

СОДЕРЖАНИЕ

Том 56, вып. 3, 2020

ОБЗОРЫ

Variable Retention Forestry – лесоводство, ориентированное на непрерывное в пространстве и во времени сохранение лесной среды

А. М. Крышень, С. М. Синькевич, Е. В. Шорохова

195

СТАТЬИ И СООБЩЕНИЯ

Ресурсы полезных растений и растительных сообществ

Ресурсная оценка ценопопуляций *Convallaria majalis* (Convallariaceae) в подзоне хвойно-широколиственных лесов Кировской области

В. Н. Сулейманова, Т. Л. Егошина

202

Прирост кормовых видов лишайников рода *Cladonia* (Cladoniaceae) на пастбищах домашнего северного оленя

С. Ю. Соковнина (Абдульманова), С. Н. Эктова

221

Интродукция ресурсных видов

Итоги первичной интродукции видов рода *Juglans* (Juglandaceae) в Среднем Предуралье

Н. М. Кузьмина, А. В. Федоров

241

Фенологическое развитие видов рода *Rosa* (Rosaceae), интродуцированных в г. Благовещенск (Амурская область)

Т. В. Ступникова

250

Компонентный состав ресурсных видов

Особенности элементного состава листьев *Panax ginseng* (Araliaceae) в природных популяциях Приморского Края

Н. С. Шихова, О. Л. Бурундукова, Г. Н. Бутовец, Н. В. Зарубина, Н. В. Полякова

257

Компонентный состав и антимикробная активность эфирного масла *Arachis hypogea* (Fabaceae)

Н. К. Усманова, А. М. Каримов, Х. М. Бобакулов, Н. Д. Абдуллаев, Э. Х. Ботиров

270

Фитохимическое исследование сырья *Alcea flavovirens* (Malvaceae) в Республике Азербайджан

И. С. Мовсумов, Э. Э. Гараев, Э. А. Гараев, Т. А. Сулейманов, Дж. Ю. Юсифова

276

Биологическая активность растений

Biologically Active Compounds and Biological Activity of *Physalis alkekengi* (Solanaceae)

Е. Н. Novruzov

280

Contents

Vol. 56, issue 3, 2020

REVIEW

Variable Retention Forestry is Targeted to Preserve the Temporal and Spatial Continuity of Forest Habitats and Ecosystem Functions

A. M. Kryshen', S. M. Sinkevich, E. V. Shorohova

195

ARTICLES AND COMMUNICATIONS

Resources of Useful Plants and Plant Associations

Resource Characteristics of *Convallaria majalis* (Convallariaceae) Coenopopulations in Mixed Coniferous-Broad-Leaved Forests of the Kirov Region

V. N. Suleimanova, T. L. Egoshina

202

Growth Rate of Forage *Cladonia* Lichens (Cladoniaceae) on Summer and Winter Pasture of Domestic Reindeer

S. U. Sokovnina (Abdulmanova), S. N. Ektova

221

Introduction of Resource Species

Results of the Initial Introduction of Some *Juglans* (Juglandaceae) Species to the Middle Urals

N. M. Kuzmina, A. V. Fedorov

241

Seasonal Phenology of *Rosa* Species (Rosaceae) Introduced to the City of Blagoveshchensk (Amur Region)

T. V. Stupnikova

250

Component Composition of Resource Species

Elemental Composition of the Leaves of *Panax ginseng* (Araliaceae) in Natural Populations of the Primorye Territory

N. S. Shikhova, O. L. Burundukova, G. N. Butovets, N. V. Zarubina, N. V. Polyakova

257

Component Composition and Antimicrobial Activity of *Arachis hypogea* (Fabaceae) Essential Oil

N. K. Usmanova, A. M. Karimov, Kh. M. Bobakulov, N. D. Abdullaev, E. Kh. Botirov

270

Phytochemical Study of the Flowers *Alcea flavovirens* (Malvaceae) from the Republic of Azerbaijan

I. S. Movsumov, E. E. Garayev, E. A. Garayev, T. A. Suleymanov, D. Y. Yusifova

276

Biological Activity of Resource Species

Biologically Active Compounds and Biological Activity of *Physalis alkekengi* (Solanaceae)

E. N. Novruzov

280

VARIABLE RETENTION FORESTRY – ЛЕСОВОДСТВО, ОРИЕНТИРОВАННОЕ НА НЕПРЕРЫВНОЕ В ПРОСТРАНСТВЕ И ВО ВРЕМЕНИ СОХРАНЕНИЕ ЛЕСНОЙ СРЕДЫ

© 2020 г. А. М. Крышень^{1, *}, С. М. Синькевич¹, Е. В. Шорохова^{1, 2}

¹Институт леса — обособленное подразделение ФИЦ “Карельский научный центр РАН”, г. Петрозаводск, Россия

²Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург, Россия

*e-mail: kryshen@krc.karelia.ru

Поступила в редакцию 04.05.2020 г.

После доработки 31.05.2020 г.

Принята к публикации 10.06.2020 г.

