехин, лариксинол, лариксидинол, ларизинол, олигофлавоноиды (процианидины), астрингенин, астрингенин-3'-О- $\beta$ -D-глюкопиранозид, пицеид	эриодиктиол, кемпферол, кверцетин, дигидрокемпферол, дигидрокверцетин
Ель сибирская ( <i>Picea obovata</i> L.)	фенолокислоты, оксиматаирезинол, $\alpha$ -конидендрин, матаирезинол, кетоматаирезинол, 3,4-диванилилтетрагидрофуран, лиовил, пинорезинол, (+)-ларицирезинол, олиголигнаны	фенолокислоты, изорапонтин, астрингин, дигидрокверцетин, пицеид, резвератрол, астрингенин, изорапонтигенин, олигостильбены, кемпферол, кверцетин	оксиматаирезинол, $\alpha$ -конидендрин, лиовил, (+)-ларицирезинол, олиголигнаны
Пихта сибирская ( <i>Abies sibirica</i> L.)	фенолокислоты, секоизоларицирезинол, аянорезинол, абиорезинол, аяноабианол, 3,4-диванилилтетрагидрофуран, лиовил, ларицирезинол, оливил, пинорезинол, матаирезинол, оксиматаирезинол, ванилоилоксиларицирезинол, ларицилкумарат, ларицилферулат, оливилкумарат, оливилферулат, оксибензоилоксиматаирезинол, ванилоилоксиматаирезинол	...	...
Сосна обыкновенная ( <i>Pinus sylvestris</i> L.)	пиносильвин, монометилловый эфир пиносильвина, нортрахелогенин, флавоноиды, олигомерные полифенолы	фенолокислоты, кемпферол, кверцетин, дигидрокверцетин, резвератролозид, пиностильбенонид, дигидрокверцетин, (+)-катехин, гликозиды кемпферола, дигидрокверцетина и (+)-катехина, димерные и тримерные проантоцианидины	...
Кедр сибирский ( <i>Pinus sibirica</i> Du Tour)	текгохризин, хризин, пиноцембрин, пиностробин, пиносильвин, монометилловый эфир пиносильвина, аромадендрин, апигенин, кемпферол	фенолокислоты, кемпферол, кверцетин, дигидрокверцетин, резвератрол, пиносильвин, монометилловый эфир пиносильвина, диметилловый эфир пиносильвина, пиностильбен, резвератролозид, пиностильбенонид	...

В экстрактах луба (внутренняя кора) и ритидома (внешняя кора) лиственницы сибирской идентифицированы *p*-гидроксibenзойная, ванилиновая, *цис*-, *транс*-*n*-кумаровая, *цис*-, *транс*-феруловая, протокатеховая и кофейная кислоты, а также *транс*-ферулаты и *транс*-кумараты высших алифатических спиртов, в основном *n*-эйкозанола [11, 12]. Также в коре обнаружены стильбены – резвератрол, астрингенин и стильбеновые гликозиды – пицеид и *транс*-астрингенин-3'-О- $\beta$ -D-глюкопиранозид [12, 13]. Флавоноиды коры лиственницы представлены следующим широким рядом соединений: нарингенин, эриодиктиол, дигидрокемпферол, дигидрокверцетин, кемпферол, кверцетин, кверцетин-3-О-арабинозид, кверцетин-3-О-рамнозид, (-)-эпиафцелехин, (+)-катехин, (-)-эпикатехин, лариксинол, олигофлавоноиды (процианидины), полимерные флавоноиды (конденсированные танины). Необходимо отметить, что в ходе исследований химического состава фенольных соединений коры лиственницы нами было установлено строение целого ряда новых флавоноидных соединений спиро-типа: спирибифлавоноидов лариксидинола и ларизинола,

тримера – трифлариксинола. Также нами впервые показано, что в образовании олигомерных и полимерных флавоноидных соединений (конденсированных таннинов) коры исследуемого вида лиственницы наряду с мономерными флаван-3-олами принимают участие и спириобифлавоноиды [14]. По типу гидроксирования кольца В фенольные соединения коры лиственницы можно отнести к двум основным группам: п-гидроксифенильному (монозамещенному) и пирокатехиновому (дизамещенному). Отмечено, что в лубе лиственницы сибирской преобладают фенольные соединения с пирокатехиновым типом замещения ароматического кольца, а в ритидоме доминируют соединения с *п*-оксифенильным типом замещения [11, 12].

