

УДК 582.711+ 615.322: 543.872 (571.1/.5)

## БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА И АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ *SIBIRAEA ALTAIENSIS* (LAXM.) SCHNEID. (ROSACEAE)

© В.А. Костикова<sup>1\*</sup>, Т.А. Кукушкина<sup>1</sup>, Т.М. Шалдаева<sup>1</sup>, Е.П. Храмова<sup>1</sup>, С.Я. Сыева<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, ул. Золотодолинская, 101, Новосибирск, 630090 (Россия), e-mail: serebryakova-va@yandex.ru

<sup>2</sup> Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий, ул. Катунская, 2, Майма, Республика Алтай, 649100 (Россия)

Впервые исследованы содержание биологически активных веществ и уровень антиоксидантной активности у надземных органов *Sibiraea altaiensis* (Laxm.) Schneid. разных половых форм в течение вегетационного сезона. Обнаружено, что максимум содержания биологически активных соединений варьирует в зависимости от стадии развития и органа растения, а также половой принадлежности. Наиболее высокое количество флавонолов (5.69%) и дубильных веществ (30.17%) установлено в листьях мужских растений в фазу бутонизации, катехинов – в соцветиях (0.61%) женских растений, пектинов – в бутонах мужских растений (1.54%), протопектинов – в листьях мужских особей (8.99%) в фазу бутонизации и в листьях женских особей (9.62%) в фазу плодоношения растений, каротиноидов – в листьях мужских (70.6 мг%) и женских (61.86 мг%) растений в фазу плодоношения. В стеблях сибирки алтайской обнаружено достаточно высокое содержание дубильных веществ (20.1%), пектинов (1.49%), протопектинов (5.93%) и каротиноидов (17.37 мг%). Самая высокая антиоксидантная активность (АОА) выявлена в водных (2.03 мг/г) и водно-этанольных (1.75 мг/г) экстрактах из листьев мужских растений *S. altaiensis*. АОА водных и водно-этанольных экстрактов из надземных органов *S. altaiensis* достоверно положительно связана с содержанием всех исследуемых веществ, за исключением пектинов.

*Ключевые слова:* *Sibiraea altaiensis*, флавонолы, дубильные вещества, катехины, протопектины, пектины, каротиноиды, антиоксидантная активность (АОА).

### Введение

Избыток радикалов и активных форм кислорода считается вредным для здоровья человека и может вызывать различные заболевания – рак, ишемическую болезнь сердца, атеросклероз, воспалительные заболевания, а также процессы старения в организме [1]. Различные биологически активные вещества (БАВ), особенно такие, как полифенольные соединения, являются типичными природными антиоксидантами, которые потенциально могут обеспечить защиту от развития некоторых хронических заболеваний, связанных с окислением [2]. При изучении биологической активности и содержания биологически активных веществ в растениях очень важно исследование их в динамике и определение фаз вегетации с максимальным содержанием веществ и проявлением активности. Выявление сроков сбора сырья является необходимым этапом при разработке и внедрении новых лекарственных препаратов.

---

Костикова Вера Андреевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, e-mail: serebryakova-va@yandex.ru

Кукушкина Татьяна Абдулхаировна – старший научный сотрудник, e-mail: kukushkina-phyto@yandex.ru

Шалдаева Татьяна Михайловна – кандидат биологических наук, научный сотрудник, e-mail: tshaldaeva@yandex.ru

Храмова Елена Петровна – доктор биологических наук, старший научный сотрудник, e-mail: khramova@ngs.ru

Сыева Серафима Яковлевна – кандидат биологических наук, доцент, руководитель, e-mail: serafima-altai@mail.ru

*Sibiraea altaiensis* (Laxm.) Schneid. (сибирка алтайская) – лиственный двудомный кустарник до 150 см высотой с сидячими, широколанцетными листьями и мелкими белыми однополыми цветками, собранными в метельчатые соцветия. В России произрастает только на территории Алтая [3]. За пределами России встречается в Казахстане и Китае [4]. Обитает в долинах небольших рек, по открытым склонам, в лиственных лесах, местами образует заросли. Сибирка алтайская непри-

---

\* Автор, с которым следует вести переписку.

хотлива в условиях культуры и с успехом культивируется в разных районах Сибири как декоративное растение [5]. При интродукции в условиях лесного пояса Центрального Алтая (интродукционный питомник Алтайского филиала Центрального сибирского ботанического сада СО РАН «Горно-Алтайский ботанический сад» (АФ ЦСБС СО РАН, с. Камлак) растения *S. altaiensis*, выращенные из семян, собранных в естественных местообитаниях, проявили высокий интродукционный потенциал [6].

Молодые листья и побеги растений рода *Sibiraea* жители Тибета употребляют для улучшения пищеварения в виде чая с интересным названием «Люча» («Liucha»). Долгосрочное употребление такого чая приводит к снижению веса. Надземная часть сибирки применяется для лечения гиперлипидемии, гипопепсии и расстройств желудка [7]. На Алтае листья *S. altaiensis* используются как суррогат чая, при лечении инсульта, лихорадки, гепатита. Имеются сведения о наличии в листьях сибирки алтайской урсоловой кислоты, в надземной части – алкалоидов, дубильных веществ, флавоноидов, хинонов, в корнях, ветвях и плодах – синильной кислоты [8]. Из надземной части *S. altaiensis* (= *Sibiraea laevigata* (L.) Maxim) выделены протокатеховая, 4-гидроксимасляная, феруловая и кофейная кислоты, гидроксикумарин, эфир фталевой кислоты, лигнаны, монотерпены, фитостеролы, обладающие выраженной антидиабетической, противоопухолевой и антиоксидантной активностью [9, 10]. Определен компонентный состав эфирного масла из надземной части и отдельно из листьев *S. altaiensis* [11, 12]. Сведения о содержании вторичных метаболитов, пектиновых веществ и антиоксидантной активности *S. altaiensis*, произрастающей в условиях Сибири, незначительны.

Цель работы – сравнительное исследование динамики содержания биологически активных веществ и антиоксидантной активности надземных органов *Sibiraea altaiensis* при интродукции в Новосибирске и Республике Алтай.

