

УДК 543.544.43:581.5

## ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ МЕТАБОЛИТОВ В ХВОЕ *LARIX CAJANDERI* НА ТЕРРИТОРИИ ЯКУТИИ

© *И.В. Слепцов\**, *С.М. Рожина*

*Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, пр. Ленина, 41,  
Якутск, 677980 (Россия), e-mail: neroxasg@mail.ru*

Проведены исследования накопления первичных и вторичных метаболитов в хвое *Larix cajanderi* в некоторых районах Северной (Кобяйский, Анабарский улусы и Верхоянский район), Западной (Нюрбинский район и Виллойский улус) и Центральной (Мегино-Кангаласский улус) Якутии. Установлено, что максимальное содержание дигидрокверцетина, рутина, изопимаровой и дегидроабетиновой кислот в хвое *Larix cajanderi* зафиксировано в северной части Якутии, что может быть связано с защитными функциями флавоноидов и дитерпеновых кислот от ультрафиолетового излучения в условиях более продолжительного светового дня в весенне-летний период. Наблюдалась прямая зависимость содержания исследованных флавоноидов и дитерпеновых кислот от длительности светового дня в весенне-летний период в исследованных районах Якутии, что может быть подтверждением их защитных функций от УФ-излучения. Показано, что в результате обработки метаболомных профилей образцов хвои *Larix cajanderi* методом главных компонентов сформировались три группы, которые соответствуют флористическим районам Якутии. Образцы хвои *Larix cajanderi*, собранные в Мегино-Кангаласском, Виллойском улусах и Нюрбинском районе, сформировали отдельную группу, входящую в Центрально-Якутский флористический район, с территории Верхоянского района и Кобяйского улуса – соответствуют Яно-Индигирскому флористическому району, а из Анабарского улуса – расположились отдельно и относятся к Арктическому флористическому району.

*Ключевые слова:* *Larix cajanderi*, Якутия, флавоноиды, дитерпеновые кислоты, флористические районы, метаболомные профили.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по проекту «Физиолого-биохимические механизмы адаптации растений, животных, человека к условиям Арктики/Субарктики и разработка биопрепаратов на основе природного северного сырья, повышающих эффективность адаптационного процесса и уровень здоровья человека в экстремальных условиях среды» (тема № 0297-2021-0025, ЕГИСУ НИОКТР № АААА-А21-121012190035-9).*

### **Введение**

Республика Саха (Якутия) расположена в северо-восточной части Евразийского материка, площадь территории составляет 3083.5 тыс. кв. км. Территория республики входит в пределы четырех географических зон: таежных лесов, тундры, лесотундры и арктической пустыни, что обусловлено физико-географическим положением. Главной древесной породой криолитозоны является *Larix cajanderi*, которая занимает около 78% всей лесной площади Республики Саха (Якутия) [1]. Известно, что содержание биоактивных веществ в растениях зависит от условий произрастания, и на него влияют абиотические, биотические и антропогенные факторы [2, 3]. Важным фактором, влияющим на физиологические и биохимические характеристики растений Якутии, является резко континентальный климат, обусловленный продолжительной зимой, коротким и засушливым летним периодом, ранними заморозками весной и осенью, высоким уровнем радиации и продолжительным световым днем в весенне-летний период [4]. Существенное влияние оказывает

*Слепцов Игорь Витальевич* – кандидат биологических наук, научный сотрудник, e-mail: neroxasg@mail.ru  
*Рожина Сахаяна Михайловна* – инженер, e-mail: sahayana-rozhina@mail.ru

также и вечная мерзлота, покрывающая всю территорию Якутии, что замедляет прогревание почвы в начале вегетации растений, но также позволяет

\* Автор, с которым следует вести переписку.

экономно расходовать почвенную влагу [5]. Известно, что на территории криолитозоны, в том числе в Якутии, у растений формируется физиологическая и биохимическая адаптация к вышеотмеченным экстремальным условиям произрастания [6, 7]. *Larix cajanderi*, произрастающая на территории Республики Саха (Якутия), достаточно хорошо изучена с биологической точки зрения [1, 8, 9]. Однако исследования по накоплению первичных и вторичных метаболитов в хвое в зависимости от особенностей эколого-географических условий произрастания не проводились.

Цель – изучить эколого-географические особенности накопления первичных и вторичных метаболитов в хвое *Larix cajanderi* в некоторых районах Республики Саха (Якутия).

