

УДК 577.121:582.29:633.877.3(571.56-191.2)

СОДЕРЖАНИЕ ВТОРИЧНЫХ МЕТАБОЛИТОВ В ЛИШАЙНИКАХ СОСНОВЫХ ЛЕСОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

© И.А. Прокопьев*, Л.Н. Порядина, Г.В. Филиппова, А.А. Шейн

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, пр. Ленина, 41,
Якутск, 677980 (Россия), e-mail: ilya.a.prokopiev@gmail.com

В результате проведенного исследования были выделены вторичные метаболиты эпигейных кустистых лишайников *Cladonia amaurocraea*, *C. arbuscula*, *C. stellaris*, *C. rangiferina* и *Flavocetraria cucullata*, произрастающих в сосновых лесах Центральной Якутии, которые были идентифицированы как лишайниковые кислоты (дибензофураны, депсиды и α -метил- γ -лактоны). Показано, что содержание лишайниковых кислот в талломах лишайников зависело от типа соснового леса, из которого они были отобраны. Наибольшее содержание усниновой кислоты во всех изученных лишайниках, а также содержание лихестериновой, протолихестериновой кислот в талломах *F. cucullata*, наблюдалось в образцах, отобранных в бруснично-лишайниковых, толокнянково-бруснично-лишайниковых и шикшево-бруснично-лишайниковых сосняках. В то же время содержание перлатолиевой кислоты, орцинолового депсида и атранорина было, напротив, выше в образцах *C. stellaris*, *C. amaurocraea* и *C. rangiferina*, отобранных в лишайниково-брусничном сосняке с примесью лиственницы. Предположено, что различное содержание вторичных метаболитов в лишайниках, произрастающих в изученных типах лесных сообществ Центральной Якутии, может быть обусловлено как действием абиотических факторов среды (свет, температура, влажность), так и конкуренцией со стороны других видов растений.

Ключевые слова: лишайники, сосновые леса, вторичные метаболиты, лишайниковые кислоты.

Работа выполнена в рамках государственных заданий по проектам №0376-2014-0005 и №0376-2014-0003 при финансовой поддержке гранта главы РС (Я) для молодых ученых специалистов и студентов на 2016 г.

Введение

Территория Якутии обладает значительными запасами природного лишайникового сырья, что обуславливает высокий потенциал развития биотехнологического производства. В настоящее время в Якутии и Бурятии на основе лишайников рода кладония налажено производство ряда пищевых биологически активных добавок – «Ягель», «Ягель детокс», «Кладосент» и т.д. [1–3].

Известно, что накопление органических метаболитов в лишайниках зависит от различных абиотических факторов среды: освещенность, температура, влажность и т.д. [4, 5]. В то же время сведений о накоплении вторичных метаболитов в лишайниках, произрастающих в различных типах одного растительного сообщества, практически нет.

В пределах Центрально-Якутского флористического района господствует светлохвойная тайга из лиственницы Каяндера (*Larix cajanderi* Mayr) и сосны

Прокопьев Илья Андреевич – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник,
e-mail: ilya.a.prokopiev@gmail.com
Порядина Лена Николаевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник,
e-mail: porjadina-lena@rambler.ru
Филиппова Галина Валерьевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник,
e-mail: nureeva@yandex.ru
Шейн Алексей Анатольевич – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник,
e-mail: bg98saa@yandex.ru

обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Сосняки занимают хорошо прогреваемые и относительно сухие участки южных склонов и вершин водоразделов среди лиственничной тайги. В районе исследования распространены толокнянковые, брусничные, лишайниковые и разнотравные сосновые леса [6, 7]. Сосняки Центральной Якутии выделяются по обилию эпигейных кустистых видов лишайниковой флоры, отмечено 34 вида лишайников из 4 семейств и 5 родов [8].

* Автор, с которым следует вести переписку.

Цель работы – определить содержание вторичных метаболитов в кустистых лишайниках, произрастающих в различных типах сосновых лесов Центральной Якутии.

