УДК 504.3.054:504.73 DOI:10.31677/2072-6724-2021-31-1-35–48

СОДЕРЖАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В КОРЕ *BETULA PENDULA* НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ

В. В. Макуха, аспирант
Т. И. Бокова, доктор биологических наук, профессор

Новосибирский государственный аграрный университет
E-mail: belkiruliat12.09@mail.ru

Ключевые слова: тритерпеновые сапонины, *Betula pendula*, антропогенные факторы, кумарины, гидроксикоричные кислоты, дубильные вещества.

Реферат. *Спектрофотометрическим методом определены основные группы биологически активных веществ, которые содержатся в коре Betula pendula: тритерпеновые сапонины, кумарины, гидроксикоричные кислоты, дубильные вещества. Установлено, что место произрастания влияет на содержание тритерпеновых сапонинов. Отмечается увеличение их содержания от антропогенной нагрузки. Сравнительный анализ количественного содержания кумаринов в образцах коры березы повислой показал близость показателей, поэтому можно сделать вывод, что место произрастания существенно не влияет на содержание кумаринов. Проведенные исследования показали, что все исследуемые образцы накапливают примерно одинаковое количество (около 1,5 %) гидроксикоричных кислот. Разница между содержанием исследуемых веществ невелика, но существует. Исследованиями содержания дубильных веществ установлено, что место произрастания берёзы повислой существенно не влияет на данный показатель. Но с увеличением антропогенного воздействия можно отметить повышение содержания данной группы БАВ. Изучение содержания аминокислот показало, что территория произрастания берёзы повислой влияет на их содержание в коре. Антропогенные факторы также оказывают влияние на содержание аминокислот, с увеличением антропогенной нагрузки на территорию произрастания содержание аминокислот становится выше.*

CONTENT OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES IN BETULA PENDULA BARK IN THE NOVOSIBIRSK REGION

V. V. Makukha, Graduate Student
T. I. Bokova, Doctor of Biological Sciences, Professor

Novosibirsk State Agrarian University

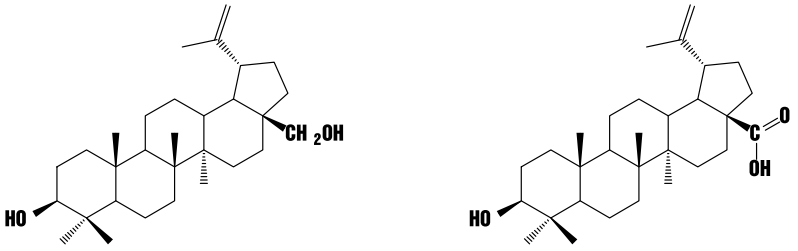
Key words: triterpene saponins, Betula pendula, anthropogenic factors, coumarins, hydroxycinnamic acids, tannins.

Abstract. *The main groups of biologically active substances contained in the bark of Betula pendula were determined by the spectrophotometric method: triterpene saponins, coumarins, hydroxycinnamic acids, tannins. It was found that the place of growth affects the content of triterpene saponins. There is an increase in their content from the anthropogenic load. A comparative analysis of the quantitative content of coumarins in samples of birch bark showed the similarity of indicators, so we can conclude that the place of growth does not significantly affect the content of coumarins. Studies have shown that all the samples under study accumulate approximately the same amount (about 1.5 %) of hydroxycinnamic acids. The difference between the content of the studied substances is small, but it exists. Studies of the content of tannins found that the place of growth of the hanging birch does not significantly affect this indicator. But with the increase in anthropogenic impact, we can note an increase in the content of this group of BAS. The study of the content of amino acids showed that the area of growth of the hanging birch affects their content in the bark. Anthropogenic factors also affect the content of amino acids, with an increase in the anthropogenic load on the growing area, the content of amino acids becomes higher.*

Береза – уникальное дерево, лечебные свойства березового сока и настоек почек березы известны давно, кроме этого, береза обладает высокой экологической пластичностью, благодаря чему приспосабливается к экстремальным условиям обитания. Береза может произрастать как на сфагновых болотах, так и на песчаных сухих почвах, при этом у неё изменяется видовой и форменный состав [1, 2]. Изучение литературных данных по биохимическим и морфологическим исследованиям березы повислой (*Betula pendula)* показывает, что у данного вида наблюдается низкая ферментативная активность, повышенная водоудерживающая способность, высокая ксероморфность. Данные показатели способствуют лучшей приспособленности к неблагоприятным условиям среды обитания. За счет своей экологической пластичности береза может образовывать зеленые зоны в условиях повышенного антропогенного воздействия и при большом количестве техногенных выбросов [3, 4].