### **Экспериментальная часть**

Объектом исследования являлась хвоя *Larix cajanderi* Мауг, относящаяся к семейству *Pinaceae* Lindl. Сбор хвои проводили с деревьев высотой 2–3 м в конце июля 2019 года с территории Центральной (Мегино-Кангаласский улус – 61°44' с.ш., 130°10' в.д.), Западной (Вилуйский улус – 63°44' с.ш., 122°55' в.д.; Нюрбинский район – 63°44' с.ш., 118°00' в.д.) и Северной (Кобяйский улус – 63°59' с.ш., 127°23' в.д.; Верхоянский район – 67°31' с.ш., 133°36' в.д.; Анабарский улус – 70°59' с.ш., 114°19' в.д.) Якутии.

Метеорологические данные за 2019 г. взяты в online-архиве фактической погоды (<http://www.pogodaiklimat.ru>), по наблюдениям метеостанций, расположенных в непосредственной близости от точек сбора образцов *Larix cajanderi*.

Концентрацию флавоноидов в воздушно-сухой хвое определяли в метанольных экстрактах на ВЭЖХ Милихром А-02 фирмы «ЭкоНова» (Россия) [10].

Для метаболомного анализа 10 мг воздушно-сухой хвои *Larix cajanderi* экстрагировали в 1 мл метанола. Полученный экстракт выпаривали при 40 °С на роторном испарителе, сухой остаток растворяли в 50 мкл пиридина. Для получения летучих триметилсилил-производных (ТМС) проводили дериватизацию с использованием 50 мкл N,O-бис-(триметилсилил)трифторацетамида (BSTFA) в течение 15 мин при 100 °С. Анализ проводили методом газовой хромато-масс-спектрометрии (ГХ-МС) на хроматографе «Маэстро» (Россия) с квадрупольным масс-спектрометром Agilent 5975C (США), колонка HP-5MS, 30 м × 0.25 мм. Для хроматографии использовали линейный градиент температуры от 70 °С до 320 °С со скоростью 4 °С/мин при потоке газа (гелий) 1 мл/мин. Сбор данных осуществляли с помощью программного обеспечения Agilent ChemStation. Количественную интерпретацию хроматограмм проводили методом внутренней стандартизации по углеводороду C<sub>23</sub> [11]. Обработка и интерпретация масс-спектрометрической информации проводилась с использованием стандартной библиотеки NIST 2011.

Эксперименты выполняли в четырех биологических и аналитических повторностях. Полученные результаты представлены в виде средней арифметической величины и ее стандартного отклонения (M±SD). Сравнение средних значений выборок проводили методом ANOVA. Значимость отличий от контроля определяли, используя критерий Ньюмена-Кейлса для множественных сравнений при уровне p<0.05. Расчет проводился с помощью пакета AnalystSoft, StatPlus – программа статистического анализа, Vol.2007.

### **Результаты и обсуждения**

Важным фактором, влияющим на физиологические и биохимические характеристики растений Якутии, является резко континентальный климат, обусловленный большими колебаниями сезонных температур воздуха. Климат центральной части республики характеризуется малым количеством осадков (190–220 (300) мм), теплым и местами засушливым летним периодом. По сравнению с Центральной зима в Западной Якутии несколько теплее, а лето прохладнее, с большим количеством выпадающих осадков. Годовой ход характеризуется резко выраженным летним максимумом осадков и относительно сухой зимой. Среднегодовое количество осадков составляет 482 мм. Резко континентальный климат Северной Якутии обусловлен очень низкими зимними и высокими летними температурами воздуха. Амплитуда минусовых и плюсовых температур может достигать 100 °С [4, 12, 13].