Экспериментальная часть

В качестве объектов исследования были выбраны эпигейные кустистые лишайники, относящиеся к семействам *Cladoniaceae* (кладония звездчатая – *Cladonia stellaris* (Opiz) Pouzar & Vězda, кладония лесная – *Cladonia arbuscula* (Wallr.) Flot., кладония стройная – *Cladonia amaurocraea* (Flörke) Schaer., кладония оленья – *Cladonia rangiferina* (L.) F.H.Wigg.) и *Parmeliaceae* (флавоцетрария клубочковая – *Flavocetraria cucullata* (Bellardi) Kärnefelt & A.Thell), талломы которых формируют лишайниковый покров сосновых лесов Центральной Якутии.

Отбор образцов лишайников для определения содержания в них вторичных метаболитов был произведен в конце июня 2014 г. в окрестностях Якутска на следующих участках: 62°3' с.ш. 129°34' в.д. сосняк лишайниково-брусничный с примесью лиственницы (точка 1), 62°4' с.ш. 129°27' в.д. сосняк толокнянково-бруснично-лишайниковый (точка 2), 61°55' с.ш. 129°31' в.д. сосняк шикшево-бруснично-лишайниковый (точка 3) и 61°50' с.ш. 129°30' в.д. сосняк бруснично-лишайниковый (точка 4). Места отбора проб имели следующие проективное покрытие лишайниками: точка 1 – 15%, точка 2 – 35%, точка 3 – 50%, точка 4 – 40%. С участков площадью 10 м² отбирали среднюю пробу лишайников, состоящую не менее чем из пяти образцов каждого изучаемого вида. Почвенный покров в местах отбора проб относился к мерзлотному песчаному и супесчаному типу.

Для выделения и последующей идентификации лишайниковых кислот брали по 50 г измельченных воздушно-сухих талломов каждого вида лишайника, после чего экстрагировали с использованием аппарата Сокслета в два этапа. На первом этапе измельченные талломы экстрагировали легким петролейным эфиром (температура кипения фракции 40–70 °С) в течение 12 ч. После остывания из частично упаренных экстрактов лишайников *C.stellaris*, *C. arbuscula*, и *C. amaurocraea* выпадал мелкокристаллический осадок желтого цвета (выход 0,1–0,5 г), из экстракта *C. rangiferina* – светлый мелкокристаллический осадок (выход 0,1 г). Из петролейного экстракта *F. cucullata* сразу после остывания обильно выпадал светлый мелкокристаллический осадок (выход 1,5 г); дальнейшее частичное упаривание экстракта приводило к выпадению желтого мелкокристаллического осадка (выход 0,1 г). На втором этапе оставшийся шрот повторно экстрагировали легким петролейным эфиром (*C.stellaris*, и *F. cucullata*) или хлороформом (*C. amaurocraea*) в течение 48 ч. После остывания и частичного упаривания полученных экстрактов *C.stellaris*, *C. amaurocraea* и *F. cucullata* выпадал светлый мелкокристаллический осадок (выход 0,2–2,5 г). Все полученные кристаллы отделялись фильтрованием, после чего отчищались последовательной перекристаллизацией из бензола и ацетона.

Для идентификации выделенных из экстрактов лишайниковых веществ (смеси веществ) использовали методы ИК- и УФ-спектроскопии. ИК-спектры выделенных соединений снимали на инфракрасном спектрометре с преобразователем Фурье Varian 7000 FT-IR (США) с приготовленных из бромида калия таблеток в диапазоне 4000–400 см⁻¹. УФ-спектры метанольных растворов выделенных веществ снимали на спектрофотометре Shimadzu UV-2600 (Япония) в диапазоне 190–350 нм. Идентификацию проводили, сопоставляя полученные спектры выделенных веществ с уже известными спектрами лишайниковых метаболитов [9, 10].