### **Материалы и методы**

Объектом для исследования биологически активных веществ послужили надземные органы женских и мужских экземпляров *S. altaiensis*. Материал собран в 2018 г. в интродукционном питомнике Алтайского филиала Центрального сибирского ботанического сада СО РАН «Горно-Алтайский ботанический сад» (АФ ЦСБС СО РАН, Республика Алтай, Шебалинский район, с. Камлак, 384 м н.у.м.) и на интродукционном участке Центрального сибирского ботанического сада СО РАН (ЦСБС СО РАН, Новосибирск, 189 м н.у.м.) в разных фазах развития растений (табл.). Растения на интродукционном участке в Новосибирске и питомнике с. Камлак выращены из семян одной партии, собранной в природной популяции в урочище Берозёк (Республика Алтай, Онгудайский район) в 2001 г. Климат исследуемых районов различается по гидротермическим условиям и инсоляции. Новосибирск относится к умеренно теплому агроклиматическому району с недостаточным увлажнением, а Шебалинский район Республики Алтай – к умеренно прохладному Семинско-Песчаному агроклиматическому подрайону со средним и достаточным увлажнением. Средняя продолжительность безморозного периода – 120 дней в Новосибирской области, в Шебалинском районе Республики Алтай его продолжительность составляет 60–100 дней. В Шебалинском районе сумма активных температур выше 10 °С составляет 1200–1700 °С, в Новосибирске – 1920 °С. Общее годовое количество осадков варьирует от 450 до 650 мм в Шебалинском районе, 425 мм – в Новосибирске. Шебалинский район характеризуется более высокой инсоляцией, которая по многолетним данным в июне составляет 6.03 кВт/м<sup>2</sup>, в Новосибирске – 5.02 кВт/м<sup>2</sup> [13, 14].

Сырье высушивали на воздухе в затененном месте. После сушки сырье измельчали до 2–3 мм, перемешивали и отбирали репрезентативную пробу. Биохимические показатели рассчитаны на массу абсолютно сухого сырья. Все химические анализы проведены в двукратной повторности.

Количественное определение флавонолов проводили по методике В.В. Беликова и М.С. Шрайбера [15], в которой использована реакция комплексообразования флавонолов с хлоридом алюминия. Около 0.5 г (точная навеска) измельченного сырья помещали в колбу емкостью 100 мл и исчерпывающе экстрагировали 70% этиловым спиртом, контролируя полноту экстракции реакцией с 5% раствором гидроксида натрия (до исчезновения желтой окраски), далее измеряли объем профильтрованного объединенного экстракта. Затем по 0.1 мл экстракта помещали в 2 пробирки емкостью 5 мл, прибавляли в одну пробирку 0.2 мл 2% спиртового раствора хлорида алюминия, в другую – 1–2 капли 30% уксусной кислоты и доводили объем раствора 96% спиртом до метки. Растворы перемешивали и через 40 мин измеряли оптическую плот-

ность раствора с хлоридом алюминия на спектрофотометре СФ-56 при длине волны 415 нм в кювете с толщиной слоя 1 см, используя раствор с уксусной кислотой для сравнения. Количественное содержание катехинов в пробе определяли по калибровочной кривой, построенной по рутину ( $\geq 99\%$ , «Сhemapol»).

Для определения содержания катехинов брали навеску 0.5 г сырья (точная навеска) экстрагировали 80% этиловым спиртом трижды (30, 25, 20 мл) по 30 мин на водяной бане при температуре кипения спирта. Вытяжки объединяли и измеряли объем полученного экстракта. В две пробирки отбирали аликвоту по 0.8 мл экстракта. В одну из них приливали 4 мл 1% раствора ванилина в концентрированной соляной кислоте и доводили объемы до 5 мл в обеих пробирках концентрированной соляной кислотой. Пробирку без ванилина использовали как контроль. При наличии катехинов в пробе образуется розовое, малиновое или оранжево-красное окрашивание. Через 5 мин измеряли интенсивность окрашенных растворов на СФ-56 при длине волны 504 нм в кювете с толщиной слоя 1 см. Количественное содержание катехинов в пробе определяли по калибровочной кривой, построенной по ( $\pm$ ) – катехину фирмы «Sigma» [16].

Количественное определение танинов (гидролизуемых дубильных веществ) проводили по методике Л.М. Федосеевой [17]. Навеску сырья 2 г помещали в колбу и добавляли 250 мл очищенной воды. Экстрагировали при умеренном кипячении в течение 30 мин. Охлаждали, переносили в мерную колбу на 250 мл и доводили водой до метки. После экстракции 10 мл извлечения переносили в мерную колбу на 100 мл, добавляли 10 мл 2% водного раствора аммония молибденовокислого. Содержимое колбы доводили до метки очищенной водой, оставляли на 15 мин. Интенсивность образовавшейся окраски измеряли на спектрофотометре СФ-56 при длине волны 420 нм в кювете с толщиной слоя 1 см. В качестве стандартного образца использовали ГСО танина (1 класс по ГОСТ 8.315-97).

Содержание каротиноидов определяли в ацетоново-этанольном экстракте. Навеску сырья 0.1 г растирали в ступке до однородной массы, добавляя последовательно 0.1 г углекислого кальция (для нейтрализации органических кислот, так как каротиноиды не устойчивы в кислой среде), 1 мл диметилформамида (для устойчивости пигментов) и 2 мл сернокислого натрия безводного. Экстракцию каротиноидов проводили ацетоном (40 мл – 1 раз и далее 10 мл – 2 раза), после этого экстракцию продолжали 96% этанолом (5 мл – 3 раза) для извлечения ликопина. Затем исчерпывающе экстрагировали до исчезновения окраски ацетоном. Замеряли объем объединенного экстракта [18]. Далее экстракты разбавляли ацетоном так, чтобы при измерении на спектрофотометре величина оптической плотности разбавленных растворов находилась в пределах от 0.1 до 0.8. Замеры содержания каротиноидов проводили при длинах волн 662, 644 нм (для хлорофиллов а и b) и 440.5 нм (для каротиноидов) на спектрофотометре СФ-56 в кювете с толщиной слоя 1 см. Расчет концентрации каротиноидов ( $\text{мг/дм}^3$ ) проводили по формуле

$$C_{\text{кар}} = 4.695 \times D_{440.5} - 0.268 \times (5.134 \times D_{662} - 20.436 \times D_{644}),$$

где  $D$  – оптическая плотность экстракта;  $C_{\text{кар}}$  – концентрация каротиноидов,  $\text{мг/дм}^3$ . Содержание каротиноидов ( $\text{мг}\%$ ) находили по формуле

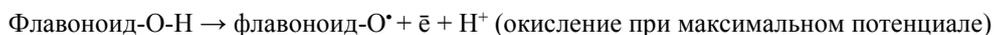
$$X (\text{мг}\%) = C_{\text{кар}} \times V \times V_2 \times 100 / M \times V_3 \times 1000,$$

где  $C_{\text{кар}}$  – концентрация каротиноидов,  $\text{мг/дм}^3$ ;  $V$  – объем исходной вытяжки, мл;  $V_1$  – объем исходной вытяжки, взятой для разбавления, мл;  $V_2$  – объем разбавленной вытяжки, мл;  $M$  – масса абсолютно сухого сырья, г. [19].