Известно, что флавоноиды участвуют в процессах роста и развития растения, а их содержание варьируется и зависит от фенологической фазы и среды обитания растения [14, 15]. Исследовано содержание флавоноидов, таких как дигидрокверцетин (ДКВ) и рутин, в хвое *Larix cajanderi* в некоторых районах Якутии (табл. 1). Показано, что максимальное содержание флавоноидов было зафиксировано в хвое *Larix cajanderi*,

собранный на арктических территориях (Анабарский улус, Верхоянский район, Кобяйский улус), где концентрации ДКВ и рутина варьировали от 1.73–2.14 и 2.64–4.88 мг/г<sub>сух. хвои</sub> соответственно. В центральной и западной части Якутии (Нюрбинский район, Вилюйский и Мегино-Кангаласский улусы) наблюдалось минимальное содержание ДКВ и рутина в хвое *Larix cajanderi*, которое варьировало в интервалах 1.37–1.49 и 1.72–2.03 мг/г<sub>сух. хвои</sub> соответственно. Высокое содержание ДКВ и рутина в хвое *Larix cajanderi* в Северной части Якутии может быть вызвано защитной функцией флавоноидов от ультрафиолетового излучения [16]. Показана прямая зависимость между содержанием в хвое *Larix cajanderi* ДКВ ( $r=0.93$ ;  $P=0.01$ ) и рутина ( $r=0.96$ ;  $P=0.01$ ) от длительности светового дня в весенне-летний период в исследованных районах Якутии. Следует отметить, что корреляция содержания ДКВ ( $r=-0.64$ ;  $P=0.17$ ) и рутина ( $r=-0.77$ ;  $P=0.07$ ) в хвое со средней температурой воздуха в весенне-летний период является недостаточной. Такие данные могут свидетельствовать, что содержание ДКВ и рутина в хвое *Larix cajanderi* зависит в большей степени от длительности светового дня, чем от температуры воздуха, что может подтверждать участие флавоноидов в защите растений от ультрафиолетового излучения.

Проведен метаболомный анализ образцов хвои *Larix cajanderi* собранных на территории Мегино-Кангаласского улуса, Вилюйского улуса, Нюрбинского района, Кобяйского улуса, Верхоянского района и Анабарского улуса. Для статистического анализа полученных метаболомных данных была создана матрица, в которой отражены метаболомные профили хвои *Larix cajanderi* в исследованных районах. Построенный профиль включал 24 наблюдения по 127 метаболитам. Полученный массив данных был обработан методом главных компонент (РСА). По результатам анализа установлено, что точки, являющиеся отражением метаболома хвои *Larix cajanderi*, разделились на 3 группы по эколого-географическим особенностям произрастания, соответствующие флористическому районированию Якутии [17] (рис.). Основными метаболитами, которые оказывали наибольший вклад в разделении групп метаболомов, являлись моносахариды, дисахариды, полиолы, неорганические, органические, жирные и diterпеновые кислоты.

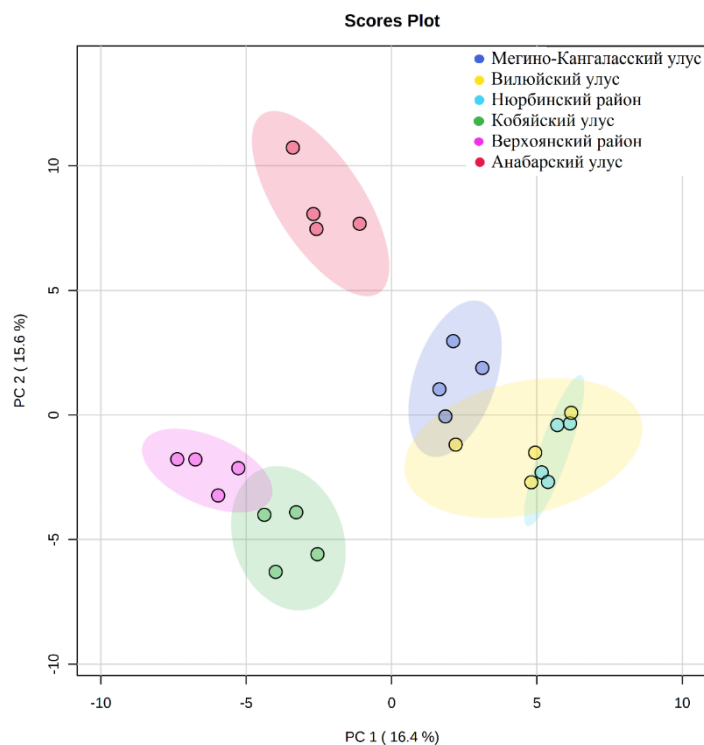
Метаболомные профили образцов хвои *Larix cajanderi*, собранные на территориях Мегино-Кангаласского улуса, Вилюйского улуса, Нюрбинского района, сформировали отдельную группу, входящую в Центрально-Якутский флористический район. Образцы хвои, собранные на территории Верхоянского района и Кобяйского улуса, объединились в одну группу, соответствующую Яно-Индибирскому флористическому району. Отдельно от всех расположились метаболомные профили хвои из Анабарского улуса и соответствуют Арктическому флористическому району. Таким образом, установлено, что разделение метаболомных профилей хвои *Larix cajanderi* соответствует флористическому районированию Якутии, что может быть связано с экологическими особенностями региона, на что, скорее всего, оказывает воздействие абиотические и биотические факторы среды произрастания.