Betula pendula в своей коре содержит биологически активные вещества, такие как тритерпеновые соединения, кумарины, аминокислоты, гидроксикоричные кислоты, дубильные вещества.

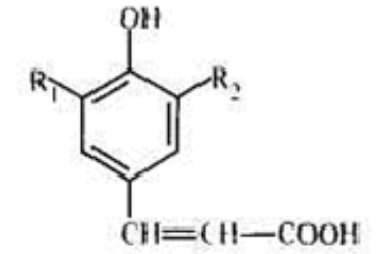
Тритерпеновое соединения представляют большой интерес, так как практически все тритерпеноиды, выделенные из растительных или животных объектов, являются биологически активными веществами (БАВ). Использование природных соединений в качестве биологически активных веществ стало одним из активно развивающихся направлений. В настоящее время большое внимание привлекают тритерпеноиды группы лупана ввиду их доступности и широкого спектра биологической активности. Эти соединения уверенно выдвигаются в качестве перспективных лекарственных препаратов. Не ослабевает интерес и к производным бетулина и бетулиновой кислоты (рис. 1) [5].



бетулин бетулиновая кислота

Рис. 1. Бетулин и бетулиновая кислота

Оксикоричные кислоты, или гидроксокоричные кислоты – это фенольные соединения, у которых бензольное кольцо связано с карбоксильной группой через этиленовую связь (рис. 2).



$R_1 = R_2 = H$ – n-оксикоричная кислота
$R_1 = OH$, $R_2 = H$ – кофейная кислота,
$R_1 = OCH_3$, $R_2 = H$ – феруловая кислота,
$R_1 = R_2 = OCH_3$ – синаповая кислота

Рис. 2. Оксикоричные кислоты

Оксикоричные кислоты встречаются практически у всех высших растений. Наиболее широко распространена кофейная кислота. Она часто образует димеры с алициклическими кислотами. Наиболее известны 3-кофеил-хинная кислота, или хлорогеновая (рис. 3), и её изомеры. Подобные сложные эфиры образуют и другие оксикоричные кислоты. Известны эфиры оксикоричных кислот с алифатическими кислотами (винной, яблочной, молочной) и гликозидные формы (рис. 4). Углеводный заместитель в гликозидах присоединяется через фенольный гидроксил или карбоксильную группу.

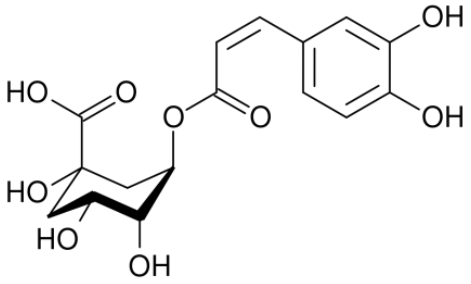


Рис. 3. Хлорогеновая кислота

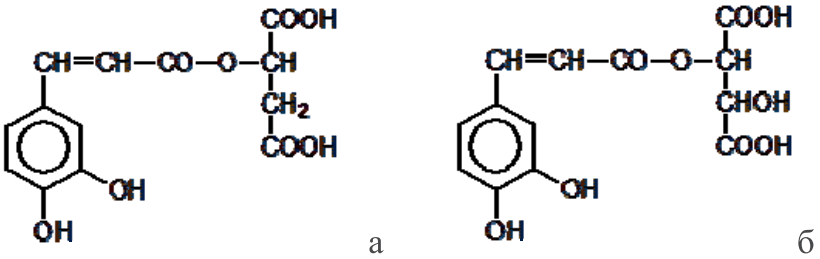


Рис. 4. Фазеолиновая (а) и цикориновая (б) кислоты

Известно много сложных углеводных производных, нередко оксикоричные кислоты входят в состав белков и полисахаридов.