Пектиновые вещества (протопектины и пектины) определяли бескарбазольным методом, основанным на получении специфического желто-оранжевого окрашивания уроновых кислот с тимолом в сернокислой среде. Измельченную точную навеску сухого материала массой 2–3 г трехкратно экстрагировали горячим 80% этиловым спиртом в соотношении 1 : 10 на кипящей водяной бане с обратным холодильником 20–30 мин (для извлечения свободных углеводов, которые мешают определению пектиновых веществ) и фильтровали через бумажный фильтр в колбу. Отфильтрованную пробу высушивали при 50 °С до исчезновения запаха спирта. *Экстракция водорастворимого пектина*: остаток помещали в колбу и приливали 50 мл очищенной воды, нагретой до 45 °С, и экстрагировали на водяной бане в течение 1 ч. Жидкость отфильтровывали в мерную колбу на 100 мл, промывали водой и после охлаждения доводили объем до метки. Извлечение протопектина: остатки после извлечения водой переносили в экстракционную колбу, заливали 50 мл 0.3 н соляной кислоты и нагревали полчаса на кипящей водяной бане с обратным холодильником. Фильтровали в мерную колбу на 200 мл и промывали 2–3 раза горячей водой. Фильтр вместе с осадком возвращали в ту

же экстракционную колбу, приливали 50 мл 1% раствора лимоннокислого аммония и ставили на кипящую водяную баню на полчаса. Фильтровали в колбу, где находится фильтрат солянокислой вытяжки, промывали горячей водой, после охлаждения доводили до метки. Реакция с тимолом: в три пробирки брали 0.5 мл экстракта водорастворимого пектина и протопектина и при охлаждении приливали концентрированную серную кислоту по каплям, затем пробирки нагревали 6 мин на кипящей водяной бане, охлаждали и прибавляли в две пробирки с экстрактом 0.1 мл 0.2% спиртового раствора тимолола и тщательно перемешивали. После реакции с тимолом плотность окрашенных растворов замеряли на спектрофотометре Agilent 8453 при длине волны 480 нм в кювете с толщиной слоя 1 см. Количественное содержание пектинов и протопектинов в пробе определяли по калибровочной кривой, построенной по галактуроновой кислоте фирмы ( $\geq 99\%$ , «Merck») [19, 20].

Для определения суммарного содержания антиоксидантов использовали оперативный амперометрический метод [21]. Измерения проводили на приборе «Цвет Яуза-01-АА» разработки НПО «Химавтоматика». Сущность данного метода заключается в измерении электрического тока, возникающего при окислении исследуемого вещества (или смеси веществ) на поверхности рабочего электрода при определенном потенциале. При этом происходит окисление только гидроксильных групп природных антиоксидантов. Схему электрохимического окисления, лежащую в основе определения антиоксидантной активности (АОА) на приборе Цвет-Яуза-01, можно представить следующим образом на примере флавоноидов [22]:



Способность к захвату свободных радикалов флавоноидами или другими биологически активными веществами измеряется величиной окисляемости этих соединений на рабочем электроде амперометрического детектора [22]. Перед измерением строили градуировочную кривую зависимости сигнала образца сравнения (галловой кислоты фирмы «Диаэм»,  $\geq 98\%$ ) от его концентрации. За результат принимали среднее из данных трех параллельных определений по каждому показателю. Для получения водного экстракта 1,0 г сырья заливали 50 мл кипящей бидистиллированной воды и настаивали в течение 30 мин без термостатирования. Для получения водно-спиртового экстракта 1,0 г сырья заливали 50 мл спирта (70%) и встряхивали в течение одного часа на перемешивающем устройстве [21].

Коэффициент корреляции ( $r$ ) между антиоксидантной активностью и содержанием биологически активных веществ в экстрактах из растений *S. altaiensis* рассчитывали по методу Спирмена. Коэффициент корреляции считали достоверным при  $p < 0.05$  [23].

### Результаты и обсуждения

В надземных органах мужских и женских растений *S. altaiensis* обнаружены фенольные соединения – флавонолы, катехины, дубильные вещества, а также пектины, протопектины и каротиноиды (табл.). Распределение основных групп биологически активных веществ в листьях, соцветиях и стеблях различно.

Важно отметить, что содержание флавонолов у сибирки алтайской выше в листьях, по сравнению с репродуктивными органами и стеблями. При этом их содержание в листьях мужских растений всегда выше, чем в листьях женских растений (табл.). У близкородственных растений рода *Spiraea* L. содержание флавонолов выше в соцветиях. Общее содержание флавонолов в растениях рода *Spiraea* достигает 3.9% – в соцветиях и 2.5% – в листьях, что несколько ниже, чем в листьях и соцветиях *S. altaiensis* [24]. Тенденция распределения флавонолов по органам в зависимости от фазы развития одинаковая у растений, интродуцированных в условиях Новосибирска и с. Камлак. Максимум содержания флавонолов (5.0–5.7%) выявлен в листьях *S. altaiensis* в фазу бутонизации растений. Далее в фазу цветения и плодоношения содержание флавонолов снижается до 3.3–4.2%. Динамика содержания флавонолов в репродуктивных органах такая же, как и в листьях. Максимум наблюдается в бутонах (3.8–4.0%), в соцветиях немного снижается (2.0–3.0%) и в плодах падает до 0.5%. Содержание флавонолов в органах надземной части сибирки алтайской практически равноценное в условиях Новосибирска и с. Камлак (табл.). Ранее методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) в листьях мужских и женских растений *S. altaiensis* из природы нами идентифицированы фенольные соединения: 5 кислот – хлорогеновая, кофейная, *n*-кумаровая, эллаговая и коричневая и 6 флавонолов – кверцетин, гиперозид, изокверцитрин, рутин, авикулярин и астрагалин [25]. Отмечено повышенное содержание фенолкарбоновых кислот – хлорогеновой, *n*-кумаровой, кофейной и эллаговой в

листьях женских особей по сравнению с мужскими. При этом содержание флавонолов в женских растениях *S. altaiensis* ниже по сравнению с мужскими растениями. В листьях мужских растений содержание производных кверцетина в 1.5 раза выше (до 12.7 мг/г), чем в женских (до 8 мг/г). Концентрация производных кемпферола и изорамнетина в листьях сибирки сравнительно невысокая [25]. Пониженное содержание флавонолов в листьях женских особей, возможно, связано с участием их в качестве регуляторов в процессах репродукции, что подтверждается литературными источниками [26, 27]. Скорее всего, флавонолы в женских экземплярах расходуются на образование плодов. Происходит отток продуцируемых веществ из листьев женских растений к репродуктивным органам.