Следует отметить, что по широтному распределению метаболитов в большей степени прослеживается изменение diterпеновых кислот, которые, как известно, являются одними из основных защитных веществ хвойных растений [18, 19]. Так, известно, что diterпеновые кислоты могут защищать растения от ультрафиолетового излучения [20]. Показано, что содержание изопимаровой и дегидроабетиновой кислот в хвое *Larix cajanderi* снижается на 13–66 и 36–60%, соответственно (табл. 2) по мере уменьшения широты, что может быть связано с высокой инсоляцией и более продолжительным световым днем в весенне-летний период в Северной части Якутии.

Таблица 1. Содержание ДКВ и рутина в хвое *Larix cajanderi* на территории Якутии

Место сбора	Название улуса/района	Средняя T в весенне-летний период, °C	Длительность светового дня в весенне-летний период, ч	ДКВ, мг/г <sub>сух. хвои</sub>	Рутин, мг/г <sub>сух. хвои</sub>
Северная Якутия	Анабарский улус	4.9	16.5–24.0	1.92±0.16 <sup>a</sup>	4.51±0.54 <sup>a</sup>
	Верхоянский район	12.0	15.5–24.0	2.14±0.20 <sup>a</sup>	4.88±0.34 <sup>a</sup>
	Кобяйский улус	14.8	14.5–21.0	1.73±0.33 <sup>ab</sup>	2.64±0.21 <sup>b</sup>
Западная Якутия	Нюрбинский район	14.7	13.4–20.5	1.46±0.19 <sup>b</sup>	1.72±0.15 <sup>c</sup>
	Вилюйский улус	15.4	13.6–20.8	1.49±0.29 <sup>b</sup>	1.93±0.24 <sup>c</sup>
Центральная Якутия	Мегино-Кангаласский улус	15.8	13.2–19.6	1.37±0.18 <sup>b</sup>	2.03±0.19 <sup>c</sup>

Средние значения с одинаковыми буквенными надстрочными индексами внутри столбца статистически неразличимы при  $p \leq 0.05$  по критерию Ньюмена-Кейлса,  $n=4$ .



Распределение метаболомов в хвое *Larix cajanderi* в некоторых районах Республики Саха (Якутия)

Таблица 2. Содержание дитерпеновых кислот в хвое *Larix cajanderi* на территории Якутии

Место сбора	Название улуса/района	Изопимаровая кислота, мкг/гсух. хвои	Дегидроабиетиновая кислота, мкг/гсух. хвои
Северная Якутия	Анабарский улус	62.7±5.7 <sup>a</sup>	141.2±8.7 <sup>a</sup>
	Верхоянский район	54.7±6.5 <sup>a</sup>	90.2±5.1 <sup>b</sup>
	Кобяйский улус	53.7±4.6 <sup>a</sup>	80.6±7.7 <sup>b,c</sup>
Западная Якутия	Вилюйский улус	36.8±4.2 <sup>b</sup>	66.4±5.6 <sup>c</sup>
	Нюрбинский район	34.2±5.6 <sup>b</sup>	59.3±3.8 <sup>c,d</sup>
Центральная Якутия	Мегино-Кангаласский улус	21.4±2.9 <sup>c</sup>	57.1±4.4 <sup>d</sup>

Примечание. Значения представлены в виде среднего ± стандартное отклонение (M±σ). За 1 мг принят 1 мг TMS-производных идентифицированных соединений.

Средние значения с одинаковыми буквенными надстрочными индексами внутри столбца статистически неразличимы при  $p < 0.05$  по критерию Ньюмена-Кейлса,  $n=4$ .