Таким образом, установлено, что кора лиственницы сибирской является богатым источником многих уникальных природных биологически активных фенольных соединений, содержание которых в коре может достигать 8–12% от а.с.в. [1]. Нами был разработан способ выделения из коры лиственницы фитокомплекса, который при предварительном тестировании проявил антиоксидантную активность в 1.5 раза выше, чем дигидрокверцетин [15]. Согласно токсико-фармакологическим исследованиям, выполненным в лаборатории фармакологии НИОХ СО РАН, антиоксидантный комплекс, выделенный этилацетатом из коры лиственницы, обладает выраженной капилляроукрепляющей активностью, превосходящей активность дигидрокверцетина в 1.2–1.4 раза, высоким гастро- и гепатозащитным эффектом, достоверно увеличивает резервы системы антиоксидантной защиты организма, обладает дозозависимым стимулирующим влиянием на центральную нервную систему [15].

Ранее нами было показано [16], что экстрактивные вещества древесины ели сибирской, извлекаемые полярными растворителями, представлены главным образом фенольными соединениями – мономерными, олиго- и полимерными лигнанами. Имеются данные о высокой биологической активности индивидуальных лигнанов и комплексов экстрактивных веществ, извлекаемых из биомассы хвойных [3]. Например, было показано, что оксиматаирезинол – доминирующий лигнан древесины ели сибирской проявляет комплексную биологическую активность: как сильный антиоксидант уменьшает окисление липидов, является эффективной ловушкой радикалов, а также обладает высокой противоопухолевой активностью и может являться хемопревентивным фактором для различных форм рака.

По результатам наших исследований [16] среди мономерных лигнанов древесины ели доминирующими являются  $\alpha$ -конидендрин и оксиматаирезинол. В состав олигомерных и полимерных фенольных соединений входят мономерные лигнановые единицы с бутиролактонным циклом, преимущественно фрагменты со строением оксиматаирезинола. Также в их составе присутствуют модули со структурой пинорезинола и ларицирезинола. Для всех мономерных блоков олиголигнанов характерен гваяцильный тип замещения ароматических колец. Доля мономерных лигнанов в фенольном комплексе древесины ели составляет 60–65%, на долю фракции олигомерных лигнанов приходится 20–25%, фракции полимерных лигнанов – 12–15%. Предварительное исследование противовирусной и антиоксидантной активности полифенольной части экстракта древесины ели сибирской показало, что лигнановый комплекс проявляет активность в отношении вируса Коксаки В4 в клеточной культуре и на модели панкреатита у белых мышей, снижая активность энтеровирусов примерно в 100 раз в клеточной культуре. По величине антиоксидантной активности полифенольный комплекс древесины ели сопоставим с дигидрокверцетином.

Нами проведено изучение химического состава фенольных экстрактивных веществ корней ели сибирской [17]. Установлено, что он очень близок с таковым древесины ели. Отличия наблюдаются лишь по относительному содержанию соединений в экстрактах. Для корней ели характерно более высокое содержание  $\alpha$ -конидендрина и полимерных лигнанов, меньшее – олигомерных лигнанов. Количество доминирующего лигнана – оксиматаирезинола, значительно выше в древесине ели (в 1.7 раза). В обессмоленном этилацетатном экстракте корней доля мономерных лигнанов составляет около 50%, а на долю суммы олигомерных и полимерных лигнановых соединений приходится 35–40%.