Свободные оксикоричные кислоты представляют собой чаще бесцветные кристаллические вещества, хорошо растворимые в этиловом и метиловом спиртах, этилацетате, метилированные производные растворяются в эфире и хлороформе. Благодаря этиленовой связи оксикоричные кислоты способны к цис-транс-изомерии. В растениях обычно преобладает транс-форма. Цис- и транс-формы резко отличаются по физиологической активности. Цис-формы оксикоричных кислот стимулируют рост растений, а транс-формы не оказывают подобного действия или даже подавляют рост.

Кумарины – это природные органические соединения, которые представляют собой ненасыщенные ароматические лактоны, в основе которых лежит 5,6-бензо-α-пирон (кумарин) – лактон цис-орто-оксикоричной кислоты.

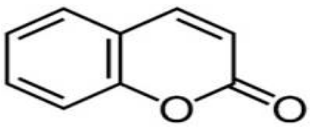


Рис. 5. Кумарин

Аминокислоты – органические соединения, в молекуле которых одновременно содержатся карбоксильные и аминные группы. Основные химические элементы аминокислот – это углерод (C), водород (H), кислород (O) и азот (N), хотя другие элементы также встречаются в ради-

кале определенных аминокислот. Известны около 500 встречающихся в природе аминокислот (хотя только 20 используются в генетическом коде). Аминокислоты могут рассматриваться как производные карбоновых кислот, в которых один или несколько атомов водорода заменены на аминогруппы.

Активное и подробное изучение бересты показывает, что она может проявлять антиоксидантную, антигипоксантную, гепатопротекторную, желчегонную, гиполипидемическую, противовоспалительную, противовирусную, противоопухолевую, адаптогенную, антимутагенную, иммуномодулирующую активность [6]. Такой большой спектр биологических свойств проявляется за счет содержания большого количества БАВ. В свою очередь, на качественный и количественный состав биологически активных веществ влияют экологические условия произрастания растений [7].

Факторы антропогенного характера сильно влияют на развитие растений. В настоящее время человеческое вмешательство очень активно, поэтому происходит ухудшение экологической ситуации.

Растения способны реагировать на загрязнители, но данная реакция очень сложна и неоднозначна. Это зависит от вида загрязнителя, времени воздействия, концентрации загрязнителя, способности растений поглощать загрязнители окружающей среды, состава почвы.

Кроме того, различные загрязнители проникают в растения разными способами, например газообразные – через устьица. Устьица открыты обычно днем, а ночью закрыты, поэтому воздействие газообразных токсинов интенсивно происходит днем. Токсины, которые проникли в клетки растений, оказывают ингибирующее влияние на фотосинтез. Наблюдается прямая зависимость подавления фотосинтеза от скорости поглощения загрязнителя. Опасными газообразными токсинами для растений являются двуокись серы, фтор, хлор, а также их соединения.

Растения, помимо газообразных загрязнителей, способны поглощать жидкие токсины, а также аэрозоли и даже аэрозоли металлов. Одним из самых распространенных и токсичных загрязнителей техногенного характера являются тяжелые металлы.

На содержание биологически активных веществ в органах березы негативно влияют выбросы автотранспорта, промышленные выбросы, световые загрязнения. К максимальному снижению БАВ приводит комплексное воздействие антропогенных факторов [8–11]. Помимо антропогенного воздействия, необходимо принимать во внимание, что биологическая продуктивность лесов определяется климатическими факторами, а также учитывать уровни изменчивости –онтогенетические и ценотические [12].

Целью исследования является определение влияния антропогенных факторов на содержание тритерпеновых сапонинов, кумаринов, гидроксикоричных кислот, аминокислот в коре *Betula pendula,* отобранной в Новосибирске и Новосибирской области.

