

Комплексные исследования содержания биологически активных веществ в продуктах деструкции кородревесных отходов, образующихся при длительном хранении

© 2023. Т. И. Ширшова, к. х. н., в. н. с.,
И. В. Бешлей, к. б. н., н. с.,
К. Г. Уфимцев, к. б. н., н. с.,

Институт биологии Коми научного центра
Уральского отделения Российской академии наук,
167982, Россия, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28,
e-mail: shirshova@ib.komisc.ru

Продолжено исследование содержания биологически активных веществ в образцах продуктов деструкции кородревесных отходов (КДО), взятых на глубине от 1 до 27 м короотвала ОАО «Сыктывкарский ЛДК». Показано, что содержание веществ, растворимых в гексане, составляет от 0,78 до 1,89% сухой массы КДО. Минимальное содержание обнаружено в первой (0,24%) и последней пробах (0,21%) на минимальной и максимальной глубине, максимальное – в пробах на глубине от 3 до 9 м (1,66–1,89%). Изменение содержания гексановых экстрактов (ГЭ) в сухой массе КДО в зависимости от глубины залегания не имеет чёткого закономерного характера.

Содержание ГЭ в сухом этилацетатном экстракте лежит в основном в пределах 50%. Минимальное содержание обнаружено в первой пробе на глубине до 1,5 м (34,9%), максимальное – в последней пробе на глубине 27,0 м, где оно достигает 66% сухой массы этилацетатного экстракта.

Анализ полученных гексановых экстрактов методом тонкослойной хроматографии показал, что ГЭ содержат вещества с коэффициентом подвижности 0,61, совпадающие с дигидрокверцетином и некоторыми фенолокислотами, ранее уже обнаруженными нами в этилацетатных экстрактах.

Методом высокоэффективной жидкостной хроматографии в гексановых экстрактах обнаружено шесть соединений фенольной природы, из которых четыре по хроматографическим и спектральным характеристикам идентифицированы как протокатеховая, ванилиновая кислоты, *транс-п*-кумаровая кислота и её *цис*-изомер.

Ключевые слова: кородревесные отходы, этилацетатные экстракты, гексановые экстракты, флавоноиды, кверцетин, дигидрокверцетин, фенолокислоты.

Comprehensive study of the content of biologically active substances in the destruction products of bark-wood waste generated during long-term storage

© 2023. T. I. Shirshova ORCID: 0000-0001-8938-612X*
I. V. Beshley ORCID: 0000-0002-9195-332X*
K. G. Ufimtsev ORCID: 0000-0002-8708-4213*

Institute of Biology of the Komi Science Centre of the Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences,
28, Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Russia, 167982,
e-mail: shirshova@ib.komisc.ru

The study of the content of biologically active substances in the samples of the bark-wood waste destruction products (BWW) was continued. BWW were taken at a depth of 1 to 27 meters of the bark dump of OJSC Syktyvkar LDK, located in the Forestry microdistrict of Syktyvkar. The hexane-soluble substances content is in ranges from 0.78 to 1.89% of the dry mass of BWW. The minimum content was found in the first (0.24%) and last samples (0.21%) at the minimum and maximum depth, the maximum – in samples at a depth of 3 to 9 m (1.66–1.89%). The variation of the hexane extract (HE) content in BWW's dry mass depending on the depth of occurrence is not clear.

The HE content in the dry ethyl acetate extract is mainly within 50%. The minimum content was found in the first sample at a depth of up to 1.5 m (34.9%), the maximum in the last sample at a depth of 27.0 m, where it reaches 66% of the dry weight of the ethyl acetate extract.

The analysis of the obtained hexane extracts by thin-layer chromatography showed that the HE contains substances with a mobility coefficient of 0.61, which coincide with dihydroquercetin and some phenolic acids previously detected in ethyl acetate extracts.

Six phenolic compounds were detected by high-performance liquid chromatography in hexane extracts. Protocatechic acid, vanillic acid, trans-p-coumaric acid and its cis isomer were identified by chromatographic and spectral characteristics.

Keywords: bark and wood waste, ethyl acetate extracts, hexane extracts, flavonoids, quercetin, dihydroquercetin, phenolic acids.

Утилизация отходов целлюлозно-бумажной и лесоперерабатывающей промышленности в нашей стране представляет большую и наиболее острую проблему, которая чрезвычайно актуальна и для Республики Коми [1]. Глубокая переработка древесины с превращением её основных компонентов в товарные продукты с высокой добавленной стоимостью является одним из направлений био-рефайнинга, к которому можно отнести и использование для этих целей отходов кородревесных отходов. Почти 100 лет (с 1926 г.) существует свалка кородревесных отходов в микрорайоне Лесозавод г. Сыктывкара. Наиболее активный период накопления отходов приходился на 1950–2010 гг. Полигон представляет собой отвал кородревесных отходов длительного срока хранения (КДОДСХ) площадью до 11 га, высотой до 27 м, объёмом до 1120 тыс. м³ [2, 3].