Выделенные и идентифицированные лишайниковые вещества использовали в качестве стандартов для определения их содержания в талломах. Для анализа брали только верхние молодые части воздушно-сухих лишайников длиной не более 1,0 см. Измельченную пробу исследуемого образца навеской 0,1 г экстрагировали 10 мл ацетонитрила, выбранного в качестве растворителя за счет хорошей растворяющей способности и отсутствия поглощения в УФ области. Экстракцию проводили при постоянном перемешивании в течение 24 ч и температуре 20–25 °С. Полученный экстракт пропускали через мембранный фильтр с диаметром пор 0,20 мкм и проводили его анализ методом ВЭЖХ на микроколоночном хроматографе Милихром А-02 фирмы «ЭкоНова» (Россия) с последующей компьютерной обработкой результатов исследования программой «МультиХром» для «Windows».

Разделение проводили на обращено-фазовой колонке ProntoSIL 120-5-C18 AQ размером 2×75 мм. В качестве подвижной фазы «А» использовали 0,1% водный раствор уксусной кислоты, «В» – ацетонитрил, градиентный режим элюирования с возрастанием доли «В» от 10 до 50% в течение 5 мин и от 50 до 100% – в течение 20 мин при скорости потока 100 мкл/мин и температуре колонки 40 °С. Объем вносимой пробы – 4 мкл. Детектирование осуществляли с помощью сканирующего УФ – спектрофотометрического детектора на длинах волн 210 и 230 нм.

Все аналитические измерения выполнены в четырех повторностях. Результаты экспериментов представлены в виде средней арифметической величины и ее стандартного отклонения. Нормальность распределения проверялась с помощью критерия Шапиро-Уилка. Сравнение средних значений выборок проводили методом однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA), значимость отличий между средними значениями определяли, используя критерий Ньюмена-Кейлса для множественного сравнения при уровне $p < 0,05$. Расчет проводился с помощью пакета AnalystSoft, StatPlus – программа статистического анализа, v.2007.

Обсуждение результатов

Идентификация выделенных из лишайников вторичных метаболитов показала, что они относятся к типу лишайниковых кислот (дибензофураны, депсиды, α -метилен γ -лактоны) и характеризуются достаточно высокой степенью чистоты. Показано, что лишайники *Cladonia amaurocraea*, *C.arbuscula*, *C.stellaris* и *Flavocetraria cucullata* содержат усниновую кислоту (табл. 1). Кроме усниновой кислоты, в талломах лишайников были идентифицированы ароматические соединения – атранорин (*C. rangiferina*), перлатолиевая (*C. stellaris*) кислота, а также алифатические протолихестериновая и лихестериновая кислоты в (*F. cucullata*).

Соединение, выделенное из талломов *C. amaurocraea*, не удалось полностью идентифицировать путем сопоставления полученных спектров с уже известными спектрами лишайниковых метаболитов. Основываясь на данных о максимумах поглощения в УФ-спектре и наличии полос поглощения в области характеристических частот валентных колебаний C=O карбонильной группы ($1700\text{--}1660\text{ см}^{-1}$); валентных колебаний C–C ароматического кольца ($1650\text{--}1570\text{ см}^{-1}$); валентных антисимметричных и симметричных колебаний C–O–C сложной эфирной связи ($1300\text{--}1250\text{ см}^{-1}$ и $1120\text{--}1070\text{ см}^{-1}$ соответственно); валентных колебаний C–O связи ($1250\text{--}1180\text{ см}^{-1}$) и деформационных внеплоскостных колебаний C–H связей ароматического кольца ($1000\text{--}650\text{ см}^{-1}$) в ИК-спектре, можно предположить, что выделенное из лишайника *C. amaurocraea* соединение, соответствует депсидам орциоолового типа [9, 11].

Из таблицы 2 следует, что суммарное содержание лишайниковых кислот для образцов *C. stellaris*, *C. arbuscula* и *F. cucullata*, отобранных в точках 3 и 4, было выше в 1,3–1,9 раза в сравнении с точками 1 и 2. Для образцов *C. rangiferina* и *C. amaurocraea*, наоборот, наибольшее суммарное содержание лишайниковых кислот наблюдалось в точках 1 и 2.