Содержание катехинов выше в основном в репродуктивных органах *S. altaiensis* (табл.). При этом содержание больше в репродуктивных органах женских растений. В фазе бутонизации их содержание достигает 0.4% в листьях и бутонах. В стадии цветения в условиях Новосибирска их содержание уменьшается до 0.2% в листьях и 0.3% – в соцветиях. В условиях Республики Алтай в соцветиях мужских растений остается на том же уровне, в женских – увеличивается до 0.6% в соцветиях, в листьях – падает до 0.2%. Далее в фазе плодоношения содержание катехинов в листьях увеличивается до 0.3–0.5%, а в плодах – падает до 0.08%.

Содержание дубильных веществ в листьях *S. altaiensis* больше, чем в репродуктивных органах и стеблях (табл.). При этом отмечено, что их количество в листьях мужских растений несколько выше, чем в листьях женских растений. Максимум содержания дубильных веществ обнаружен в фазу бутонизации растений (25.0–30.2% – в листьях и 24.4–26.5% – в бутонах), далее, в фазу цветения, их количество падает (21.0–23.9% – в листьях и 10.9–13.5% – в соцветиях). В условиях Новосибирска количество дубильных веществ в листьях в фазу плодоношения растений повышается до 22.2%, по сравнению с фазой цветения (21%). В условиях с. Камлак содержание дубильных веществ снижается до 16.8–21.6% в листьях и до 1.96% в плодах.

Содержание каротиноидов выше в листьях растений, чем в репродуктивных органах и стеблях (табл.). Динамика содержания каротиноидов в листьях в условиях Новосибирска и Республики Алтай различна. В условиях Новосибирска в фазу начало вегетации – бутонизации в листьях мужских растений содержится 27.9 мг%, далее в фазе цветения их содержание увеличивается до 54.3 мг% и достигает максимума в фазу плодоношения растений (70.6 мг%). В условиях Горного Алтая максимум накопления каротиноидов в листьях растений приходится также на фазу плодоношения (52.5–61.9 мг%). Однако содержание каротиноидов в фазе цветения (34.9–39.1 мг%) и в мужских, и в женских растениях немного ниже, чем в фазу бутонизации (49.8–57.2 мг%). Максимум накопления каротиноидов в репродуктивных органах приходится на бутонизацию (18.1–24.1 мг%) и соцветия (16.4–18.6 мг%), в плодах содержание намного ниже.

Содержание пектинов в основном выше в репродуктивных органах у растений, выращенных в условиях Республики Алтай (табл.). При этом содержание немного выше в репродуктивных органах мужских растений. Самое высокое их содержание выявлено в бутонах (1.5%) и цветках (0.8%). В плодах обнаружено небольшое содержание пектинов. В листьях максимум накопления пектинов в фазу бутонизации (0.6–1.1%) растений, а в фазу цветения (0.3–0.6%) и плодоношения (0.4–0.5%) снижается. В условиях Новосибирска самое высокое содержание пектинов обнаружено в стеблях растений. Максимум накопления пектинов в листьях (1%) и стеблях (1.5%) растений в Новосибирске приходится на фазу плодоношения растений. Самое низкое их содержание в листьях отмечается здесь в фазу начало вегетации – бутонизации растений (0.1%).

Содержание протопектинов выше в листьях сибирки, чем в репродуктивных органах и стеблях (табл.). Их количество в листьях в фазу бутонизации достигает 6.8–9%, затем немного уменьшается в фазу цветения (6.6–6.8%) и достигает максимума в фазу плодоношения растений (7.9–9.6%). В репродуктивных органах динамика содержания протопектинов направлена на понижение от 5.4–7.8% в бутонах до 4.9–6.6% в соцветиях и до 2.5% в плодах. Количество протопектинов в органах надземной части сибирки алтайской в условиях Новосибирска и с. Камлак практически одинаково (табл.).

В стеблях достаточно высокое содержание дубильных веществ (до 20%), пектинов (до 1.5%), протопектинов (до 5.9%) и каротиноидов (до 17.4 мг%) (табл.).

В последнее время все чаще публикуются данные по антиоксидантной активности растений и по положительному влиянию антиоксидантов на организм человека [28, 29]. Кроме этого, биологически активные вещества синтезируются в растениях также для их защиты от окислительных процессов, при этом в течение длительной эволюции сформировались оптимальные их сочетания [21, 30]. Поэтому значения суммарной антиоксидантной активности растений являются также показателем их устойчивости к неблагоприятным

факторам, это так называемый антиоксидантный статус растения. Исследование антиоксидантной активности водных и водно-спиртовых экстрактов (70%) из листьев, репродуктивных органов и стеблей по фазам развития растений показало, что все исследованные образцы обладают антиоксидантной активностью, хотя и в разной степени. Значения антиоксидантного статуса *S. altaiensis* (до 2.03 мг/г) находятся на уровне антиоксидантного статуса близкородственных растений рода *Spiraea* (до 2.54 мг/г) [24]. Показатели АОА водных экстрактов надземных органов сибирки алтайской в большинстве случаев выше, чем водно-спиртовых (табл.). Это говорит, вероятно, о содержании в растениях *S. altaiensis* большей частью водорастворимых антиоксидантов, которые легко переходят в раствор, придавая ему лекарственные свойства. Такая же закономерность выявлена и для растений рода *Spiraea* [24].

АОА листьев в основном выше, чем репродуктивных органов и стеблей (табл.). Самая высокая АОА обнаружена у листьев мужских растений *S. altaiensis*, интродуцированной в Республике Алтай, в фазе бутонизации растений (2.0 мг/г – водные экстракты и 1.8 мг/г – водно-этанольные экстракты) (табл.). В фазу цветения суммарное содержание антиоксидантов в листьях снижается (1.6 мг/г и 1.2 мг/г, соответственно), однако остается более высоким в листьях мужских растений, чем в женских особях (1.3 мг/г и 1.1 мг/г, соответственно). В фазу плодоношения растений АОА листьев снижается до 1 мг/г в мужских и женских растениях. У растений *S. altaiensis*, интродуцированной в Новосибирске, АОА листьев меньше, чем у сибирки алтайской, интродуцированной в условиях Республики Алтай. Самая высокая АОА здесь выявлена в водно-этанольных экстрактах из листьев в фазу цветения растений (1.4 мг/г).

Содержание вторичных метаболитов (%) и уровень антиоксидантной активности (мг/г) экстрактов из органов надземной части растений *Sibiraea altaiensis* в зависимости от фазы развития растений (от а.с.м.)