Показана прямая зависимость содержания изопимаровой ( $r=0.89$ ;  $P=0.02$ ) и дегидроабиетиновой ( $r=0.89$ ;  $P=0.02$ ) кислот в хвое *Larix cajanderi* от длительности светового дня в весенне-летний период в исследованных районах Якутии. Следует отметить, что корреляция содержания изопимаровой кислоты ( $r=-0.75$ ;  $P=0.08$ ) в хвое со средней температурой воздуха в весенне-летний период является недостаточно достоверной. Концентрация дегидроабиетиновой кислоты ( $r=-0.98$ ;  $P=0.01$ ), напротив, проявляет обратную взаимосвязь со средней температурой воздуха. Таким образом, показана прямая зависимость изопимаровой и дегидроабиетиновой кислот от длительности светового дня, что может быть подтверждением защиты дитерпеновых кислот от УФ-излучения.

### Выводы

Установлено, что максимальное содержание ДКВ, рутина, изопимаровой и дегидроабиетиновой кислот в хвое *Larix cajanderi* зафиксировано в северной части Якутии, что может быть связано с защитными функциями флавоноидов и дитерпеновых кислот от ультрафиолетового излучения в весенне-летний период. Наблюдалась прямая зависимость содержания исследованных флавоноидов и дитерпеновых кислот от дли-

тельности светового дня в весенне-летний период в исследованных районах Якутии, что может быть подтверждением их защитных функций от УФ-излучения. Показано, что в результате обработки метаболомных профилей образцов хвои *Larix cajanderi* методом главных компонентов сформировались три группы, которые соответствуют флористическим районам Якутии. Образцы хвои *Larix cajanderi*, собранные в Мегино-Кангаласском, Вилюйском улусах и Нюрбинском районе, сформировали отдельную группу, входящую в Центрально-Якутский флористический район, с территории Верхоянского района и Кобяйского улуса – соответствуют Яно-Индигирскому флористическому району, а из Анабарского улуса – расположились отдельно и относятся к Арктическому флористическому району.

### Список литературы

1. Николаев А.Н., Исаев А.П., Федоров П.П. Радиальный прирост лиственницы в Центральной Якутии в связи с изменением климата за последние 120 лет // Экология. 2011. №4. С. 243–250. DOI: 10.1134/S1067413611040114.
2. Алексеев В.Г. Устойчивость растений в условиях Севера: эколого-биохимические аспекты. Новосибирск, 1994. 152 с.
3. Неверова Н.А., Левчук А.А., Медведева Е.Н., Остроухова Л.А., Онучина Н.А., Бабкин В.А., Голобокова Г.М. Исследование основных практически значимых экстрактивных веществ в ядровой древесине *Larix cajanderi* Мауг. // Химия растительного сырья. 2014. №4. С. 45–54. DOI: 10.14258/jcrpm.1304045.
4. Климат Якутска. Л., 1982. 200 с.
5. Ефимов А.И. Мерзлотные условия Центральной Якутии // Материалы о природных условиях и сельском хозяйстве Центральной Якутии. 1954. №1. С. 222–233.
6. Кершенгольц Б.М. Неспецифические биохимические механизмы адаптации организмов к экстремальным условиям среды // Наука и образование. 1996. №3. С. 130–138.
7. Журавская А.Н. Адаптация к экстремальным условиям среды и радиочувствительность растений Якутии. Новосибирск, 2011. 104 с.
8. Синельникова Н.В., Пахомов М.Н. Морфологическая изменчивость лиственницы Каяндера (*Larix cajanderi*) в Оротукской котловине (долина р. Колыма) // Turczaninowia. 2011. Т. 14. №3. С. 62–68.
9. Лыткина Л.П., Исаев А.П., Чикидов И.И. Дальность разлета семян лиственницы в лесах Якутии // Наука и образование. 2005. №2. С. 16–17.
10. Слепцов И.В., Журавская А.Н. Динамика накопления флавоноидов в листьях *Amaranthus retroflexus*, *Agastache rugosa* и *Thlaspi arvense* собранных в Центральной Якутии // Химия растительного сырья. 2016. №3. С. 67–72. DOI: 10.14258/jcrpm.2016031241.
11. Петрова Н.В., Сазанова К.В., Медведева Н.А., Шаварда А.Л. Особенности метаболомного профиля на разных стадиях онтогенеза *Prunella vulgaris* (*Lamiaceae*) при выращивании в климатической камере // Химия растительного сырья. 2018. №3. С. 139–147. DOI: 10.14258/jcrpm.2018033798.
12. Порядина Л.Н. Новые виды лишайников Центрально-Якутского флористического района // Turczaninowia. 2020. Т. 23. №1. С. 99–109. DOI: 10.14258/turczaninowia.23.1.10.
13. Пестерев А.П. Почвенный покров Западной Якутии // Вестник СВФУ. 2013. №3. С. 10–17.
14. Ćirak S., Radušienė J., Janulis V., Ivanauskas L. Secondary metabolites in *Hypericum perforatum*: variation among plant parts and phenological stages // Botanica Helvetica. 2007. Vol. 117. N1. Pp. 29–36. DOI: 10.1007/s00035-007-0777-z.
15. Kazlauskas S., Bagdonaite E. Quantitative analysis of active substances in St. John's wort (*Hypericum perforatum* L.) by the high performance liquid chromatography method // Medicina (Kaunas, Lithuania). 2003. Vol. 40. N10. Pp. 975–981.
16. Caldwell M.M., Robberecht R., Flint S.D. Internal filters: prospects for UV-acclimation in higher plants // Physiologia plantarum. 1983. Vol. 58. N3. Pp. 445–450. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1983.tb04206.x.
17. Захарова В.И., Данилова Н.С. Разнообразие растительного мира Якутии. Новосибирск, 2005. 328 с.
18. Keeling C.I., Bohlmann J. Diterpene resin acids in conifers // Phytochemistry. 2006. Vol. 67. N22. Pp. 2415–2423. DOI: 10.1016/j.phytochem.2006.08.019.
19. Holmbom T., Reunanen M., Fardim P. Composition of callus resin of Norway spruce, Scots pine, European larch and Douglas fir // Holzforschung. 2008. Vol. 62. N4. Pp. 417–422. DOI: 10.1515/HF.2008.070.
20. Zavala J.A., Ravetta D.A. The effect of solar UV-B radiation on terpenes and biomass production in *Grindelia chilensis* (*Asteraceae*), a woody perennial of Patagonia, Argentina // Plant Ecology. 2002. Vol. 161. N2. Pp. 185–191. DOI: 10.1023/A:1020314706567.