Основными видами перерабатываемой древесины в Республике Коми является древесина ели, сосны и берёзы с небольшой примесью пихты. От 7 до 15% их объёма составляет кора. По химическому составу кора существенно отличается от древесины соответствующих деревьев и является уникальным и практически неисчерпаемым источником целого ряда ценных биологически активных веществ (БАВ). В коре содержание целлюлозы значительно меньше, чем в древесине, но гораздо выше содержание экстрактивных и минеральных веществ. Экстракцией растворителями разной полярности из неё можно извлечь широкий спектр БАВ, в том числе с высокими антиоксидантными и другими полезными свойствами [4–8].

При изучении химического состава полифенольного комплекса некоторых видов пихты, ели и сосны было показано, что он является сложной смесью фенольных соединений, в том числе флавоноидов, представляющих одну из самых многочисленных и широко распространённых групп природных соединений, интересных как с экологической точки зрения [9–14], так и с точки зрения использования их в качестве биологически активных препаратов и других ценных продуктов с высокой добавленной стоимостью [15–18].

Ряд новых природных БАВ с широким спектром биологической активности был выделен из лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) и лиственницы даурской (или Л. Гмелина) (*Larix gmelinii* (Rupr.) Kuzen.). В коре лиственницы сибирской основными флавоноидными соединениями являются дигидрокверцетин (ДГК) и дигидрокемпферол, совместное присутствие которых в древесине лиственницы считают хемотаксономическим признаком рода *Larix* Mill. [19, 20]. Ценными компонентами антиоксидантного комплекса коры и древесины лиственницы сибирской являются также фенолокислоты – оксibenзойные (*n*-оксibenзойная, протокатеховая, ванилиновая, сиреневая) и гидроксикоричные кислоты (*para*-кумаровая, феруловая, кофейная). Во фракции фенолокарбоновых кислот, выделенной из смолистого экстракта древесины, были обнаружены методами тонкослойной (ТСХ) и высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) и идентифицированы ванилиновая и феруловая кислоты [19, 21].

В настоящее время исследования, связанные с поиском и выделением ценных экстрактивных веществ из КДО и их комплексной переработкой в полезные для народного хозяйства продукты, имеют большую актуальность. В связи с этим нами продолжены комплексные исследования содержания БАВ и других полезных веществ в продуктах деструкции кородревесных отходов, взятых с отвала КДО (отвал – участок складирования отходов лесопильного производства) по градиенту высоты полигона, методом бурения двух скважин, представляющих выработки круглого сечения, вертикально пробурённые с поверхности отвала на глубину 20 м (скважина 1) и 27 м (скважина 2). Было отобрано 16 проб из скважины 1 и 13 проб – из скважины 2.

Экстракцией органическими растворителями различной полярности были получены экстрактивные вещества, представляющие интерес как источник БАВ с высокой антиоксидантной активностью (АОА). Было показано, что в зависимости от глубины залегания масса этилацетатных экстрактов из КДО составляет 1,8–2,9% (скважина 1) и 1,4–4,4% сухого ве-

щества (скважина 2). Содержание фенольных соединений в этилацетатном экстракте лежит в интервале 49–64 (скважина 1) и 45–57% сухой массы экстрактов (скважина 2). На основании данных ТСХ и ВЭЖХ установлено, что в состав фенольной фракции входит до восьми соединений, из которых четыре представлены гидрокоричными и фенолокислотами, а также вещество, по хроматографическим и спектральным характеристикам идентифицированное как дигидрокверцетин [3].

Целью нашей работы является комплексное исследование содержания биологически активных веществ в кородревесных отходах длительного срока хранения при экстракции растворителями различной полярности.

Объекты и методы исследования

Продолжены исследования химического состава образцов КДО, взятых на короотвале ОАО «Лесопромышленной компании «Сыктывкарский ЛДК» на различной глубине [3]. Сухие этилацетатные экстракты, полученные из проб, взятых на разной глубине, настаивали с гексаном в течение трёх суток при соотношении твёрдого вещества и экстрагента 1 : 100. Гексановые экстракты сливали декантацией. Выпавшие при стоянии на холоде осадки белого цвета отделяли фильтрацией на складчатом фильтре. Маточки упаривали в вакууме на роторном испарителе досуха и определяли массу гравиметрическим методом.