Наши исследования количественного и качественного состава фенольных соединений коры ели сибирской [18] выявили, что основными мономерными фенольными экстрактивными веществами коры являются флавоноид дигидрокверцетин (0.2% от а.с.в.), гликозиды стильбенов – изорапонтин (0.22% от а.с.в.) и астрингин (0.13% от а.с.в.), и олигомерные и полимерные фенольные соединения (0.24% от а.с.в.). На долю флавоноидных соединений приходится до 17–18% от массы обессмоленного этилацетатного экстракта коры ели, стильбенов и стильбеновых гликозидов – до 28–30%, олиго-, полимерных фенольных соединений – около 15%. Установлено, что олигомерные фенольные соединения коры ели сибирской построены из структурных блоков стильбеновых гликозидов, главным образом, изорапонтина и астрингина, ко-

торые также преобладают среди мономерных соединений фенольного экстракта коры ели. Для полученного фенольного экстракта коры ели, опираясь на имеющиеся данные о высокой биологической активности флавоноидов, мономерных стильбенов и стильбеновых гликозидов, можно прогнозировать различные виды биологической активности – антиоксидантная, противовоспалительная, противоопухолевая, кардио- и нейропротекторная [1, 11–16].

В работах [19–22] приводятся результаты исследования экстрактивных веществ древесины пихты сибирской (*Abies sibirica* L.). Авторам удалось выделить и идентифицировать широкий ряд лигнанов – секоизоларицирезинол, аянорезинол, абиорезинол, аяноабианол, 3,4-диванилилтетрагидрофуран, лиовил, ларицирезинол, оливил, пинорезинол, матаирезинол, оксиматаирезинол, а также установить строение новой группы фенольных соединений – О-ацилированных лигнанов. Были идентифицированы такие лигнаноэфиры, как ванилоилоксиларицирезинол, ларицилкумарат, ларицилферулат, оливилкумарат, оливилферулат, оксibenзоилоксиматаирезинол, ванилоилоксиматаирезинол. Таким образом, в полифенольном комплексе древесины пихты сибирской, как и ели сибирской, доминирующими соединениями являются лигнаны и их производные.

Данные по исследованию фенольных экстрактивных веществ коры пихты сибирской очень скудные. В коре пихты белокорой (*Abies nephrolepis* Maxim.), произрастающей на Дальнем Востоке, обнаружены фенолоксилоны и такие флавоноиды, как кемпферол, кверцетин и дигидрокверцетин [23, 24].

По данным исследований [2, 3, 25, 26], доминирующими фенольными соединениями древесины сосны обыкновенной являются стильбеновые соединения – пиносильвин и его производное, монометиловый эфир пиносильвина. Также в полифенольном комплексе отмечается присутствие лигнана нортрахелогенина, флавоноидов и олигомерных фенольных соединений. В работе [26] приведены исследования антибактериальной активности пиносильвина, его монометилового эфира и экстракта из сучков сосны обыкновенной по отношению к трем видам бактерий (*Bacillus coagulans*, *Burkholderia multivorans* и *Alcaligenes xylosoxydans*). Установлено, что экстракт древесины *Pinus sylvestris*, также как и индивидуальные стильбены, эффективно ингибировал рост бактерий. Однако бактерицидное действие индивидуальных стильбеновых соединений проявлялось при более высоких концентрациях, чем для суммарного экстракта сучков. Выявлено, что пиносильвин обладает более сильным антибактериальным действием, чем монометиловый эфир пиносильвина. Эта работа показывает, что экстракты сучков, особенно видов *Pinus*, обладают хорошим потенциалом для использования в качестве природных биоцидов.

Для коры *Pinus sylvestris* L. характерно наличие фенолоксилонов, а также флавоноидов – кемферола, кверцетина, дигидрокверцетина [24, 27, 28]. Шведскими учеными [29] был подробно проанализирован химический состав экстрактивных веществ луба сосны обыкновенной, являющейся для этой страны одним из основных лесобразующих и экономически значимых видов. В лубе были идентифицированы 26 соединений, среди них фенолоксилоны, лигнаны, гликозиды стильбенов – резвератролозид и пиностилбенозид, флавоноиды – дигидрокверцетин, (+)-катехин, гликозиды кемферола, дигидрокверцетина и (+)-катехина, а также димерные и тримерные флавоноиды – проантоцианидины, состоящие из структурных модулей (+)-катехина и (-)-эпикатехина.

В ходе изучения состава фенольных соединений древесины сосны сибирской или кедра (*Pinus sibirica* Du Tour.) авторами [25, 30–32] были выделены следующие флавоноиды – тектохризин, хризин, пиностробин, пиноцембрин, дигидрокемпферол, апигенин и кемпферол, а также стильбены – пиносильвин и монометиловый эфир пиносильвина. Интересной особенностью этого вида хвойных является доминирование в экстрактах древесины фенольных соединений с малой степенью гидроксирования (отсутствие гидроксильных групп в кольце В) – флавоноидов и стильбенов.