№	Фаза развития	Экземпляры	Органы растения	Флавонолы	Дубильные вещества	Катехины	Пектины	Протопектины	Каротиноиды, мг%	АОА	
										Водные экстракты	Водно-этанольные экстракты
Новосибирск (ЦСБС СО РАН)											
1	начало вегетации – бутонизация	мужские	листья	5.30	25.02	0.39	0.11	6.76	27.94	0.95	0.92
2	цветение	-/-	листья	4.16	20.96	0.23	0.77	6.57	54.29	1.38	1.03
3	-/-	-/-	соцветия	1.95	10.85	0.30	0.76	7.57	16.35	0.31	–
4	-/-	-/-	стебли	0.54	10.30	0.16	1.14	5.93	10.77	0.16	0.15
5	плодоношение	-/-	листья	3.44	22.22	0.29	1.01	7.95	70.62	1.29	1.24
6	-/-	-/-	стебли	0.64	14.42	0.23	1.49	5.00	12.45	0.27	0.21
с. Камлак, Республика Алтай (АФ ЦСБС СО РАН)											
7	бутонизация	мужские	листья	5.69	30.17	0.36	1.08	8.99	49.79	2.03	1.75
8	-/-	-/-	бутоны	4.03	26.53	0.39	1.54	7.81	18.10	1.06	0.92
9	-/-	-/-	стебли	0.52	20.10	0.15	0.41	1.92	7.80	0.32	0.14
10	-/-	женские	листья	5.09	29.44	0.33	0.64	6.04	57.24	1.08	0.93
11	-/-	-/-	бутоны	3.76	24.37	0.44	0.97	5.43	24.11	1.72	1.30
12	-/-	-/-	стебли	0.52	17.31	0.11	0.40	2.65	10.09	0.22	0.17
13	цветение	мужские	листья	4.13	23.91	0.35	0.52	6.84	34.90	1.63	1.22
14	-/-	-/-	соцветия	2.95	13.14	0.39	0.79	6.63	17.11	1.26	0.98
15	-/-	-/-	стебли	0.54	17.59	0.12	0.35	2.55	7.61	0.48	0.26
16	-/-	женские	листья	3.27	23.87	0.23	0.31	6.83	39.08	1.32	1.05
17	-/-	-/-	соцветия	2.96	13.54	0.61	0.75	4.92	18.62	1.06	0.92
18	-/-	-/-	стебли	0.54	15.40	0.14	0.34	2.82	7.22	0.36	0.22
19	плодоношение	мужские	листья	3.57	21.62	0.54	0.52	7.90	52.51	1.04	1.01
20	-/-	-/-	стебли	0.57	16.38	0.11	0.49	1.75	13.05	0.22	0.15
21	-/-	женские	листья	3.18	16.79	0.43	0.44	9.62	61.86	1.10	1.06
22	-/-	-/-	плоды	0.47	1.96	0.08	0.23	2.54	3.99	0.60	0.34
23	-/-	-/-	стебли	0.66	15.94	0.35	0.53	1.92	17.37	0.43	0.19

Примечание: прочерк означает, что опыт не проводился.

В репродуктивных органах растений *S. altaiensis*, интродуцированной в Республике Алтай, АОА в основном ниже, чем в листьях. Исключение составляют женские растения в фазу бутонизации растений, где бутоны (1.7 мг/г – водные экстракты и 1.3 мг/г – водно-этанольные экстракты) имеют более высокую АОА, чем листья (1.1 и 0.9 мг/г соответственно). Самое высокое суммарное содержание антиоксидантов в репродуктивных органах обнаружено в бутонах женских растений, в бутонах мужских растений содержание антиоксидантов ниже. Однако в соцветиях мужских особей АОА немного выше (1.3 и 1.0 мг/г соответственно), чем в женских (1.1 и 0.9 мг/г соответственно). В плодах АОА еще меньше (0.6 мг/г), по сравнению с бутонами и соцветиями. Сравнительно низкая АОА обнаружена у соцветий мужских растений (0.3 мг/г) сибирки алтайской, интродуцированной в Новосибирске.

В стеблях антиоксидантная активность самая низкая, по сравнению с листьями и репродуктивными органами. Самые высокие значения АОА обнаружены в водных экстрактах из стеблей мужских растений (0.5 мг/г) в фазу цветения растений и стеблей женских растений в фазы цветения и плодоношения (0.4 мг/г).

Корреляционный анализ на основе расчета коэффициента корреляции Спирмена между АОА и содержанием биологически активных веществ в листьях и соцветиях растений *S. altaiensis* показал, что уровень АОА водных и водно-этанольных экстрактов достоверно положительно связан с содержанием практически всех исследуемых веществ. Самая сильная связь выявлена между АОА водных и водно-этанольных экстрактов с содержанием флавонолов ( $r = 0.75$  и  $0.74$ , соответственно), протопектинов ( $r = 0.67$  и  $0.79$ , соответственно), каротиноидов ( $r = 0.68$  и  $0.74$ , соответственно), и несколько слабее с дубильными веществами ( $r = 0.58$  и  $0.56$ , соответственно) и катехинами ( $r = 0.56$  и  $0.59$ , соответственно). Степень зависимости АОА с пектинами низкая и недостоверная. Кроме обнаруженных корреляционных связей между АОА и биологически активными веществами, которые в значительном количестве содержатся в надземных органах сибирки алтайской, возможен вклад в АОА других антиоксидантов фенольного типа, например фенолкарбоновых кислот [25].

Содержание БАВ в растительных тканях зависит от биологических особенностей вида растения, места и условий произрастания. Формирование и работа антиоксидантного комплекса – четко работающая система, реагирующая как на внутренние факторы (этапы онтогенеза растения), так и на внешние воздействия [31]. Так как возраст и происхождение исследуемых растений *S. altaiensis* одинаковые, то различия в содержании некоторых БАВ и антиоксидантном статусе растений обусловлены, вероятно, особенностями условий произрастания. Известно, что наиболее напряженные условия естественного обитания растений – увеличение высоты над уровнем моря, повышенный уровень УФ-излучения, уменьшение влаги и суммы положительных температур оказывают влияние на синтез фенольных соединений и пигментов в клетках тканей [32, 33]. Климат лесной зоны Шебалинского района республики Алтай более холодный и влажный с более высокой инсоляцией по сравнению с лесостепной зоной Новосибирской области (см. раздел «Материалы и методы»). Кроме того, участки различались по высоте нахождения над у.м.: интродукционный участок на Алтае расположен на высоте 384 м н.у.м, а в Новосибирске – 189 м н.у.м. на разных высотах над уровнем моря. В растениях, выращенных в условиях с. Камлак, содержание катехинов, дубильных веществ и антиоксидантный статус растений несколько выше, чем в растениях из Новосибирска. Например, в фазу цветения в условиях с. Камлак в листьях мужских растений выявлено 23.9% дубильных веществ и 0.35% катехинов, тогда как в условиях Новосибирска содержание их меньше – 21.0 и 0.23%, соответственно (табл.). В лесостепных условиях Новосибирска климат отличается более сухими условиями по сравнению с Республикой Алтай. В растениях из Новосибирска несколько выше содержание каротиноидов и пектинов. Например, в условиях Новосибирска в листьях мужских растений в фазу цветения содержание каротиноидов – 54.3 мг% и пектинов – 0.8%, а в условиях с. Камлак – 34.9 и 0.5%, соответственно (табл.). Содержание флавонолов и протопектинов находится практически на одном уровне в растениях вне зависимости от условий интродукции.