Тонкослойную хроматографию проводили на пластинах «Sorbfil» (Россия) размером 10 × 10 см и DC-Fertigfolien Alugram® Xtra SIL G/UV₂₅₄ размером 20 × 20 см (Germany) в системе растворителей этилацетат-толуол-муравьиная кислота-вода 30 : 10 : 5 : 1. Проявитель – 10%-ный раствор фосфорномолибденовой кислоты (ФМК) в 95%-ном этиловом спирте. В качестве растворов сравнения (ТСХ и ВЭЖХ) использовали стандартные образцы кверцетина, дигидрокверцетина, апигенина, рутина, галловой, феруловой, ванилиновой, сиреневой, протокатеховой, *n*-кумаровой и кофейной кислот.

Высокоэффективную жидкостную хроматографию осуществляли в изократическом режиме на хроматографе Smartline (Knauer, Германия), снабжённом аналитической колонкой Kromasil 100-5C 18, 4 × 250 мм, петля – 20 мкл и детектор Smartline 2600 на диодной матрице. Детекцию проводили при длине волны 254 нм. В качестве подвижной фазы использовали смесь вода : ацетонитрил : фосфорная кислота =

85 : 15 : 0,05. Скорость элюирования – 0,7 мл/мин, температура колонки 25 °С. Образцы перед анализом очищали методом твёрдофазной экстракции на патронах ДИА-ПАК C16. В качестве стандартов использовали ванилиновую кислоту (Fluka), *транс*-кумаровую (Alfa Aesar), протокатеховую (Alfa Aesar), сиреневую (Acros), феруловую (Acros), кофейную (Sigma) кислоты.

Результаты и обсуждение

Изменение содержания ГЭ в сухой массе КДО в зависимости от глубины залегания не имеет чёткого закономерного характера. Как видно на рисунке 1, минимальное его содержание обнаружено в первой (0,24%) и последней пробах (0,21%) на минимальной и максимальной глубине, максимальное – в пробах на глубине от 3 до 9 м (1,66–1,89%).

Содержание ГЭ в сухом этилацетатном экстракте лежит в основном в пределах 50%. Минимальное содержание обнаружено в первой пробе на глубине до 1,5 м (34,9%), максимальное – в последней пробе на глубине 27,0 м и достигает 66% сухой массы этилацетатного экстракта (рис. 2).

Выпавшие из ГЭ при стоянии на холоде осадки белого цвета хорошо растворяются в хлороформе и эфире. На ТСХ растворённые в хлороформе осадки дают одинаковую картину, представлены вытянутым пятном с максимальной концентрацией в точке, отвечающей $R_f = 0,61$ (соединение 1), совпадающей как с хроматографической подвижностью ДГК, так и некоторых фенолокислот (табл. 1).

На пластинах Sorbfil с длиной пробега 10 см коэффициенты подвижности ванилиновой, кумаровой и феруловой кислот различаются только в четвёртом знаке, то есть практически совпадают. На пластинах Alugram разброс несколько больше. Все стандартные и исследуемые вещества в УФ-свете имеют интенсивное сине-голубое свечение. При проявлении ФМК пятна апигенина, рутина, ванилиновой и протокатеховой кислот окрашиваются в бежевый цвет, все остальные – в густо-синий.

Результаты ВЭЖХ-анализа, представленные в таблице 2, показывают, что в состав гексановых экстрактов входит шесть соединений фенольной природы. Соединения со временем удерживания t_R 6,2, 11,4, 22,3 мин и их УФ-спектры полностью совпадают со стандартными образцами протокатеховой, ванилиновой и *n*-кумаровой кислот. Идентичность УФ-спектров соединения 3 и *транс*-*n*-