В коре кедра были обнаружены стильбены – пиносильвин, монометиловый эфир пиносильвина, диметиловый эфир пиносильвина, резвератрол, пиностилбен, триметиловый эфир резвератрола и гликозиды стильбенов – резвератролозид и пиностилбенозид. Эти соединения являются доминирующими среди фенольных экстрактивных веществ коры. Кроме того, также как и в коре сосны обыкновенной, в коре сосны сибирской присутствуют фенолоксилоны, флавоноиды – кемферол, кверцетин, дигидрокверцетин. Исследование биологической активности стильбенов показало, что пиностилбен, резвератрол и астрингенин проявляют бактериостатическую, фунгистатическую и туберкулостатическую активность. Пиностилбен обладает высокой активностью по отношению к туберкулезной палочке человека [24].

Таким образом, проведенные исследования, а также обобщение и систематизация данных по химическому составу фенольных экстрактивных соединений различных тканей хвойных Сибири позволяют заключить, что все исследуемые виды содержат разнообразные биологически ценные полифенолы и обладают хорошим потенциалом для фармации, сельского хозяйства и лесной промышленности. В дальнейшем нами планируется детальное изучение химического состава и биологической активности экстрактивных веществ тканей (органов) кедра, сосны и пихты, произрастающих в Сибири.

### **Выводы**

Проведено исследование количественного содержания экстрактивных веществ из различных органов деревьев (древесина, корни, кора) хвойных видов Сибири: лиственницы (*Larix sibirica* L.), сосны (*Pinus sylvestris* L.), пихты (*Abies sibirica* L.), ели (*Picea obovata* L.) и кедра (*Pinus sibirica* Du Tour.).

Установлено, что наиболее богата экстрактивными веществами кора исследованных видов хвойных и может содержать до 15% от а.с.в. веществ, растворимых в этилацетате (например, кора пихты). Выход экстрактивных веществ из древесины хвойных сопоставим с их содержанием в корнях и составляет от 2 до 6% от а.с.в.

Наибольшее количество терпеновых веществ содержат древесина кедра и сосны – более 3% от а.с.в. Самый высокий выход водорастворимых веществ был отмечен для древесины лиственницы (18% от а.с.в.) и коры пихты (10% от а.с.в.).

Проведено обобщение и систематизация данных по химическому составу фенольных экстрактивных соединений различных тканей хвойных. Показано, что все исследуемые виды содержат разнообразные биологически ценные полифенолы и обладают хорошим потенциалом для фармации, сельского хозяйства и лесной промышленности.