Поступила в редакцию 19 августа 2020 г.

После переработки 18 февраля 2021 г.

Принята к публикации 26 февраля 2021 г.

**Для цитирования:** Слепцов И.В., Рожина С.М. Эколого-географические особенности накопления метаболитов в хвое *Larix cajanderi* на территории Якутии // Химия растительного сырья. 2021. №2. С. 275–280. DOI: 10.14258/jcrpm.2021028322.

*Sleptsov I.V.\**, *Rozhina S.M.* ECOLOGICAL AND GEOGRAPHICAL FEATURES OF THE ACCUMULATION OF METABOLITES IN THE NEEDLES OF *LARIX CAJANDERI* IN THE TERRITORY OF YAKUTIA

*Institute of Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, pr. Lenina, 41, Yakutsk, 677980 (Russia),  
e-mail: neroxasg@mail.ru*

The accumulation of primary and secondary metabolites in *Larix cajanderi* needles in some areas of North (Kobyayskiy, Anabarskiy uluses and Verkhoyanskiy district), Western (Nurbinskiy district and Vilyuyskiy ulus) and Central (Megino-Kangalasskiy ulus) Yakutia was studied. It was found that the maximum content of dihydroquercetin, rutin, pimaric, isopimaric and dehydroabietic acids in *Larix cajanderi* needles was recorded in the northern part of Yakutia, which may be associated with the protective functions of flavonoids and diterpenic acids from ultraviolet radiation under conditions of longer daylight hours in the spring and summer. ... A direct relationship was observed between the content of the studied flavonoids and diterpenic acids and the duration of daylight hours in the spring-summer period in the studied regions of Yakutia, which may be a confirmation of their protective functions from UV radiation. It is shown that as a result of processing the metabolomic profiles of *Larix cajanderi* needles by the method of principal components, three groups were formed, which correspond to the floristic regions of Yakutia. Samples of *Larix cajanderi* needles collected in Megino-Kangalasskiy, Vilyuyskiy ulus and Nyurba region formed a separate group, which is part of the Central Yakutsk floristic region, from the territory of the Verkhoyansk region and Kobyayskiy ulus correspond to the Yano-Indigirsky floristic region, and from the Anabar and the ulus are located separately Arctic floristic region.