Для того, чтобы достичь поставленной цели, решали следующие задачи:

1. Установить содержание тритерпеновых сапонинов в образцах *Betula pendula* спектрофотометрическим методом и определить влияние места произрастания *Betula pendula* на содержание тритерпеновых сапонинов в образцах бересты.

2. Определить содержание кумаринов в коре *Betula pendula* спектрофотометрическим методом в пробах, отобранных в Новосибирске и Новосибирской области, и установить влияние места произрастания *Betula pendula* на содержание кумаринов в образцах бересты.

3. Выявить содержание гидроксикоричных кислот в образцах *Betula pendula* спектрофотометрическим методом и определить влияние места произрастания *Betula pendula* на содержание гидроксикоричных кислот в образцах бересты.

4. Определить содержание аминокислот в образцах *Betula pendula* спектрофотометрическим методом и изучить влияние места произрастания *Betula pendula* на содержание аминокислот в образцах бересты.

Выбор районов для отбора проб сделан на основе исследований геомониторинга природной среды Л. К. Зятьковой и И. В. Лесных. Ими были определены ареалы наиболее острых экологических ситуаций с учетом метеорологических факторов (роза ветров, зоны наибольшего выпадения осадков в теплый и холодный период года) и схемы геоэкологического потенциала с выделением зон повышенного экологического риска [13].

Для решения поставленных задач провели одну серию исследований. Экспериментальную часть осуществляли в ГБПОУ НСО «Новосибирский химико-технологический колледж им. Д. И. Менделеева» и в Новосибирском государственном аграрном университете.

В каждой точке исследования изучено по 10 деревьев *Betula pendula*. Возраст растений, используемых для изучения, был одинаковым. Возраст дерева можно определить следующим образом: у ствола дерева замеряется диаметр на высоте пня и на высоте груди. Для того чтобы установить возрастную группу, на лесосечных пнях измеряется средний прирост за один год, при этом учитывается толщина коры. Методом деления диаметра дерева на средний прирост и определяется возрастная группа дерева.

Для определения количественного содержания тритерпеновых сапонинов использовали прямой спектрофотометрический метод. Брали навеску сырья массой 1,0 г, предварительно измельченного до размера частиц 3 мм, помещали в колбу с обратным холодильником и экстрагировали 96 %-м этиловым спиртом на водяной бане в течение 30 мин, отсчет времени вели с момента закипания. Затем реакционную смесь в горячем виде фильтровали через бумажный фильтр, после чего фильтр возвращали в колбу с сырьем. Экстракцию повторяли дважды в тех же условиях. Полученные фильтраты объединяли и замеряли точный объем извлечения. Оптическую плотность извлечений измеряли на спектрофотометре при длине волны 286 нм в кювете с толщиной 10 мм. При величинах оптической плотности (D) более 0,8 необходимо проводить разведение извлечений. Определение суммы тритерпеновых сапонинов осуществляли в пересчете на бетулин. Раствором для сравнения является 96 %-й спирт этиловый.

Расчет содержания тритерпеновых сапонинов производили по формуле

$$X = D \times V_{изв} \times V_{разв} \times m_1 \times 100 / D_0 \times V_{ал} \times m \times V \times (100 - W),$$

где D – оптическая плотность анализируемого раствора;

$V_{изв}$ – объем анализируемого извлечения, мл;

$V_{разв}$ – объем разведения анализируемого извлечения, мл;

m_1 – навеска ГСО бетулина, г;

D_0 – оптическая плотность раствора ГСО бетулина;

$V_{ал}$ – объем аликвоты анализируемого извлечения, мл;

m – навеска сырья, г;

V – объем раствора ГСО бетулина, мл;

W – потеря в массе при высушивании сырья,%.

Результаты по определению тритерпеновых сапонинов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Содержание тритерпеновых сапонинов в образцах бересты *B. pendula* в зависимости от места произрастания,%

Образцы	96 %-е спиртовое извлечение	Суммарное содержание тритерпеновых сапонинов
1 (контроль)	25,55±1,27	25,55±0,30
2	26,00±1,35*	26,00±0,62***
3	30,34±1,51*	30,34±2,90***
4	31,01±1,58*	31,01±1,46**

Примечание. Здесь и далее: *P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001.