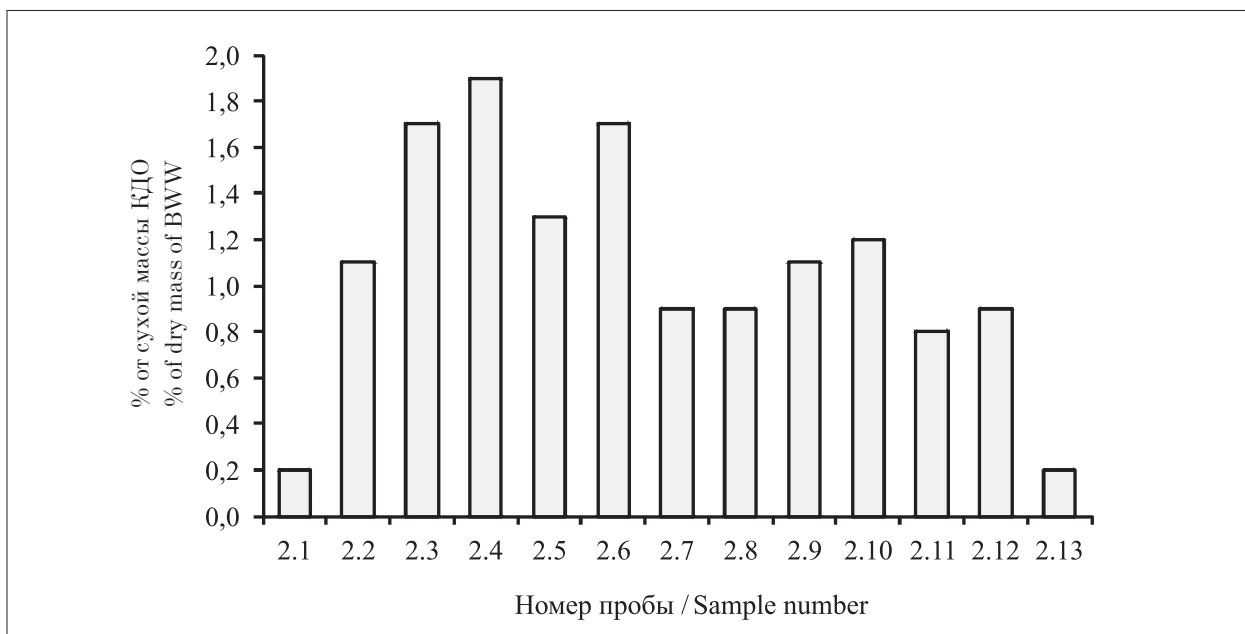


Рис. 1. Содержание гексановой фракции в сухой массе КДО на разной глубине залегания. Примечание (рис. 1 и 2): номер пробы (глубина залегания, м): 2.1 (0–1,5), 2.2 (1,5–3,0), 2.3 (3,0–4,0), 2.4 (4,0–6,0), 2.5 (6,0–7,5), 2.6 (7,5–9,0), 2.7 (9,0–12,0), 2.8 (12,0–15,0), 2.9 (15,0–18,0), 2.10 (18,0–21,0), 2.11 (21,0–24,0), 2.12 (24,0–27,0), 2.13 (27,0)

Fig. 1. The hexane fraction content in the BWW dry mass at different depths of occurrence. Note (fig. 1 and 2): sample number (sample depth, m): 2.1 (0–1,5), 2.2 (1,5–3,0), 2.3 (3,0–4,0), 2.4 (4,0–6,0), 2.5 (6,0–7,5), 2.6 (7,5–9,0), 2.7 (9,0–12,0), 2.8 (12,0–15,0), 2.9 (15,0–18,0), 2.10 (18,0–21,0), 2.11 (21,0–24,0), 2.12 (24,0–27,0), 2.13 (27,0)