### **Заключение**

Впервые исследованы содержание вторичных метаболитов, пектиновых веществ и антиоксидантная активность надземных органов *S. altaiensis* разных половых форм в течение вегетационного сезона. Обнаружено, что листья содержат больше флавонолов, дубильных веществ и протопектинов, по сравнению с соцветиями и стеблями. Бутоны и соцветия содержат больше катехинов и пектинов. Более высокое содержание флавонолов, дубильных веществ выявлено в листьях мужских растений, катехинов – в соцветиях женских растений, протопектинов – в листьях мужских особей в фазу бутонизации и в листьях женских особей в фазу

плодоношения растений, пектинов – в бутонах мужских растений и каротиноидов – в листьях мужских и женских растений в фазу плодоношения. АОА выше в водных и водно-этанольных экстрактах из листьев мужских растений *S. altaiensis*. АОА водных и водно-этанольных экстрактов из надземных органов *S. altaiensis* достоверно положительно связана с содержанием практически всех исследуемых веществ, за исключением пектинов.

Динамика содержания флавонолов, катехинов и протопектинов одинакова в листьях мужских растений сибирки алтайской, выращенных в условиях Новосибирска и Шебалинского района Республики Алтай, тогда как динамика содержания дубильных веществ, пектинов и каротиноидов – различается.

В растениях, выращенных в условиях с. Камлак Республики Алтай, содержание катехинов, дубильных веществ и антиоксидантный статус растений несколько выше, чем в растениях из Новосибирска. Содержание флавонолов и протопектинов находится на одном уровне в растениях вне зависимости от условий интродукции. В растениях из Новосибирска несколько выше содержание каротиноидов и пектинов.

В целом, оценка растительного сырья по химическим показателям показала, что *S. altaiensis* накапливает значительное количество биологически активных веществ в надземных органах вне зависимости от условий интродукции и может быть рекомендована как перспективный источник антиоксидантов, вторичных метаболитов и пектиновых веществ. Перспективность использования сибирки алтайской для получения лечебных средств подтверждается также значительной биомассой растений.

### Список литературы

1. Wang K.J., Yang C.R., Zhang Y.J. Phenolic antioxidants from Chinese toon (fresh young leaves and shoots of *Toona sinensis*) // *Food Chemistry*. 2007. Vol. 101. Pp. 365–371. DOI: 10.1016/j.foodchem.2006.01.044.
2. Spinola V., Pinto J., Castillo P.C. Identification and quantification of phenolic compounds of selected fruits from Madeira Island by HPLC-DAD-ESI-MSn and screening for their antioxidant activity // *Food Chemistry*. 2015. Vol. 173. Pp. 14–30.
3. Выдрин С.Н., Курбатский В.И., Положий А.В. Род сибирка – *Sibiraea* Maxim. // *Флора Сибири*. Новосибирск, 1988. Т. 8. С. 20.
4. Gu C., Crinan A. Genus *Sibiraea* Maxim. // *Flora of China* (Pittosporaceae through Connaraceae). Beijing; St. Louis, 2003. Vol. 10. Pp. 73–74.
5. Коропачинский И.Ю., Встовская Т.Н. Древесные растения Азиатской России. Новосибирск, 2002. 707 с.
6. Сыева С.Я., Аильчиева А.О. Особенности роста и развития эндемика Алтая *Sibiraea altaensis* в культуре // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2014. №9 (119). С. 55–59.
7. Zhao J-Q., Wang Y-M., Yang Y-L., Zeng Y., Mei L-J., Shi Y-P., Tao Y-D. Antioxidants and  $\alpha$ -glucosidase inhibitors from “Liucha” (young leaves and shoots of *Sibiraea laevigata*) // *Food Chemistry*. 2017. Vol. 230. Pp. 117–124. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.03.024.
8. Растительные ресурсы СССР: Цветковые растения, их химический состав, использование. Т. 3. Семейства Hydraginaceae – Haloragaceae. Л., 1987. С. 99–101.
9. Deng Y., Zhao J.Q., Mei L.J., Tao Y.D. Two new monoterpenes from *Sibiraea laevigata* // *J. Asian Nat. Prod. Res.* 2017. Vol. 19. N9. Pp. 877–883. DOI: 10.1080/10286020.2016.1258064.
10. Zhao J.Q., Wang Y.M., Wanga Q.L., Shao Y., Shib Y.P., Meia L.J., Taao Y.D. Three new monoterpene glycosides from *Sibiraea laevigata* (L.) Maxim. // *Phytochem. Lett.* 2017. Vol. 19. Pp. 176–180.
11. Kirillov V.Yu., Stikhareva T.N., Mukanov B.M., Serafimovich M.V., Mukasheva F.T., Gering A.V., Sarsenbaeva L.A., Atazhanova G.A., Adekenov S.M. Chemical composition of essential oil from *Sibiraea altaensis* // *Chem. Nat. Compd.* 2016. Vol. 52. N5. P. 941. DOI: 10.1007/s10600-016-1826-x.
12. Lai P.-X., Zhang X.-M., Tian Z.-H., Liu X. Composition and antioxidant activity of the essential oil from aerial parts of *Sibiraea laevigata* // *Chem. Nat. Compd.* 2016. Vol. 52. N3. Pp. 525–526. DOI: 10.1007/s10600-016-1698-0.
13. Климат Новосибирска. Л., 1979. 223 с.
14. Модина Т.Д., Сухова М.Г. Климат и агроклиматические ресурсы Алтая. Новосибирск, 2007. 180 с.
15. Беликов В.В. Методы анализа флавоноидных соединений // *Фармация*. 1970. №1. С. 66–72.
16. Кукушкина Т.А., Зыков А.А., Обухова Л.А. Манжетка обыкновенная (*Alchemilla vulgaris* L.) как источник лекарственных препаратов природного происхождения // *Актуальные проблемы создания новых лекарственных препаратов природного происхождения: материалы VII Международного съезда*. СПб., 2003. С. 64–69.
17. Федосеева Л.М. Изучение дубильных веществ подземных и надземных вегетативных органов бадана толстолистного (*Bergenia Crassifolia* (L.) Fitch.), произрастающего на Алтае // *Химия растительного сырья*. 2005. №2. С. 45–50.
18. Кривенцов В.И. Методические рекомендации по анализу плодов на биохимический состав. Ялта, 1982. 21 с.
19. Ермаков А.И., Арасимович В.В., Ярош Н.П. и др. Методы биохимического исследования растений. Л., 1987. 429 с.