Образцы: 1 – берёзовый лес, Чулымский район; 2 – берёзовый колок, г. Барабинск; 3 – берёзовый колок, г. Новосибирск; 4 – берёзовый лес, Искитимский район.

Проведенные исследования показали, что место произрастания влияет на содержание тритерпеновых сапонинов. Отмечается зависимость их содержания и от антропогенной нагрузки. С увеличением антропогенной нагрузки возрастает содержание данной группы БАВ.

По результатам исследования установлено также, что содержание гидроксикоричных кислот в Барабинском районе в образцах коры березы выше на 1,76 % (P<0,001), чем в Чулымском районе, в Новосибирске и Искитимском районе – на 18,74 (P<0,001) и 21,37 % (P<0,01) соответственно.

Содержание кумаринов в сырье определяли прямым спектрофотометрическим методом. Брали навеску сырья массой 0,25 г, предварительно сырье измельчали до размера частиц 3 мм, экстрагировали трехкратно 50 мл 70 %-го спирта этилового. Для экстракции в плоскодонную коническую колбу объемом 100 мл помещали измельченную навеску сырья, присоединяли ее к обратному холодильнику и кипятили на водяной бане 30 мин. Полученный экстракт фильтровали через бумажный фильтр, после чего фильтр возвращали в колбу с сырьем. Экстракцию повторяли дважды в тех же условиях. Использованные фильтраты объединяли и замеряли объем полученного извлечения. Определение суммы кумаринов в пересчете на кумарин проводили на спектрофотометре в кювете 10 мм при длине волны 273 нм. В качестве раствора сравнения использовали 70 %-й этиловый спирт. Содержание кумаринов рассчитывали по формуле

$$X = D \times V \times 100\,\% \,/\, K \times m \times (100 - W),$$

где V – объем извлечения, полученного из сырья, мл;

K – коэффициент пропорциональности, рассчитанный по калибровочному графику, построенному по стандартному веществу – кумарину (ГСО);

D – оптическая плотность исследуемого раствора;

m – масса сырья, г;

W – потеря в массе при высушивании сырья,%.

Результаты определения количества кумаринов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Содержание кумаринов в образцах бересты *B. pendula* в зависимости от места произрастания,%

Образцы	70 %-е спиртовое извлечение	Суммарное содержание кумаринов
1 (контроль)	0,23±0,01	0,23±0,01
2	0,25±0,02***	0,25±0,02***
3	0,26±0,03**	0,26±0,03**
4	0,28±0,03***	0,28±0,03***

Сравнительный анализ количественного содержания кумаринов в образцах показал их близость, поэтому можно сделать вывод, что место произрастания существенно не влияет на содержание кумаринов.

По результатам исследования установлено также, что содержание кумаринов в образцах коры березы в Барабинском районе выше на 8,70 % (P<0,001); 13,04 (P<0,001) и 21,73 % (P<0,001) чем в Чулымском, в Новосибирске и Искитимском районе соответственно.

Для обнаружения гидроксикоричных кислот в растениях используют их свойство флюоресцировать в УФ-свете и реакции, характерные для фенольных соединений.

Количественное содержание гидроксикоричных кислот можно определить прямым спектрофотометрическим методом [9, 11]. Для получения экстракта брали навеску сырья 1,0 г, сырье предварительно измельчали до размера частиц 3 мм, затем навеску помещали в колбу с обратным холодильником и экстрагировали сперва 96 %-м, а затем 70 %-м этиловым спир-

том. Экстракцию проводили на водяной бане в течение 30 мин, время отсчитывали с момента закипания экстрагента, данную манипуляцию проводили трижды для каждого экстрагента. Экстракт в горячем виде фильтровали через бумажный фильтр, замеряя точный объем извлечения. Оптическую плотность извлечений измеряли на спектрофотометре при длине волны 326 нм в кювете 10 мм. При величинах оптической плотности (D) более 0,8 необходимо проводить разведение извлечений. Определение суммы гидроксикоричных кислот осуществляли в пересчете на хлорогеновую кислоту. Раствором для сравнения является 96 %-й и 70 %-й этиловый спирт. Расчет содержания гидроксикоричных кислот производили по следующей формуле:

$$X = D \times V \times 100 / K \times m \times (100 - W).$$

где V – объем полученного извлечения из сырья, мл;