Содержание отдельных лишайниковых кислот изменялось следующим образом: наибольшее содержание усниновой кислоты, в талломах *C. stellaris* наблюдалось в образцах, отобранных в точках 2, 3 и 4 – 1,1% от сухой массы, что в 1,6 раза выше, чем в точке 1 (табл. 2). Содержание перлатолиевой кислоты в образцах *C. stellaris*, отобранных в точках 1 и 4, было в среднем в 2,0 раза выше, чем в образцах, отобранных в точках 2 и 3.

Таблица 1. Идентифицированные вторичные метаболиты в лишайниках, произрастающих в различных типах сосновых лесов Центральной Якутии

Лишайниковая кислота	УФ (MeOH), нм	УФ (MeOH), нм [9, 10]	ИК (KBr), см^{-1}
Усниновая кислота	232, 282	234, 282	1690, 1628, 1538, 1451, 1421, 1375, 1356, 1334, 1317, 1287, 1221, 1189, 1144, 1118, 1070, 1040, 1024, 992, 958, 840, 819, 802, 701
Перлатолиевая	213, 269, 306	213, 269, 306	1659, 1637, 1610, 1461, 1353, 1319, 1301, 1284, 1239, 1210, 1163, 1140, 1074, 1043, 1018, 955, 865, 850, 840, 792, 766, 737
Атранорин	209, 251, 312	210, 252, 312	1651, 1583, 1451, 1408, 1378, 1352, 1284, 1268, 1236, 1214, 1200, 1163, 1106, 1076, 1028, 1007, 990, 937, 860, 821, 802, 783
Орциооловый депсид	214, 275, 305	–	1658, 1630, 1610, 1574, 1503, 1451, 1399, 1381, 1273, 1233, 1156, 1132, 1079, 1050, 992, 833, 810, 790, 728
Лихестериновая	227	227	1725, 1690, 1470, 1430, 1380, 1350, 1320, 1215, 1150, 1135, 1022, 1010, 990, 955, 900, 770, 722, 710
Протолихестериновая	218	218	2919, 2848, 1741, 1717, 1661, 1462, 1434, 1403, 1352, 1309, 1252, 1217, 1199, 1182, 1127, 1106, 1021, 972, 962, 947, 853, 815, 712

Таблица 2. Содержание вторичных метаболитов в лишайниках, произрастающих в различных типах сосновых лесов Центральной Якутии