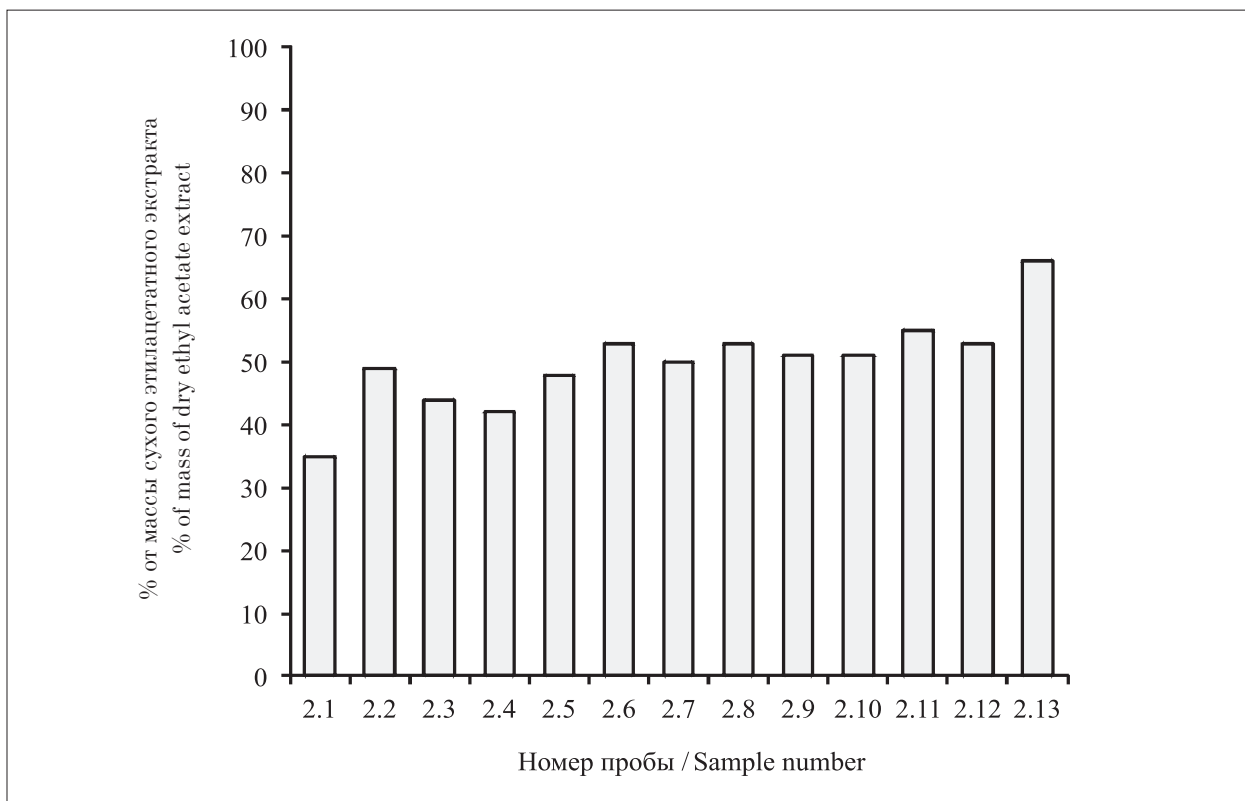


Рис. 2. Содержание гексановой фракции в сухом этилацетатном экстракте КДО на разной глубине залегания

Fig. 2. The hexane fraction content in BWW dry ethyl acetate extract at different depths of occurrence

Таблица 1 / Table 1

Хроматографическая подвижность (R_f) стандартов и компонентов гексановых экстрактов
Chromatographic mobility (R_f) of standards and hexane extract components

Название вещества / Name of the substance	Вид пластин / Plate type	
	Sorbfil	Alugram
Рутин / Rutine	0,06	0,04
Дигидрокверцетин / Dihydroquercetin	0,61	0,61
Кверцетин / Quercetin	0,67	0,67
Апигенин / Apigenin	0,69	0,65
Галловая кислота / Gallic acid	0,63	0,53
Кофейная кислота / Caffeic acid	0,67	0,62
Ванилиновая кислота / Vanillic acid	0,71	0,65
Кумаровая кислота / Coumaric acid	0,71	0,66
Феруловая кислота / Ferulic acid	0,71	0,63
Соединение 1 / Compound 1	0,61	0,61
Соединение 2 / Compound 2	0,36	0,43

Таблица 2 / Table 2

Характеристики фенольных соединений, обнаруженных методом ВЭЖХ в гексановых экстрактах
КДО / Characteristics of phenolic compounds detected by HPLC in BWW hexane extracts

Соединение Compound	Время удерживания (t_R), мин Retention time (t_R), min	Спектральные данные (λ_{max}), нм Spectral data (λ_{max}), nm
Протокатеховая кислота Protocatechic acid	6,2	218, 258, 295
Соединение 1 / Compound 1	7,6	207, 253
Ванилиновая кислота Vanillic acid	11,4	217, 260, 295
Соединение 2 / Compound 2	13,7	220, 282
<i>цис</i> - <i>n</i> -кумаровая кислота (соединение 3) / <i>cis-p</i> -coumaric acid (compound 3)	17,6	230, 280, 310
<i>транс</i> - <i>n</i> -кумаровая кислота <i>trans-p</i> -coumaric acid	22,3	225, 280, 309

кумаровой кислоты, в которых присутствуют полосы поглощения 280 и 310 нм, характерные для кумаринов [22], позволяет предположить, что соединение 3 является её *цис*-изомером.

Испанскими учёными при исследовании фенольных соединений винного осадка были обнаружены два изомера кумаровой кислоты с одинаковым молекулярным ионом в масс-спектре ($[M-H]^- 163 m/z$) – *транс*-*n*-кумаровая кислота и её *цис*-изомер [22].

По высоте пиков на хроматограмме главными компонентами в экстракте являются соединения 1 и 3, структура которых требует дополнительного уточнения, а также ванилиновая кислота, содержание которой составляет 0,014% массы экстракта, *цис*- и *транс*-*n*-кумаровые и протокатеховая кислоты, обнаруженные в следовых количествах. Низкая концентрация веществ фенольной природы связана с присутствием в отвалах не только отходов леспро-

мышленности, но и некоторых видов бытового мусора. По информации администрации МОГО «Сыктывкар», основное количество кородревесных отходов в отвалах было накоплено в период с 1950 по 2010 гг. В 1990–2000-е гг. на свалку вывозили и смёт с улиц города – песок, камни, бытовой мусор, листья, ветки [2].