K – коэффициент пропорциональности, рассчитанный по калибровочному графику, построенному по стандартному веществу (хлорогеновая кислота);

D – оптическая плотность исследуемого раствора;

m – масса сырья, г;

W – потеря в массе при высушивании сырья,%.

$$X = X_1 + X_2,$$

где *X* – общее содержание гидроксикоричных кислот;

X_1 – содержание гидроксикоричных кислот в 96 %-м спиртовом извлечении;

X_2 – содержание гидроксикоричных кислот в 70 %-м спиртовом извлечении.

Результаты по определению гидроксикоричных кислот представлены в табл. 3.

Таблица 3

Содержание гидроксикоричных кислот в образцах бересты B. pendula в зависимости от места произрастания,% в пересчете на абсолютно сухое сырье

Образцы	96 %-е спиртовое извлечение	70 %-е спиртовое извлечение	Суммарное содержание гидроксикоричных кислот
1 (контроль)	1,16±0,06	0,23±0,01	1,39 ±0,01
2	1,17±0,06	0,24±0,01	1,41 ±0,03***
3	1,28±0,06	0,14±0,01	1,42 ±0,02***
4	1,29±0,06	0,16±0,01	1,45±0,02*

Проведенные исследования показали, что все исследуемые образцы накапливают примерно одинаковое количество (около 1,5 %) гидроксикоричных кислот.

Содержание гидроксикоричных кислот в образцах коры березы в Барабинском районе выше на 1,43 % (P<0,001); 2,15 (P<0,001) и 4,3 % (P<0,05) чем в Чулымском, в Новосибирске и Искитимском районе соответственно.

Определение содержания дубильных веществ также проводили прямым спектрофотометрическим методом. Навеску сырья массой 1 г предварительно измельчали до размера частиц 3 мм, помещали в коническую колбу объемом 50 мл, заливали 30 мл воды дистилированной, колбу снабжали обратным холодильником и кипятили на водяной бане в течение 30 мин. Извлечение в горячем виде фильтровали через бумажный фильтр, который возвращали в колбу с сырьем. Экстракцию проводили дважды в тех же условиях. Полученные фильтраты объединяли и замеряли точный объем полученного извлечения. Определение суммы дубильных веществ проводили в пересчете на танин в кювете 10 мм при длине волны 275 нм на приборе спектрофотометр. Раствором сравнения является вода дистиллированная. Расчет содержания дубильных веществ проводили по следующей формуле:

$$X = D \times V \times 100\,\% / K \times m \times (100 - W),$$

где V – объем извлечения, полученного из сырья, мл;

K – коэффициент пропорциональности, рассчитанный по калибровочному графику, построенному по стандартному веществу (танин);

D – оптическая плотность исследуемого раствора;

m – масса сырья, г;

W – потеря в массе при высушивании сырья,%.

Результаты по определению дубильных веществ представлены в табл. 4.

Таблица 4

Содержание дубильных веществ в образцах бересты *B. pendula* в зависимости от места произрастания,%

Образцы	Спиртовое извлечение				Водное извлечение	Суммарное содержание дубильных веществ
	96%-е	70%-е	40%-е	20%-е		
1 (контроль)	1,92±0,10	0,53±0,03	0,12±0,01	0,12±0,01	0,05±0,003	2,74±0,14
2	2,29±0,10*	0,87±0,04*	0,37±0,02*	0,14±0,02*	0,14±0,01*	4,01±0,2*
3	2,24±0,11*	0,76±0,04*	0,16±0,01*	0,17±0,01*	0,11±0,006*	3,44±0,17*
4	2,24±0,14*	0,76±0,04*	0,16±0,01*	0,17±0,01*	0,11±0,006*	3,44±0,17*

По результатам исследования установлено, что суммарное содержание дубильных веществ в образцах коры *Betula pendula* Барабинского района выше на 46,35% (P<0,05), чем в Чулымском районе, а в образцах коры *Betula pendula* Новосибирска и Искитимского района – на 25,54% (P<0,05). Проведенные исследования показали, что место произрастания берёзы повислой существенно не влияет на содержание дубильных веществ. Но с увеличением антропогенного воздействия можно отметить тенденцию к повышению содержания данной группы БАВ.