### **Список литературы**

1. Бабкин В.А., Остроухова Л.А., Трофимова Н.Н. Биомасса лиственницы: от химического состава до инновационных продуктов. Новосибирск, 2011. 236 с.
2. Kebbi-Benkeder Z., Colin F., Dumarcay S., Gerardin P. Quantification and characterization of knotwood extractives of 12 European softwood and hardwood species // *Annals of Forest Science*. 2015. Vol. 72. Pp. 277–284. DOI: 10.1007/s13595-014-0428-7.
3. Pietarinen S.P., Willfor S.M., Ahotupa M.O., Hemming J.E., Holmbom B.R. Knotwood and bark extracts: strong antioxidants from waste materials // *Journal of Wood Science*. 2006. Vol. 52. Pp. 436–444. DOI: 10.1007/s10086-005-0780-1.
4. Salem M.Z.M., Elansary H.O., Elkelish A.A., Zeidler A., Ali H.M., El-Hefny M., Yessoufou K. In vitro bioactivity and antimicrobial activity of *Picea abies* and *Larix decidua* wood and bark extracts // *BioResources*. 2016. Vol. 11. N4. Pp. 9421–9437.
5. Pferschy-Wenzig E. M., Kunert O., Presser A., Bauer R. In vitro anti-528 inflammatory activity of larch (*Larix decidua* L.) sawdust // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2008. Vol. 56. N24. Pp. 11688–11693. DOI: 10.1021/jf8024002.
6. Kelly G.S. Larch arabinogalactan: Clinical relevance of a novel immune-470 enhancing polysaccharide // *Alternative Medicine Review*. 1999. Vol. 4. N2. Pp. 96–103.
7. Ostroukhova L.A., Raldugin V.A., Babkin V.A., Onuchina N.A., Levchuk A.A. Investigation of the Chemical Composition of Larch Wood Resin // *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*. 2012. Vol. 38. N7. Pp. 775–779. DOI: 10.1134/S1068162012070151.
8. Патент № 2158598 (РФ). Способ получения дигидрокверцетина / В.А. Бабкин, Л.А. Остроухова, Д.В. Бабкин, Ю.А. Малков / 2000.
9. Неверова Н.А., Левчук А.А., Остроухова Л.А., Медведева Е.Н., Онучина Н.А., Бабкин В.А. Распределение экстрактивных веществ в древесине лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) // *Химия растительного сырья*. 2012. №4. С. 91–100.
10. Левчук А.А., Беловежец Л.А., Онучина Н.А. Микробиологическая активность этилацетатных фракций древесины лиственницы сибирской // *Фенольные соединения: свойства, активность, инновации*. М., 2018. С. 470–473.
11. Иванова С.З., Федорова Т.Е., Иванова Н.В., Федоров С.В., Остроухова Л.А., Малков Ю.А., Бабкин В.А. Флавоноидные соединения коры лиственницы сибирской и лиственницы Гмелина // *Химия растительного сырья*. 2002. №4. С. 1–15.
12. Ivanova S.Z., Gorshkov A.G., Kuzmin A.V., Gordienko I.I., Babkin V.A. Phenolic compounds of Siberian and Daurian larch phloem // *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*. 2012. Vol. 38. N7. pp. 769–774. DOI: 10.1134/S1068162012070096.