Заключение

Исследовано содержание биологически активных веществ в продуктах деструкции кородревесных отходов, взятых на разной глубине короотвала ОАО «Сыктывкарский ЛДК», расположенного в микрорайоне Лесозавод г. Сыктывкара. Установлено содержание веществ, растворимых в гексане, составляющее от 0,78 до 1,89% сухой массы КДО. Минимальное содержание обнаружено в первом образце (0,24%), взятом на глубине до 3 м,

и в последнем образце на глубине 27 м (0,21%). Наибольшее количество ГЭ содержится в пробах на глубине от 3 до 9 м (1,66–1,89%). Изменение содержания ГЭ в сухой массе КДО в зависимости от глубины залегания не имеет чёткого закономерного характера.

Содержание ГЭ в сухом этилацетатном экстракте лежит в основном в пределах 50%. Минимальное содержание обнаружено в этилацетатных экстрактах первой пробы, взятой на глубине до 1,5 м (34,9%), максимальное – в последней пробе, взятой на глубине 27,0 м, где оно достигает 66% сухой массы этилацетатного экстракта.

Анализ полученных гексановых экстрактов методом ТСХ показал, что они содержат вещества с коэффициентом подвижности 0,61, совпадающие с ДГК и некоторыми фенолоксидами, ранее обнаруженными нами в этилацетатных экстрактах. Методом ВЭЖХ в гексановых экстрактах обнаружено шесть соединений фенольной природы, из которых четыре по хроматографическим и спектральным характеристикам идентифицированы как протокатеховая, ванилиновая, *транс-п*-кумаровая кислота и её *цис*-изомер.

Как показали результаты ТСХ-анализа, компонентный состав фенольных фракций всех исследованных нами образцов КДО, взятых на разной глубине, идентичен. Количественное содержание различается, но закономерностей в зависимости от глубины залегания не обнаружено, что объясняется неоднородностью сбрасываемых отходов. Методом ВЭЖХ подтверждено наличие в этилацетатных экстрактах дигидрокверцетина, принятого за эталон высокой антиоксидантной активности, установлено наличие четырёх фенолоксилов – протокатеховой, ванилиновой, *транс-п*-кумаровой кислоты и её *цис*-изомера, также проявляющих высокую АОА, что открывает перспективы использования различных фракций КДО для разработки субстанций различного народнохозяйственного назначения.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания «Научно-обоснованные биотехнологии для улучшения экологической обстановки и здоровья человека на Севере». Регистрационный номер в системе ЕГИСУ 1021051101411-4-1.6.23

Литература

1. Зелёная экономика и цели устойчивого развития для России: коллективная монография / Под науч. ред.

С.Н. Бобылёва, П.А. Кирюшина, О.В. Кудрявцевой. М.: Экономический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, 2019. 284 с.

2. Володин В.В., Шубаков А.А., Володина С.О., Шергина Н.Н., Васильев Р.Г. Тенденции в развитии методов утилизации коры и кородревесных отходов длительного хранения (обзор) // *Аграрная наука Северо-Востока*. 2022. Т. 23. № 5. С. 611–632.

3. Уфимцев К.Г., Бешлей И.В., Ширшова Т.И. Содержание экстрактивных веществ в продуктах деградации кородревесных отходов, образующихся при длительном хранении, с учётом вертикального градиента // *Теоретическая и прикладная экология*. 2022. № 4. С. 132–138.

4. Wenig C., Dunlop J.W.C., Hehemeyer-Cürten J., Reppe F.J., Horbelt N., Krauthausen K., Fratzl P., Eder M. Advanced materials design based on waste wood and bark // *Philosophical transactions of the Royal Society a mathematical, physical and engineering sciences*. 2021. V. 379. No. 2206. Article No. 20200345.

5. Капица Е.А., Шорохова Е.В., Ромашкин И.В., Галибина Н.А., Никерова К.М., Казарцев И.А. Разложение коры в составе порубочных остатков после сплошных рубок в среднетаёжных лесах // *Лесоведение*. 2019. № 1. С. 38–48.

6. Дейнеко И.П., Дейнеко И.В., Белов Л.П. Исследование химического состава коры сосны // *Химия растительного сырья*. 2007. № 1. С. 19–24.

7. Kulikova Yu., Sukhikh S., Babich O., Margina Yu., Krasnovskikh M., Noskova S. Feasibility of old bark and wood waste recycling // *Plants*. 2022. V. 11. No. 12. P. 1–17.

8. Колесникова А.В. Анализ образования и использования древесных отходов на предприятиях лесопромышленного комплекса России // *Актуальные вопросы экономических наук*. 2013. № 33. С. 116–120.

9. Щербатов А.В., Чистякова М.В., Усманов И.Ю. Экологические аспекты регуляции пластичности накопления флавоноидов на Южном Урале // *Вестник Башкирского университета*. 2011. Т. 16. № 4. С. 1198–1205.