Точка отбора	Описание места отбора проб	Вид лишайника	Содержание лишайниковых кислот, % от воздушно-сухой массы						
			УК	ПЛК	ЛСК	ПЛСК	ОД	АТР	Σ ЛК
1	Сосняк с примесью листовенницы лишайниково-брусничный	<i>C. stellaris</i>	0,7±0,1 ^a	1,0±0,2 ^a	–	–	–	–	1,7±0,2 ^a
		<i>C. arbuscula</i>	0,7±0,1 ^a	–	–	–	–	–	0,7±0,1 ^a
		<i>F. cucullata</i>	0,6±0,1 ^a	–	0,9±0,1 ^a	3,0±0,2 ^a	–	–	4,5±0,3 ^a
		<i>C. amaurocraea</i>	0,2±0,0 ^a	–	–	–	1,5±0,1 ^a	–	1,7±0,1 ^a
		<i>C. rangiferina</i>	–	–	–	–	–	0,9±0,1 ^a	0,9±0,1 ^a
2	Сосняк толочнянково-бруснично-лишайниковый	<i>C. stellaris</i>	1,1±0,1 ^b	0,6±0,1 ^b	–	–	–	–	1,7±0,1 ^a
		<i>C. arbuscula</i>	0,8±0,1 ^a	–	–	–	–	–	0,8±0,1 ^a
		<i>F. cucullata</i>	0,8±0,1 ^b	–	1,2±0,1 ^b	3,3±0,3 ^{a,b}	–	–	5,3±0,3 ^b
		<i>C. amaurocraea</i>	0,9±0,1 ^b	–	–	–	1,2±0,1 ^b	–	2,1±0,2 ^b
		<i>C. rangiferina</i>	–	–	–	–	–	0,6±0,1 ^b	0,6±0,1 ^b
3	Сосняк шикшево-бруснично-лишайниковый	<i>C. stellaris</i>	1,1±0,1 ^b	0,7±0,1 ^b	–	–	–	–	1,8±0,2 ^a
		<i>C. arbuscula</i>	1,4±0,2 ^b	–	–	–	–	–	1,4±0,2 ^b
		<i>F. cucullata</i>	1,3±0,2 ^b	–	1,4±0,1 ^{b,c}	3,7±0,3 ^b	–	–	6,4±0,4 ^c
		<i>C. amaurocraea</i>	0,5±0,1 ^c	–	–	–	1,2±0,1 ^b	–	1,7±0,2 ^a
		<i>C. rangiferina</i>	–	–	–	–	–	0,5±0,1 ^b	0,5±0,1 ^b
4	Сосняк бруснично-лишайниковый	<i>C. stellaris</i>	1,1±0,1 ^b	1,3±0,2 ^a	–	–	–	–	2,4±0,2 ^b
		<i>C. arbuscula</i>	1,5±0,2 ^b	–	–	–	–	–	1,5±0,2 ^b
		<i>F. cucullata</i>	1,6±0,2 ^b	–	1,7±0,2 ^c	4,0±0,4 ^b	–	–	7,3±0,5 ^c
		<i>C. amaurocraea</i>	0,4±0,1 ^c	–	–	–	0,7±0,1 ^c	–	1,1±0,1 ^c
		<i>C. rangiferina</i>	–	–	–	–	–	0,3±0,0 ^c	0,3±0,0 ^c

Примечания: УК – усниновая кислота, ПЛК – перлатолиевая кислота, ЛСК – лихестериновая кислота, ПЛСК – протолихестериновая кислота, ОД – орциноловый депсид, АТР – атранорин, Σ ЛК – суммарное содержание лишайниковых кислот. Средние значения с одинаковыми буквенными надстрочными индексами статистически неразличимы при $p < 0,05$.

В талломах *C. arbuscula* была идентифицирована только усниновая кислота, наибольшее содержание которой было выявлено в образцах, отобранных в точках 3 и 4 – 1,4±0,2 и 1,5±0,2% от сухой массы соответственно, что в среднем в 1,9 раза выше ее содержания в лишайниках, отобранных в точках 1 и 2 (0,7±0,1 и 0,8±0,1% от сухой массы соответственно).

Показано, что содержание усниновой и лихестериновой кислот в образцах *F. cucullata*, отобранных в точках 2, 3 и 4, было в 1,3–2,7 раза выше, чем в лишайниках, отобранных в точке 1. Наибольшее содержание протолихестериновой кислоты наблюдалось в образцах *F. cucullata*, отобранных в точках 3 и 4 (3,7±0,3 и 4,0±0,4% от сухой массы, соответственно), что в 1,2–1,3 раза выше ее содержания в лишайниках, отобранных в точке 1 (3,0±0,2% от сухой массы).

Минимальное содержание усниновой кислоты было выявлено в образцах талломов *C. amaurocraea*, отобранных в точке 1 – 0,2±0,0% от сухой массы, что 2,0–4,5 раза ниже, чем в точках 2, 3 и 4 – 0,9±0,1, 0,5±0,1 и 0,4±0,1% от сухой массы соответственно.

В то же время содержание депсида орцинолового типа в образцах *C. amaurocraea* и атранорина в *C. rangiferina*, отобранных в лишайниково-брусничном сосняке с примесью листовенницы (точка 1), было в 1,3–2,1 и 1,5–3,0 раза соответственно выше, чем в образцах лишайников, отобранных в точках 2, 3 и 4.

Таким образом, содержание усниновой, лихестериновой и протолихестериновой кислот в изученных видах лишайников было минимальным в образцах, отобранных в точке 1. Вместе с тем, изученные лишайники, произрастающие в лишайниково-брусничном сосняке с примесью листовенницы (точка 1), характеризовались наибольшим содержанием различных депсидов (атранорин, перлатолиевая кислота, орциноловый депсид), что может указывать на адаптивную функцию ароматических лишайниковых кислот в данных условиях произрастания.