13. Иванова С.З., Федорова Т.Е., Федоров С.В., Бабкин В.А. Стильбены коры лиственницы Гмелина // Химия растительного сырья. 2008. №4. С. 83–88.
14. Fedorova T.E., Ivanova S.Z., Babkin V.A. Spiroflavonoid Compounds: Structure and Distribution in Nature Review // Russian Journal of Bioorganic Chemistry. 2010. Vol. 36. N7. Pp. 11–20. DOI: 10.1134/S1068162010070022.
15. Патент № 2188031 (РФ). Фитокомплекс, обладающий антиоксидантной активностью, и способ его получения / В.А. Бабкин, Л.А. Остроухова, Н.В. Иванова, Ю.А. Малков, С.З. Иванова, Н.А. Онучина / 2002.
16. Fedorova T.E., Fedorov S.V., Babkin V.A. Oligolignans of *Picea obovata* Ledeb. Wood // Russian Journal of Bioorganic Chemistry. 2016. Vol. 42. N7. Pp. 28–31. DOI: 10.1134/S1068162016070062.
17. Федорова Т.Е., Бабкин В.А. Экстрактивные вещества корней *Picea obovata* Ledeb. // Химия растительного сырья. 2016. №4. С. 165–168. DOI: 10.14258/jcrpm.2016041401.
18. Федорова Т.Е., Бабкин В.А. Фенольные соединения коры *Picea obovata* Ledeb. // Химия растительного сырья. 2018. №1. С.89–95. DOI: 10.14258/jcrpm.2018012683.
19. Леонтьева В.Г. Фенольные соединения древесины некоторых видов семейства Pinaceae: автореф. дисс. ... канд. хим. наук. Иркутск, 1978. 24 с.
20. Медведева С.А., Модонова Л.Д., Леонтьева В.Г., Глазкова В.Н., Тюкавкина Н.А. Лиовиол из *Abies sibirica* и *Picea obovata* // Химия природных соединений. 1971. №1. С. 113–114.
21. Леонтьева В.Г., Модонова Л.Д., Воронов В.К., Тюкавкина Н.А. Новые О-ацилированные производные ларицирезинола // Химия природных соединений. 1976. №2. С. 162–166.
22. Леонтьева В.Г., Модонова Л.Д., Тюкавкина Н.А., Пунтусова Е.Г. О-ацилированные лигнаны из древесины рода *Abies* // Химия природных соединений. 1977. №3. С. 337–341.
23. Громова А.С., Луцкий В.И., Тюкавкина Н.А. Фенолоксиолы луба *Abies nephrolepis*, *Pinus sibirica* и *P. sylvestris* // Химия природных соединений. 1977. №2. С. 227.
24. Громова А.С. Фенольные соединения коры некоторых видов ели, пихты и сосны: дисс. ... канд. хим. наук. Иркутск, 1975. 160 с.
25. Шостаковский С.Ф., Тюкавкина Н.А., Луцкий В.И., Бородин Н.М. Гидроксистильбены *Pinus sibirica* и *Pinus sylvestris* // Химия природных соединений. 1969. №5. С. 48–49.
26. Lindberg L.E., Willfor S.M., Holmbom B.R. Antibacterial effects of knotwood extractives on paper mill bacteria // Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology. 2004. Vol. 31. Pp. 137–147. DOI: 10.1007/s10295-004-0132-y.
27. Тюкавкина Н.А., Громова А.С., Луцкий В.И., Чубарова И.С. Фенолоксиолы коры *Pinus sylvestris*, *P. sibirica* и *P. abies nephrolepis* // Химия природных соединений. 1974. №1. С. 78–79.
28. Луцкий В.И., Громова А.С., Тюкавкина Н.А. Фенольные соединения коры *Pinus sibirica* и *P. sylvestris* // Химия природных соединений. 1970. №3. С. 367.
29. Pan H., Lundgren L.N. Phenolics from inner bark of *Pinus sylvestris* // Phytochemistry. 1996. Vol. 42. N4. Pp. 1185–1189. DOI: 10.1016/0031-9422(96)00122-7.
30. Тюкавкина Н.А., Луцкий В.И., Дзизенко А.К., Пентегова В.А. Экстрактивные фенольные соединения ядровой древесины *Pinus sibirica* // Химия природных соединений. 1968. №4. С. 249–250.
31. Луцкий В.И., Тюкавкина Н.А., Шостаковский С.Ф. Пиноцембрин и пиностробин из ядровой древесины *Pinus sibirica* // Химия природных соединений. 1968. №6. С. 325.
32. Луцкий В.И., Громова А.С., Тюкавкина Н.А. Аромандендрин, апигенин и кемпферол из древесины *Pinus sibirica* // Химия природных соединений. 1971. №2. С. 197–198.

Поступила в редакцию 29 июня 2018 г.

После переработки 5 сентября 2018 г.

Принята к публикации 14 сентября 2018 г.

**Для цитирования:** Остроухова Л.А., Федорова Т.Е., Онучина Н.А., Левчук А.А., Бабкин В.А. Определение количественного содержания экстрактивных веществ из древесины, корней и коры деревьев хвойных видов Сибири: лиственницы (*Larix sibirica* L.), сосны (*Pinus sylvestris* L.), пихты (*Abies sibirica* L.), ели (*Picea obovata* L.) и кедра (*Pinus sibirica* Du Tour.) // Химия растительного сырья. 2018. №4. С. 185–195. DOI: 10.14258/jcrpm.2018044245.

Ostroukhova L.A., Fedorova T.E.\* , Onuchina N.A., Levchuk A.A., Babkin V.A. DETERMINATION OF THE QUANTITATIVE CONTENT OF EXTRACTIVES FROM WOOD, ROOTS AND BARK OF CONIFEROUS TREES IN SIBERIA: LARCH (*LARIX SIBIRICA* L.), PINES (*PINUS SYLVESTRIS* L.), FIR (*ABIES SIBIRICA* L.), SPRUCE (*PICEA OBOVATA* L.) AND CEDAR (*PINUS SIBIRICA* DU TOUR.)

A.E. Favorsky Institute of Chemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, ul. Favorskogo, 1, Irkutsk, 664033 (Russia), e-mail: fte@irioch.irk.ru

The study of the quantitative content of extractive substances from various tree organs (wood, roots, bark) of coniferous Siberian species was conducted. The larch (*Larix sibirica* L.), pines (*Pinus sylvestris* L.), fir (*Abies sibirica* L.), spruce (*Picea obovata* L.) and cedar (*Pinus sibirica* Du Tour) were investigated.