10. Полякова Л.В., Ершова Э.А. Изменчивость фенольных соединений у некоторых травянистых и древесных растений от межпопуляционного до внутрииндивидуального (эндогенного) уровня // *Химия растительного сырья*. 2000. № 1. С. 121–129.

11. Dixon R.A., Pasinetti G.M. Flavonoids and isoflavonoids: from plant biology to agriculture and neuroscience // *Plant Physiology*. 2010. V. 154. No. 2. P. 453–457.

12. Барабой В.А. Фармакология флавоноидов // *Материалы VII международного симпозиума по фенольным соединениям: фундаментальные и прикладные аспекты*. М.: Изд-во Института физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, 2009. С. 26–27.

13. Тюкавкина Н.А., Зурабян С.Э., Белобородов В.Л., Лузин А.П., Селиванова И.А., Артемьева Н.Н.,

Хвостова А.И. Органическая химия. Учебник для вузов. Книга 2. Специальный курс. М.: Дрофа, 2008. 592 с.

14. Высочина Г.И. Проблемы изменчивости в хемотаксономических исследованиях растений // Сибирский ботанический вестник. 2007. Т. 2. Вып. 1. С. 101–110.

15. Громова А.С., Луцкий В.И., Ганенко Т.В., Тюкавкина Н.А. Флавоноиды из коры некоторых видов пихты, ели и сосны // Химия древесины. 1978. № 4. С. 103–105.

16. Фёдорова Т.Е., Бабкин В.А. Экстрактивные вещества корней *Picea obovata* Ledeb. // Химия растительного сырья. 2016. № 4. С. 165–168.

17. Metsämuuronen S., Sirén H. Bioactive phenolic compounds, metabolism and properties: a review on valuable chemical compounds in Scots pine and Norway spruce // Phytochemistry Reviews. 2019. V. 18. P. 623–664.

18. Бабкин В.А., Остроухова Л.А., Иванова С.З., Иванова Н.В., Медведева Е.Н., Малков Ю.А., Трофимова Н.Н., Фёдорова Т.Е. Продукты глубокой химической переработки биомассы лиственницы. Технология получения и перспективы использования // Российский химический журнал. 2004. Т. 48. № 3. С. 62–69.

19. Бабкин В.А., Остроухова Л.А., Трофимова Н.Н. Биомасса лиственницы: от химического состава до инновационных продуктов. Новосибирск: Изд-во Сибирского отделения РАН, 2011. 235 с.

20. Бабкин В.А. Экстрактивные вещества древесины лиственницы: химический состав, биологическая активность, перспективы практического использования // Инноватика и экспертиза. 2017. Вып. 2 (20). С. 210–224.

21. Блажей А., Шутый Л. Фенольные соединения растительного происхождения. М.: Мир, 1977. 239 с.

22. Mir-Cerd A., Carretero I., Coves J.R., Pedrouso A., Castro-Barros C.M., Alvarino T., Cortina J.L., Saurina J., Granados M., Sentellas S. Recovery of phenolic compounds from wine lees using green processing: Identifying target molecules and assessing membrane ultrafiltration performance // Science of the Total Environment. 2023. V. 857. Article No. 159623.

References

1. Green Economy and the goals of sustainable development for Russia: a collective monograph / Eds. S.N. Bobylev, P.A. Kiryushin, O.V. Kudryavtseva. Moskva: Ekonomicheskiiy fakultet MGU imeni M.V. Lomonosova, 2019. 284 p. (in Russian).

2. Volodin V.V., Shubakov A.A., Volodina S.O., Shergina N.N., Vasilov R.G. Trends in the development of methods of disposal of bark and bark-wood waste of long-term storage (review) // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2022. V. 23. No. 5. P. 611–632 (in Russian). doi: 10.30766/2072-9081.2022.23.5.611-632

3. Ufimtsev K.G., Beshley I.V., Shirshova T.I. The content of extractive substances in the products of destruction of bark-woods wastes generated during long-

term storage, taking into account the vertical gradient // Theoretical and Applied Ecology. 2022. No. 4. P. 144–150 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2022-4-144-150

4. Wenig C., Dunlop J.W.C., Hehemeyer-Cürten J., Reppe F.J., Horbelt N., Krauthausen K., Fratzi P., Eder M. Advanced materials design based on waste wood and bark // Philosophical transactions of the Royal Society a mathematical, physical and engineering sciences. 2021. V. 379. No. 2206. Article No. 20200345. doi: 10.1098/rsta.2020.0345

5. Kapitsa E.A., Shorokhova E.V., Romashkin I.V., Galibina N.A., Nikerova K.M., Kazartsev I.A. Decomposition of bark as part of logging slashes after clearcuts in forests of middle taiga // Lesovedenie. 2019. No. 1. P. 38–48 (in Russian). doi: 10.1134/S0024114819010066

6. Deyneko I.P., Deyneko I.V., Belov L.P. Study of the chemical composition of pine bark // Khimiya rastitelnogo syrya. 2007. No. 1. P. 19–24 (in Russian).