Результаты по определению аминокислот представлены в табл. 5.

Таблица 5

Содержание суммы аминокислот в суммарных извлечениях, полученных последовательной экстракцией образцов бересты *B. Pendula*,% в пересчете на абсолютно сухое сырье

Образцы	Суммарное содержание аминокислот
1 (контроль)	2,06 ±0,1
2	2,56 ±0,13*
3	3,50 ±0,18*
4	3,55 ±0,18*

По результатам исследования установлено, что суммарное содержание аминокислот в образцах коры *Betula pendula* Барабинского района, Новосибирска и Искитимского района выше на 24,27% (P<0,05); 69,9 (P<0,05) и 72,33% (P<0,05) соответственно, чем в Чулымском районе. Проведенные исследования показали, что территория произрастания берёзы повислой влияет на содержание в её коре аминокислот. Антропогенные факторы также оказывают влияние на содержание аминокислот: с увеличением антропогенной нагрузки на территорию произрастания содержание аминокислот становится выше.

В заключение можно отметить, что территория произрастания берёзы повислой незначительно сказывается на содержании в её коре гидроксикоричных кислот, кумаринов, дубильных веществ. А вот на содержание в коре *Betula pendula* тритерпеновых сапонинов и аминокислот место произрастания берёзы повислой влияет. Антропогенные факторы оказывают влияние на содержание в коре берёзы повислой гидроксикоричных кислот, тритерпеновых сапонинов, ду-

бильных веществ и аминокислот, а вот роль этих факторов в содержании в коре *Betula pendula* кумаринов не выявлена.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Иноземцева М. О., Жиров В. К.* Морфологическая и физиологическая изменчивость берез в условиях техногенного загрязнения // Вестник Кольского научного центра РАН. – 2011. – Т. 5, № 2. – С. 47–57.

2. *Синтез* биологически активных тритерпеновых соединений на основе бетулина / Б. Н. Кузнецов, В. А. Левданский, С. А. Кузнецова, Т. И. Когай // Журнал Сибирского федерального университета. Химия. – 2011. – Т. 4, № 4. – С. 408–423.

3. *Аралбаева Л. С., Уразгильдин Р. В., Кулагин А. Ю.* Оценка относительного жизненного состояния и стабильности развития березы повислой (*Betula pendula* Roth) города Салават // Вестник ОГУ. – 2009. – № 6. – С. 39–42.

4. *Материалы* к Государственному докладу «О состоянии и охране окружающей природной среды Кемеровской области в 2005 году». – Кемерово: ИНТ, 2006. – 320 с.

5. *Волкова А. Н.* Синтез новых азотсодержащих производных тритерпеноидов лупанового ряда: автореф. дис. … канд. хим. наук. – Новосибирск, 2014. – 177 с.

6. *Исследования* антиоксидантных и противогипоксических свойств экстракта бересты сухого / В. А. Дубинская, М. Ф. Минеева, М. А. Калинкина, М. А. Тополева // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2004. – № 12. – С. 34–38.

7. *Солдатова В. Ю., Шадрина Е. Г., Новгородова Д. Н.* Биоиндикационная оценка качества среды административных округов г. Якутска по показателям флуктуирующей асимметрии и качества семян берёзы повислой *Betula pendula* Roth // Известия Саратовского университета. Серия: Химия. Биология. Экология. – 2018. – Т. 18, № 2. – С. 216–224.

8. *Баландайкин М. Э.* Воздействие экологических факторов на изменение ряда физиолого-биологических параметров вегетативных органов березы // Вестник КрасГАУ. – 2013. – № 6. – С. 80–88.

9. *Загрязнение* окружающей среды и биологически активные вещества листьев березы / М. А. Ханина, Е. Н. Гусельникова, А. П. Родин, Ю. В. Лигостаев // Медицина и образование в Сибири. – 2015. – № 6. – С. 9–19.