Samples of coniferous tissues were selected in the Lake Baikal area in September–October 2015. Extractive substances were extracted from the ground raw material by extraction with ethyl acetate at the boiling point of the solvent for 4 hours. The resinous substances were extracted from the obtained ethyl acetate extracts by hexane by the infusion method for 2 days. The raw material samples, after extraction with ethyl acetate, were dried from solvent residues, then water-soluble substances were extracted by extraction with distilled water at 90 °C for 4 hours [1].

It is established the bark of the investigated coniferous species is most rich in extractive substances. It can contain up to 15% of the mass of absolutely dry matter (a.d.m.) of compounds soluble in ethyl acetate (for example, fir bark). The yield of extractive substances from coniferous wood is comparable with their content in the roots and ranges from 2 to 6% of the a.d.m.

The greatest amount of resinous substances contain in wood of cedar and pine. This is more than 3% of a.d.m. The highest yield of water-soluble substances was from larch wood (18% of a.d.m.) and fir bark (10% of a.d.m.).

A generalization and systematization of data on the chemical composition of phenolic extractive compounds of various coniferous tissues was carried out. It is shown that all the species under study contain a variety of biologically valuable polyphenols and have good potential for pharmacology, agriculture and forestry.

**Keywords:** wood, bark, roots, *Larix sibirica* L., *Pinus sylvestris* L., *Abies sibirica* L., *Picea obovata* L., *Pinus sibirica* Du Tour., extractives, phenolic compounds.

## References

- Babkin V.A., Ostroukhova L.A., Trofimova N.N. *Biomassa listvennitsy: ot khimicheskogo sostava do innovatsi-onnykh produktov*. [Larch biomass: from chemical composition to innovative products]. Novosibirsk, 2011, 236 p. (in Russ.).
- Kebbi-Benkeder Z., Colin F., Dumarcay S., Gerardin P. *Annals of Forest Science*, 2015, vol. 72, pp. 277–284. DOI: 10.1007/s13595-014-0428-7.
- Pietarinen S.P., Willfor S.M., Ahotupa M.O., Hemming J.E., Holmbom B.R. *Journal of Wood Science*, 2006, vol. 52, pp. 436–444. DOI: 10.1007/s10086-005-0780-1.
- Salem M.Z.M., Elansary H.O., Elkelish A.A., Zeidler A., Ali H.M., El-Hefny M., Yessoufou K. *BioResources*, 2016, vol. 11, no. 4, pp. 9421–9437.
- Pferschy-Wenzig E. M., Kunert O., Presser A., Bauer R. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2008, vol. 56, no. 24, pp. 11688–11693. DOI: 10.1021/jf8024002.
- Kelly G.S. *Alternative Medicine Review*, 1999, vol. 4, no. 2, pp. 96–103.
- Ostroukhova L.A., Raldugin V.A., Babkin V.A., Onuchina N.A., Levchuk A.A. *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*, 2012, vol. 38, no. 7, pp. 775–779. DOI: 10.1134/S1068162012070151.
- Patent 2158598 (RU). 2000. (in Russ.).
- Neverova N.A., Levchuk A.A., Ostroukhova L.A., Medvedeva Ye.N., Onuchina N.A., Babkin V.A. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2012, no. 4, pp. 91–100. (in Russ.).
- Levchuk A.A., Belovezhets L.A., Onuchina N.A. *Fenol'nyye soyedineniya: svoystva, aktivnost', innovatsii*. [Phenolic compounds: properties, activity, innovations]. Moscow, 2018, pp. 470–473. (in Russ.).
- Ivanova S.Z., Fedorova T.Ye., Ivanova N.V., Fedorov S.V., Ostroukhova L.A., Malkov Yu.A., Babkin V.A. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2002, no. 4, pp. 1–15. (in Russ.).
- Ivanova S.Z., Gorshkov A.G., Kuzmin A.V., Gordienko I.I., Babkin V.A. *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*, 2012, vol. 38, no. 7, pp. 769–774. DOI: 10.1134/S1068162012070096.
- Ivanova S.Z., Fedorova T.Ye., Fedorov S.V., Babkin V.A. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2008, no. 4, pp. 83–88. (in Russ.).
- Fedorova T.E., Ivanova S.Z., Babkin V.A. *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*, 2010, vol. 36, no. 7, pp. 11–20.
- Patent 2188031 (RU). 2002. (in Russ.). DOI: 10.1134/S1068162010070022.
- Fedorova T.E., Fedorov S.V., Babkin V.A. *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*, 2016, vol. 42, no. 7, pp. 28–31.
- Fedorova T.Ye., Babkin V.A. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2016, no. 4, pp. 165–168. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcpm.2016041401.
- Fedorova T.Ye., Babkin V.A. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2018, no. 1, pp. 89–95. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcpm.2018012683.
- Leont'yeva V.G. *Fenol'nyye soyedineniya drevesiny nekotorykh vidov semeystva Pinaceae: avtoref. diss. ... kand. khim. nauk*. [Phenolic compounds of wood of some species of the Pinaceae family: author. diss. ... Cand. chemical sciences]. Irkutsk, 1978, 24 p. (in Russ.).
- Medvedeva S.A., Modonova L.D., Leont'yeva V.G., Glazkova V.N., Tyukavkina N.A. *Khimiya prirodnikh soyedineniy*, 1971, no. 1, pp. 113–114. (in Russ.).