Можно предположить, что различное содержание вторичных метаболитов в лишайниках, произрастающих в изученных типах лесных сообществ Центральной Якутии, может быть обусловлено как действием абиотических факторов среды (свет, температура, влажность), так и конкуренцией со стороны других видов растений. Известно, что лишайниковые кислоты играют важную роль в аллелопатическом взаимодействии с другими растительными организмами [5]. Так, было показано, что лишайниковые кислоты способны оказывать ингибирующее действие на прорастание семян, а также рост и развитие проростков высших растений и мхов [12].

Выводы

В результате проведенных исследований были выделены вторичные метаболиты лишайников *Cladonia amaurocraea*, *C. arbuscula*, *C. stellaris*, *C. rangiferina* и *Flavocetraria cucullata*, произраставших в сосновых лесах Центральной Якутии, которые были идентифицированы как лишайниковые кислоты (дибензофураны, депсиды, α -метилен γ -лактоны). Показано, что содержание лишайниковых кислот в талломах лишайников зависело от типа соснового леса, из которого они были отобраны. Наибольшее содержание усниновой кислоты во всех изученных лишайниках, а также содержание лихестериновой, протолихестериновой кислот в талломах *F. cucullata*, наблюдалось в образцах, отобранных в бруснично-лишайниковых, толокнянково-бруснично-лишайниковых и шикшево-бруснично-лишайниковых сосняках. В то же время содержание перлатолиевой кислоты, орциолового депсида и атранорина было, напротив, выше в образцах *C. Stellaris*, *C. amaurocraea* и *C. rangiferina*, отобранных в лишайниково-брусничном сосняке с примесью лиственницы.

Список литературы

1. Бураева Л.Б., Николаева М.Г., Пожарицкая О.Н., Дугарова Г.О., Николаев С.М., Асеева Т.А. Радиопротекторное действие растительного препарата «Кладосент» при острой лучевой болезни у белых крыс // Растительные ресурсы. 1998. №1. С. 77–81.
2. Кершенгольц Б.М., Журавская А.Н., Хлебный Е.С., Шеин А.А., Филиппова Г.В., Шашурин М.М., Аньшакова В.В. Биопрепараты из природного арктического биосырья в сохранении здоровья населения в условиях изменений климата // Экология человека. 2010. №3. С. 8–15.
3. Аньшакова В.В. Биотехнологическая механохимическая переработка лишайников рода *Cladonia*. М., 2013. 116 с.
4. Равинская А.П., Вайнштейн Е.А. Влияние некоторых экологических факторов на содержание лишайниковых веществ // Экология. 1975. №3. С. 82–85.
5. Rundel P.W. Ecological role of secondary lichen substances // Biochemical Systematics and Ecology. 1978. Vol. 6. Pp. 157–170.
6. Уткин А.И. Леса Центральной Якутии. М., 1965. 208 с.
7. Тимофеев П.А., Исаев А.П., Щербаков И.П. Леса среднетаежной подзоны Якутии. Якутск, 1994. 140 с.
8. Колобкова М.В. Листоватые и кустистые лишайники окрестностей города Якутска // Биологические проблемы севера. Якутск, 1986. С. 46–47.
9. Huneck S., Yoshimura I. Identification of lichen substances. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1996. 493 p.
10. Yoshimura I., Kinoshita Y., Yainumoloi Y., Huneck S., Yamada Y. Analysis of Secondary Metabolites from Lichen by High Performance Liquid Chromatography with a Photodiode Array Detector // Phytochemical analysis. 1994. Vol. 5. Pp. 197–205.
11. Сильверстейн Р., Вебстер Ф., Кимл Д. Спектрометрическая идентификация органических соединений. М., 2014. 557 с.
12. Lawrey J.D. Biological Role of Lichen Substances // The Bryologist. 1986. Vol. 89. Pp. 111–122.