7. Kulikova Yu., Sukhikh S., Babich O., Margina Yu., Krasnovskikh M., Noskova S. Feasibility of old bark and wood waste recycling // Plants. 2022. V. 11. No. 12. Article No. 1549. doi: 10.3390/plants11121549

8. Kolesnikova A.V. Analysis of the formation and use of wood waste at enterprises of the Russian timber industry // Aktualnyye voprosy ekonomicheskikh nauk. 2013. No. 33. P. 116–120 (in Russian).

9. Scherbakov A.V., Chistyakova M.V., Usmanov I.Yu. Ecological aspects of regulation of the plasticity of accumulation of flavonoids in the Southern Urals // Vestnik Bashkirskogo universiteta. 2011. V. 16. No. 4. P. 1198–1205 (in Russian).

10. Polyakova L.V., Ershova E.A. Variability of phenolic compounds in some herbaceous and woody plants from the inter-population to intra-individual (endogenous) level // Khimiya rastitelnogo syrya. 2000. No. 1. P. 124–129 (in Russian).

11. Dixon R.A., Pasinetti G.M. Flavonoids and isoflavonoids: from plant biology to agriculture and neuroscience // Plant Physiology. 2010. V. 154. No. 2. P. 453–457. doi: 10.1104/pp.110.161430

12. Baraboy V.A. Pharmacology of flavonoids // Materialy VII mezhdunarodnogo simpoziuma po fenolnym soedineniyam: fundamentalnye i prikladnye aspekty. Moskva: Izdatelstvo Instituta fiziologii rasteniy im K.A. Timiryazeva RAN, 2009. P. 26–27 (in Russian).

13. Tyukavkina N.A., Zurabyan S.E., Beloborodov V.L., Lugin A.P., Selivanova I.A., Artemyeva N.N., Khvostova A.I. Organic chemistry. Textbook for universities. Book 2. Special Course. Moskva: Drofa, 2008. 592 p. (in Russian).

14. Vysochina G.I. Problems of variability at chemotaxonomic studies of plants // Sibirskiy botanicheskiy vestnik. 2007. V. 2. No. 1. P. 101–110 (in Russian).

15. Gromova A.S., Lutskiy V.I., Tyukavkina N.A. Flavonoids from the bark of some fir, spruce and pine species // Khimiya drevesiny. 1978. No. 4. P. 99–102 (in Russian).

16. Fedorova T.E., Babkin V.A. Extractive substances of the roots of *Picea obovata* Ledeb. // *Khimiya rastitelnogo syrya*. 2016. No. 4. P. 165–168 (in Russian). doi: 10.14258/jcprm.2016041401
17. Metsämuuronen S., Sirén H. Bioactive phenolic compounds, metabolism and properties: a review on valuable chemical compounds in Scots pine and Norway spruce // *Phytochemistry Reviews*. 2019. V. 18. P. 623–664. doi: 10.1007/s11101-019-09630-2
18. Babkin V.A., Ostroukhova L.A., Ivanova S.Z., Ivanova N.V., Medvedeva E.N., Malkov Yu.A., Trofimova N.N., Fedorova T.E. Products of deep chemical processing of larch. Production technology and prospects for use // *Rossiyskiy Khimicheskiy Zhurnal*. 2004. V. 48. No. 3. P. 62–69 (in Russian).
19. Babkin V.A., Ostroukhova L.A., Trofimova N.N. Larch biomass: from chemical composition to innovative products. Novosibirsk: Izdatelstvo SO RAN, 2011. 235 p. (in Russian).
20. Babkin V.A. Extractive substances of larch wood: chemical composition, biological activity and prospects for practical use // *Innovatika i ekspertiza*. 2017. No. 2 (20). P. 210–224 (in Russian).
21. Blazhey L., Shutyy A. Phenolic compounds of plant origin. Moskva: Mir, 1977. 239 p. (in Russian).
22. Mir-Cerdà A., Carretero I., Coves J.R., Pedrouso A., Castro-Barros C.M., Alvarino T., Cortina J.L., Saurina J., Granados M., Sentellas S. Recovery of phenolic compounds from wine lees using green processing: Identifying target molecules and assessing membrane ultrafiltration performance // *Science of the Total Environment*. 2023. V. 857. Article No. 159623. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.159623