**Keywords:** *Larix cajanderi*, Yakutia, flavonoids, diterpenic acids, floristic regions, metabolomic profiles.

### References

1. Nikolayev A.N., Isayev A.P., Fedorov P.P. *Ekologiya*, 2011, no. 4, pp. 243–250. DOI: 10.1134/S1067413611040114. (in Russ.).
2. Alekseyev V.G. *Ustoychivost' rasteniy v usloviyakh Severa: ekologo-biokhimicheskiye aspekty*. [Plant resistance in the North: ecological and biochemical aspects]. Novosibirsk, 1994, 152 p. (in Russ.).
3. Neverova N.A., Levchuk A.A., Medvedeva Ye.N., Ostroukhova L.A., Onuchina N.A., Babkin V.A., Golobokova G.M. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2014, no. 4, pp. 45–54. DOI: 10.14258/jcprm.1304045. (in Russ.).
4. *Klimat Yakutsk*. [Climate of Yakutsk]. Leningrad, 1982, 200 p. (in Russ.).
5. Yefimov A.I. *Materialy o prirodnykh usloviyakh i sel'skom kho-zyaystve Tsentral'noy Yakutii*, 1954, no. 1, pp. 222–233. (in Russ.).
6. Kershengol'ts B.M. *Nauka i obrazovaniye*, 1996, no. 3, pp. 130–138. (in Russ.).
7. Zhuravskaya A.N. *Adaptatsiya k ekstremal'nym usloviyam sredy i radiochuvstvitel'nost' rasteniy Yakutii*. [Adaptation to extreme environmental conditions and radiosensitivity of plants in Yakutia]. Novosibirsk, 2011, 104 p. (in Russ.).
8. Synel'nykova N.V., Pakhomov M.N. *Turczaninowia*, 2011, vol. 14, no. 3, pp. 62–68. (in Russ.).
9. Lytkina L.P., Isayev A.P., Chikidov I.I. *Nauka i obrazovaniye*, 2005, no. 2, pp. 16–17. (in Russ.).
10. Sleptsov I.V., Zhuravskaya A.N. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2016, no. 3, pp. 67–72. DOI: 10.14258/jcprm.2016031241. (in Russ.).
11. Petrova N.V., Sazanova K.V., Medvedeva N.A., Shavarda A.L. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2018, no. 3, pp. 139–147. DOI: 10.14258/jcprm.2018033798. (in Russ.).
12. Poryadyna L.N. *Turczaninowia*, 2020, vol. 23, no. 1, pp. 99–109. DOI: 10.14258/turczaninowia.23.1.10. (in Russ.).
13. Pesterev A.P. *Vestnik SVFU*, 2013, no. 3, pp. 10–17. (in Russ.).
14. Çirak C., Radušienė J., Janulis V., Ivanauskas L. *Botanica Helvetica*, 2007, vol. 117, no. 1, pp. 29–36. DOI: 10.1007/s00035-007-0777-z.
15. Kazlauskas S., Bagdonaite E. *Medicina*, 2003, vol. 40, no. 10, pp. 975–981.
16. Caldwell M.M., Robberecht R., Flint S.D. *Physiologia plantarum*, 1983, vol. 58, no. 3, pp. 445–450. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1983.tb04206.x.
17. Zakharova V.I., Danilova N.S. *Raznoobrazie rastitel'nogo mira Yakutii*. [Diversity of the flora of Yakutia]. Novosibirsk, 2005, 328 p. (in Russ.).
18. Keeling C.I., Bohlmann J. *Phytochemistry*, 2006, vol. 67, no. 22, pp. 2415–2423. DOI: 10.1016/j.phytochem.2006.08.019.
19. Holmbom T., Reunanen M., Fardim P. *Holzforschung*, 2008, vol. 62, no. 4, pp. 417–422. DOI: 10.1515/HF.2008.070.
20. Zavala J.A., Ravetta D.A. *Plant Ecology*, 2002, vol. 161, no. 2, pp. 185–191. DOI: 10.1023/A:1020314706567.

*Received August 19, 2020*

*Revised February 18, 2021*

*Accepted February 26, 2021*

**For citing:** Sleptsov I.V., Rozhina S.M. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2021, no. 2, pp. 275–280. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2021028322.

\* Corresponding author.