Поступило в редакцию 16 февраля 2016 г.

После переработки 10 мая 2016 г.

Prokopiev I.A.*, Poryadina L.N., Filippova G.V., Shein A.A. SECONDARY METABOLITES CONTENT IN PINE FORESTS LICHENS OF CENTRAL YAKUTIA

Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, pr. Lenina, 41, Yakutsk, 677980 (Russia),
e-mail: ilya.a.prokopiev@gmail.com

The studies were identified secondary metabolites of fruticose lichens *Cladonia amaurocraea*, *C. arbuscula*, *C. stellaris*, *C. rangiferina* and *Flavocetraria cucullata*, grows in the pine forests of Central Yakutia, which were identified as lichen acid (Dibenzofuranes, Depsides, and α -Methylene- γ -lactones). It was shown that the content of lichens acid in thalli of lichens depend on the pine forest type, from which they were selected. The highest content of usnic acid in all studied lichens, as well as content lichesterinic, protolichesterinic acids in *F. cucullata* thalli, was observed in samples taken in the lichen-cowberry, bearberry-cowberry-lichen and crowberry-cowberry-lichen pine forests. At the same time, the content perlatolic acid, orcinol depsid and atranorin on the contrary higher in the samples *C. stellaris*, *C. amaurocraea* and *C. rangiferina*, selected in the lichen-cowberry pine with larch admixture. It is assumed that the different contents of secondary metabolites in lichens growing in the studied types of Central Yakutia forest communities, may be due to the influence of abiotic environmental factors (light, temperature, humidity), and competition from other plant species.

Keywords: lichen, pine forests, secondary metabolites, lichen acids.

References

1. Buraeva L.B., Nikolaeva M.G., Pozharitskaia O.N., Dugarova G.O., Nikolaev S.M., Aseeva T.A. *Rastitel'nye resursy*, 1998, no. 1, pp. 77–81. (in Russ.).
2. Kershengol'ts B.M., Zhuravskaia A.N., Khlebnyi E.S., Shein A.A., Filippova G.V., Shashurin M.M., An'shakova V.V. *Ekologiya cheloveka*, 2010, no. 3, pp. 8–15. (in Russ.).
3. An'shakova V.V. *Biotekhnologicheskaya mekhanokhimicheskaya pererabotka lishainikov roda Cladonia*. [Biotechnological mechanochemical processing lichen genus *Cladonia*]. Moscow, 2013, 116 p. (in Russ.).
4. Ravinskaia A.P., Vainshtein E.A. *Ekologiya*, 1975, no. 3, pp. 82–85. (in Russ.).
5. Rundel P.W. *Biochemical Systematics and Ecology*, 1978, vol. 6, pp. 157–170.
6. Utkin A.I. *Lesa Tsentral'noi Yakutii*. [The forests of Central Yakutia]. Moscow, 1965, 208 p. (in Russ.).
7. Timofeev P.A., Isaev A.P., Shcherbakov I.P. *Lesa srednetazhnoi podzony Yakutii*. [Forests middle taiga subzone of Yakutia]. Yakutsk, 1994, 140 p. (in Russ.).
8. Kolobkova M.V. *Biologicheskie problemy severa*. [Biological problems of the north]. Yakutsk, 1986, pp. 46–47. (in Russ.).
9. Huneck S., Yoshimura I. *Identification of lichen substances*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1996, 493 p.
10. Yoshimura I., Kinoshita Y., Yainumoloi Y., Huneck S., Yamada Y. *Phytochemical analysis*, 1994, vol. 5, pp. 197–205.
11. Sil'verstein R., Webster F., Kiml D. *Spektrometricheskaya identifikatsiya organicheskikh soedinenii*. [Spectrometric identification of organic compounds]. Moscow, 2014, 557 p. (in Russ.).
12. Lawrey J.D. *The Bryologist*, 1986, vol. 89, pp. 111–122.

Received February 16, 2016

Revised May 10, 2016

* Corresponding author.