\* Corresponding author.

21. Leont'yeva V.G., Modonova L.D., Voronov V.K., Tyukavkina N.A. *Khimiya prirodnikh soyedineniy*, 1976, no. 2, pp. 162–166. (in Russ.).
22. Leont'yeva V.G., Modonova L.D., Tyukavkina N.A., Puntusova Ye.G. *Khimiya prirodnikh soyedineniy*, 1977, no. 3, pp. 337–341. (in Russ.).
23. Gromova A.S., Lutskiy V.I., Tyukavkina N.A. *Khimiya prirodnikh soyedineniy*, 1977, no. 2, pp. 227. (in Russ.).
24. Gromova A.S. *Fenol'nyye soyedineniya kory nekotorykh vidov yeli, pikhty i sosny: diss. ... kand. khim. nauk.* [Phenolic compounds of the bark of some species of spruce, fir and pine: diss. ... Cand. chemical sciences]. Irkutsk, 1975, 160 p. (in Russ.).
25. Shostakovskiy S.F., Tyukavkina N.A., Lutskiy V.I., Borodina N.M. *Khimiya prirodnikh soyedineniy*, 1969, no. 5, pp. 48–49. (in Russ.).
26. Lindberg L.E., Willfor S.M., Holmbom B.R. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 2004, vol. 31, pp. 137–147. DOI: 10.1007/s10295-004-0132-y.
27. Tyukavkina N.A., Gromova A.S., Lutskiy V.I., Chubarova I.S. *Khimiya prirodnikh soyedineniy*, 1974, no. 1, pp. 78–79. (in Russ.).
28. Lutskiy V.I., Gromova A.S., Tyukavkina N.A. *Khimiya prirodnikh soyedineniy*, 1970, no. 3, p. 367. (in Russ.).
29. Pan H., Lundgren L.N. *Phytochemistry*, 1996, vol. 42, no. 4, pp. 1185–1189. DOI: 10.1016/0031-9422(96)00122-7
30. Tyukavkina N.A., Lutskiy V.I., Dzizenko A.K., Pentegova V.A. *Khimiya prirodnikh soyedineniy*, 1968, no. 4, pp. 249–250. (in Russ.).
31. Lutskiy V.I., Tyukavkina N.A., Shostakovskiy S.F. *Khimiya prirodnikh soyedineniy*, 1968, no. 6, p. 325. (in Russ.).
32. Lutskiy V.I., Gromova A.S., Tyukavkina N.A. *Khimiya prirodnikh soyedineniy*, 1971, no. 2, pp. 197–198. (in Russ.).

*Received June 29, 2018*

*Revised September 5, 2018*

*Accepted September 14, 2018*

**For citing:** Ostroukhova L.A., Fedorova T.E., Onuchina N.A., Levchuk A.A., Babkin V.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2018, no. 4, pp. 185–195. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2018044245.