20. Кривенцов В.И. Бескарбазольный метод количественного спектрофотометрического определения пектиновых веществ // Труды Никитского ботанического сада. 1989. Т. 109. С. 128–137.
21. Яшин А.Я., Яшин Я.И., Черноусова Н.И., Пахомов В.П. Новый прибор для определения природных антиоксидантов. М., 2005. 100 с.
22. Федина П.А., Яшин А.Я., Черноусова Н.И. Определение антиоксидантов в продуктах растительного происхождения амперометрическим методом // Химия растительного сырья. 2010. №2. С. 91–97.
23. Гланц С. Медико-биологическая статистика. М., 1998. 459 с.
24. Костикова В.А., Шалдаева Т.М. Биологически активные вещества и антиоксидантная активность растений рода *Spiraea* L. Дальнего Востока России // Химия растительного сырья. 2016. №2. С. 73–78. DOI: 10.14258/jcprgm.201602784.
25. Костикова В.А., Храмова Е.П., Сыева С.Я. Сравнительное исследование фенольных соединений в листьях *Sibiraea altaiensis* (Rosaceae) в природе и при интродукции // Растительные ресурсы. 2018. Т. 54, вып. 3. С. 409–419. DOI: 10.7868/S0033994618030072.
26. Запрометов М.Н. Основы биохимии фенольных соединений: учебн. пособие для биол. специальных ун-тов. М., 1974. 213 с.
27. Высочина Г.И. Фенольные соединения в систематике и филогении семейства гречишных. Новосибирск, 2004. 240 с.
28. Raudone L., Vilkickyte G., Pitkauskaitė L., Raudonis R., Vainoriene R., Motiekaityte V. Antioxidant Activities of *Vaccinium vitis-idaea* L. Leaves within Cultivars and Their Phenolic Compounds // Molecules. 2019. Vol. 24. N5. Pp. 844–899. DOI: 10.3390/molecules24050844.
29. Скрыпник Л.Н., Курашова А.А. Сравнительное исследование антиоксидантных свойств растений некоторых видов рода *Sambucus* L. // Химия растительного сырья. 2019. №1. С. 127–137.
30. Яшин Я.И., Рыжнёв В.Ю., Яшин А.Я., Черноусова Н.И. Природные антиоксиданты. Содержание в пищевых продуктах и их влияние на здоровье и старение человека. М., 2009. 193 с.
31. Архипова Н.С., Елагина Д.С. Изучение особенностей накопления биологически активных веществ некоторыми дикорастущими травянистыми растениями // Овощи России. 2017. №2 (35). С. 86–91.
32. Храмова Е.П. Род *Pentaphylloides* Hill (Rosaceae) Азиатской России (фенольные соединения, элементный состав в природе и культуре, хемотаксономия): автореф. дис. ... докт. биол. наук. Новосибирск, 2016. 33 с.
33. Зарубина Л.В., Коновалов В.Н. Особенности сезонной динамики пигментов в листьях растений сосняка кустарничково-сфагнового // Известия вузов. Лесной журнал. 2009. №4. С. 24–33.

Поступила в редакцию 28 марта 2019 г.

После переработки 24 мая 2019 г.

Принята к публикации 13 сентября 2019 г.

**Для цитирования:** Костикова В.А., Кукушкина Т.А., Шалдаева Т.М., Храмова Е.П., Сыева С.Я. Биологически активные вещества и антиоксидантная активность *Sibiraea altaiensis* (Laxm.) Schneid. (Rosaceae) // Химия растительного сырья. 2019. №4. С. 181–190. DOI: 10.14258/jcprgm.2019045376.

Kostikova V.A.<sup>1\*</sup>, Kukushkina T.A.<sup>1</sup>, Shaldaeva T.M.<sup>1</sup>, Khramova E.P.<sup>1</sup>, Syeva S.Ya.<sup>2</sup> BIOLOGICAL ACTIVE SUBSTANCES AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF *SIBIRAEA ALTAIENSIS* (LAXM.) SCHNEID. (ROSACEAE)

<sup>1</sup> Central Siberian Botanical Garden SB RAS, ul. Zolotodolinskaya, 101, Novosibirsk, 630090 (Russia), e-mail: serebryakova-va@yandex.ru

<sup>2</sup> Federal Altai Scientific Center for Agrobiotechnology, ul. Katunskaya, 2, Maima, Altai Republic, 649100 (Russia)

The content of biologically active substances and the level of antioxidant activity in the aerial organs of different sexual forms of *Sibiraea altaiensis* (Laxm.) Schneid. during the growing season were investigated for the first time. It was found that the maximum content of biologically active compounds varies depending on the stage of development, plant organ and also gender. The amount of flavonols (5.69%), tannins (30.17%) is higher in the leaves of male plants during the budding of plants, catechins – in inflorescences (0.61%) of female plants, pectins – in male buds (1.54%), protopectins – in the leaves of males (8.99%) in the budding phase and in the leaves of females (9.62%) in the fruiting phase of plants and carotenoids – in the leaves of males (70.6 mg%) and female (61.86 mg%) plants in the fruiting phase. Stalks of *S. altaiensis* contain quite a high amount of tannins (20.1%), pectins (1.49%), protopectins (5.93%) and carotenoids (17.37 mg%). The highest (antioxidant activity) AOA was detected in water (2.03 mg/g) and water-ethanol (1.75 mg/g) extracts from the leaves of male *S. altaiensis* plants. The AOA of water and water-ethanol extracts from the aerial organs of *S. altaiensis* is authentically positively connected with the content of all the studied substances, except for pectins.

**Keywords:** *Sibiraea altaiensis*, flavonols, tannins, catechins, protopectins, pectins, carotenoids, antioxidant activity (AOA).

\* Corresponding author.