10. *Бухарина И. Л., Кузьмин П. А.* Влияние техногенной среды на жизненное состояние и содержание танинов в листьях древесных растений (на примере города Набережные Челны) // Вестник ПГТУ. – 2013. – № 1. – С. 72–80.

11. *Влияние* экологических факторов на элементный состав листьев березы / М. А. Ханина, Е. Н. Гусельникова, А. П. Родин, В. В. Иванова // Медицина и образование в Сибири. – 2015. – № 6. – С. 6–16.

12. *Васильцова И. В., Бокова Т. И.* Проблемы загрязнения растительного сырья антропогенными загрязнителями // Экологические проблемы промышленных городов: сб. науч. тр. V Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Саратов, 12–14 апр. 2011 г.) / науч. ред. Е. И. Тихомирова. – Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т им. Ю. А. Гагарина, 2011. – Ч. 1. – С. 197–200.

13. *Зятькова Л. К., Лесных И. В.* Геомониторинг природной среды: монография. – Новосибирск: СГГА, 2004. – 316 с.

REFERENCES

1. Inozemceva M. O., Zhirov V. K., *Vestnik Kol'skogo nauchnogo centra RAN*, 2011, vol. 5, No. 2, pp. 47–57. (In Russ.)

2. Kuznecov B. N., Levdanskij V. A., Kuznecova S. A., Kogaj T. I., *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Himiya*, 2011, vol. 4, No. 4, pp. 408–423. (In Russ.)

3. Aralbaeva L. S., Urazgil'din R.V., Kulagin A. Yu., *Vestnik OGU*, 2009, No. 6, pp. 39–42. (In Russ.)

4. *Materialy k Gosudarstvennomu dokladu «O sostoyanii i ohrane okruzhayushchej prirodnoj sredy Kemerovskoj oblasti v 2005 godu»* (Materials for the State Report « On the state and protection of the natural environment of the Kemerovo Region in 2005), Kemerovo, INT, 2006, 320 p.

5. Volkova A. N., *Sintez novyh azotsoderzhashchih proizvodnyh triterpenoidov lupanovogo ryada* (Synthesis of new nitrogen-containing derivatives of lupan triterpenoids), Extended abstract of candidate's thesis, Novosibirsk, 2014, 177 p.

6. Dubinskaya V. A., Mineeva M. F., Kalinkina M. A., Topoleva M. A., *Biomedicinskie tekhnologii i radioelektronika*, 2004, No. 12, pp. 34–38. (In Russ.)

7. Soldatova V. Yu., Shadrina E. G., Novgorodova D. N., *Izvestiya Saratovskogo universiteta,* 2018, vol. 18, No. 2, pp. 216–224. (In Russ.)

8. Balandajkin M. E., *Vestnik KrasGAU*, 2013, No. 6, pp. 80–88. (In Russ.)

9. Hanina M. A., Gusel'nikova E.N., Rodin A. P., Ligostaev Yu.V., *Medicina i obrazovanie v Sibiri*, 2015, No. 6, pp. 9–19. (In Russ.)

10. Buharina I. L., Kuz'min P.A., *Vestnik PGTU*, 2013, No. 1, pp. 72–80. (In Russ.)

11. Hanina M. A., Gusel'nikova E.N., Rodin A. P., Ivanova V. V., *Medicina i obrazovanie v Sibiri*, 2015, No. 6, pp. 6–16. (In Russ.)

12. Vasil'cova I.V., Bokova T. I. Problemy zagryazneniya rastitel'nogo syr'ya antropogennymi zagryaznitelyami (Problems of contamination of plant raw materials by anthropogenic pollutants), Proceedings of the 5th All-Russian Scientific and Practical, April 12–14, 2011, Saratov, 2011, part 1, pp. 197–200. (In Russ.)

13. Zyat'kova L.K., Lesnyh I. V. *Geomonitoring prirodnoj sredy* (Geomonitoring of the natural environment), Novosibirsk, SGGA, 2004, 316 p.