## References

1. Wang K.J., Yang C.R., Zhang Y.J. *Food Chemistry*, 2007, vol. 101, pp. 365–371. DOI: 10.1016/j.foodchem.2006.01.044.
2. Spinola V., Pinto J., Castilho P.C. *Food Chemistry*, 2015, vol. 173, pp. 14–30.
3. Vydrina S.N., Kurbatskiy V.I., Polozhiy A.V. *Flora Sibiri*. [Flora of Siberia]. Novosibirsk, 1988, vol. 8, p. 20. (in Russ.).
4. Gu C., Crinan A. *Flora of China (Pittosporaceae through Connaraceae)*, Beijing; St. Louis, 2003, vol. 10, pp. 73–74.
5. Koropachinskiy I.Yu., Vstovskaya T.N. *Drevesnyye rasteniya Aziatskoy Rossii*. [Woody plants of Asian Russia]. Novosibirsk, 2002, 707 p. (in Russ.).
6. Syeva S.Ya., Ail'chiyeva A.O. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2014, no. 9 (119), pp. 55–59. (in Russ.).
7. Zhao J-Q., Wang Y-M., Yang Y-L., Zeng Y., Mei L-J., Shi Y-P., Tao Y-D. *Food Chemistry*, 2017, vol. 230, pp. 117–124. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.03.024.
8. *Rastitel'nyye resursy SSSR: Tsvetkovyye rasteniya, ikh khimicheskiy sostav, ispol'zovaniye. T. 3. Semeystva Hydraginaceae – Haloragaceae*. [Plant resources of the USSR: Flowering plants, their chemical composition, use. Vol. 3. Families of Hydraginaceae – Haloragaceae]. Leningrad, 1987, pp. 99–101. (in Russ.).
9. Deng Y., Zhao J.Q., Mei L.J., Tao Y.D. *J. Asian Nat. Prod. Res.*, 2017, vol. 19, no. 9, pp. 877–883. DOI: 10.1080/10286020.2016.1258064.
10. Zhao J.Q., Wang Y.M., Wang Q.L., Shao Y., Shib Y.P., Meia L.J., Tao Y.D. *Phytochem. Lett.*, 2017, vol. 19, pp. 176–180.
11. Kirillov V.Yu., Stikhareva T.N., Mukanov B.M., Serafimovich M.V., Mukasheva F.T., Gering A.V., Sarsenbaeva L.A., Atazhanova G.A., Adekenov S.M. *Chem. Nat. Compd.*, 2016, vol. 52, no. 5, p. 941. DOI: 10.1007/s10600-016-1826-x.
12. Lai P.-X., Zhang X.-M., Tian Z.-H., Liu X. *Chem. Nat. Compd.*, 2016, vol. 52, no. 3, pp. 525–526. DOI: 10.1007/s10600-016-1698-0.
13. *Klimat Novosibirsk*. [The climate of Novosibirsk]. Leningrad, 1979, 223 p. (in Russ.).
14. Modina T.D., Sukhova M.G. *Klimat i agroklimaticheskiye resursy Altaya*. [Climate and agroclimatic resources of Altai]. Novosibirsk, 2007, 180 p. (in Russ.).
15. Belikov V.V. *Farmatsiya*, 1970, no. 1, pp. 66–72. (in Russ.).
16. Kukushkina T.A., Zykov A.A., Obukhova L.A. *Aktual'nyye problemy sozdaniya novykh lekarstvennykh preparatov prirodnogo proiskhozhdeniya: materialy VII Mezhdunarodnogo s'yezda*. [Actual problems of creating new drugs of natural origin: materials of the VII International Congress]. St. Petersburg, 2003, pp. 64–69. (in Russ.).
17. Fedoseyeva L.M. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2005, no. 2, pp. 45–50. (in Russ.).
18. Kriventsov V.I. *Metodicheskiye rekomendatsii po analizu plodov na biokhimicheskiy sostav*. [Guidelines for the analysis of fruits on the biochemical composition]. Yalta, 1982, 21 p. (in Russ.).
19. Yermakov A.I., Arasimovich V.V., Yarosh N.P. et al. *Metody biokhimicheskogo issledovaniya rasteniy*. [Methods of biochemical study of plants]. Leningrad, 1987, 429 p. (in Russ.).
20. Kriventsov V.I. *Trudy Nikitskogo botanicheskogo sada*, 1989, vol. 109, pp. 128–137. (in Russ.).
21. Yashin A.Ya., Yashin Ya.I., Chernousova N.I., Pakhomov V.P. *Novyy pribor dlya opredeleniya prirodnikh antioksidantov*. [A new device for determining natural antioxidants]. Moscow, 2005, 100 p. (in Russ.).
22. Fedina P.A., Yashin A.Ya., Chernousova N.I. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2010, no. 2, pp. 91–97. (in Russ.).
23. Glants S. *Mediko-biologicheskaya statistika*. [Biomedical statistics]. Moscow, 1998, 459 p. (in Russ.).
24. Kostikova V.A., Shaldayeva T.M. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2016, no. 2, pp. 73–78. DOI: 10.14258/jcprm.201602784. (in Russ.).
25. Kostikova V.A., Khramova Ye.P., Syeva S.Ya. *Rastitel'nyye resursy*, 2018, vol. 54, no. 3, pp. 409–419. DOI: 10.7868/S0033994618030072. (in Russ.).
26. Zaprometov M.N. *Osnovy biokhimii fenol'nykh soyedineniy: uchebn. posobiye dlya biol. spetsial'nykh un-tov*. [Fundamentals of biochemistry of phenolic compounds: textbook. allowance for biol. special universities]. Moscow, 1974, 213 p. (in Russ.).
27. Vysochina G.I. *Fenol'nyye soyedineniya v sistematike i filogenii semeystva grechishnykh*. [Phenolic compounds in the taxonomy and phylogeny of the buckwheat family]. Novosibirsk, 2004, 240 p. (in Russ.).
28. Raudone L., Vilkickyte G., Pitkauskaitė L., Raudonis R., Vainoriene R., Motiekaityte V. *Molecules*, 2019, vol. 24, no. 5, pp. 844–899. DOI: 10.3390/molecules24050844.
29. Skrypnik L.N., Kurashova A.A. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2019, no. 1, pp. 127–137. (in Russ.).
30. Yashin Ya.I., Ryzhnov V.Yu., Yashin A.Ya., Chernousova N.I. *Prirodnyye antioksidanty. Soderzhaniye v pishchevykh produktakh i ikh vliyaniye na zdorov'ye i starenie cheloveka*. [Natural antioxidants. Content in foods and their effects on human health and aging]. Moscow, 2009, 193 p. (in Russ.).
31. Arkhipova N.S., Yelagina D.S. *Ovoshchi Rossii*, 2017, no. 2 (35), pp. 86–91. (in Russ.).
32. Khramova Ye.P. *Rod Pentaphylloides Hill (Rosaceae) Aziatskoy Rossii (fenol'nyye soyedineniya, elementnyy so-stav v prirode i kul'ture, khemotaksonomiya): avtoref. dis. ... dokt. biol. nauk*. [Genus Pentaphylloides Hill (Rosaceae) of Asian Russia (phenolic compounds, elemental composition in nature and culture, chemotaxonomy): author. dis. ... doctor. biol. sciences]. Novosibirsk, 2016, 33 p. (in Russ.).
33. Zarubina L.V., Kononov V.N. *Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal*, 2009, no. 4, pp. 24–33. (in Russ.).

Received March 28, 2019

Revised May 24, 2019

Accepted September 13, 2019