В журнале “Ecological processes” опубликована тематическая подборка статей “Ecological Perspectives on Variable Retention Forestry”, посвященная внедрению экологических систем рубок, направленных на сохранение в пространстве и во времени лесной среды путем оставления части живых деревьев, мертвой древесины, порубочных остатков. Основное внимание уделяется сохранению биологического разнообразия. Всего в серии представлено 15 статей, находящихся в открытом доступе. Авторами статей являются ученые из Финляндии, Швеции, США, Канады, Аргентины, Австралии и России. В международном сообществе направление лесного хозяйства получило название “Variable Retention Forestry” и формально впервые о нем было заявлено в США, хотя, безусловно, оно параллельно и независимо развивалось в странах Северной Европы и в России. В скандинавских странах особое внимание уделяется еще одному аспекту VRF — имитации естественных нарушений, которые до преобразования человеком обеспечивали существование многих видов животных, растений, грибов.

Ключевые слова: рубка леса, биоразнообразие, устойчивость лесных экосистем, лесное законодательство, экосистемные услуги

DOI: 10.31857/S0033994620030036

“При чтении книг, особенно иностранных, молодые лесоводы должны иметь всегда в виду приспособление приобретенных сведений к обстоятельствам России, сличая правила теории с местными наблюдениями и сделанными опытами”

Е.В. Канкрин (“Инструкция об управлении лесной частью на горных хребтах Уральских по правилам лесной науки”, 1830, §117)

В 2019 г. в журнале “Ecological Processes”¹ организована публикация тематической серии статей, посвященных проблеме рубок леса с сохранением его основных экосистемных функций, в первую очередь биологического разнообразия. Формирование выпуска продолжалось до февраля 2020 г., и в настоящее время все статьи в открытом доступе находятся по адресу <https://www.springeropen.com/collections/vrf>. Большинство статей — это обзоры значительного числа литературных источников и в данной публикации упоминаются только материалы анализи-

руемой серии (специального выпуска), в свою очередь более глубоко знакомящие читателя с проблемами, затронутыми в каждой статье.

Анализируемое направление лесоводства в англоязычной литературе получило название “Variable Retention Forestry” (VRF) — трудно переводимое на русский язык сочетание слов. Для России с ее масштабами лесозаготовок необходимо разбираться — что из себя представляет VRF и в какой степени это направление представляет интерес для развития лесного хозяйства. Одна из обзорных статей серии [1] посвящена анализу различных пониманий VRF. Авторы из Аргентины поставили перед собой задачу сравнить по литературным данным на основе базы Google Scholar определения VRF. Они справедливо считают, что

¹ Журнал с открытым доступом издательства “Springer”, серия опубликована на сайте — <https://www.springeropen.com/collections/vrf>

неверно или нечетко интерпретированные лесоводственные понятия могут быть использованы для обоснования практик, нацеленных на максимальную прибыль в ущерб сохранению средообразующих функций леса. Из множества проанализированных ими статей (около 200 наиболее релевантных), посвященных проблеме, авторы выбрали наиболее часто встречающиеся определения понятия VRF, и сгруппировали их по основному признаку — отношению человека к природе. Первое определение VRF — это лесное хозяйство, поддерживающее экологический, экономический и/или социальный капитал, подразумевающий подход к рубке леса, основанный на сохранении его структурных элементов для включения их в новый древостой с целью достижения, главным образом, экологических целей. Такой подход VRF к рубкам сочетает в себе оставляемые живые и мертвые деревья в различных пространственных конфигурациях. Дисперсная и агрегатная модели VRF (оставление отдельно стоящих деревьев или их групп разного размера) могут применяться как порознь, так и совместно. Считается, что оставляемые элементы должны включать мертвую древесину и по возможности сочетаться с контролируемым выжиганием. Внешне направленное на сохранение природы освоение лесов, по сути, подчиняется цели максимального использования всех (не только связанных с использованием древесины) экосистемных услуг.

Второй подход определен как лесоправление, направленное на долгосрочное сохранение лесных структур и биологического разнообразия, основанное на оставлении живых и мертвых деревьев и небольших участков нетронутого леса во время рубки. Цель состоит в том, чтобы в границах относительно однородной территории достичь пространственной и временной непрерывности лесной среды, способствующей сохранению всей полноты биоразнообразия и поддерживающей экологические функции в различных пространственных масштабах. Методы VRF должны обеспечить экономическую выгоду и механизмы рекolonизации видов коренных лесов в процессе восстановления леса на вырубках. Важную роль здесь играет мониторинг биологического разнообразия видов многих таксономических групп.

Оба варианта ориентированы на сохранение многообразных средообразующих функций леса, и внешне отличаются только деталями. Однако 1-й просто направлен на интеграцию экологических, экономических и культурных целей, а 2-й — преимущественно на охрану природы — на непрерывное сохранение лесной среды и, главное, что концептуально он не ставит человека выше природы, представляет его частью природы, такой же, как и другие живые организмы, нуждающиеся в пригодных местобитаниях.

Есть еще и 3-й вариант VRF, назовем его “примитивным”. Человек видит лес как поставщика древесины. Сторонники такого подхода называют VRF “небрежной рубкой”. В этом определении отражается внешнее восприятие VRF и ощущается отрицательное к нему отношение, исходит оно как от лесопромышленников, заинтересованных в максимальной прибыли, так и от местного населения, недовольного большим количеством оставленной мертвой древесины.

Канадские исследователи разделили понятие на теоретическое и прикладное [2]. В теории VRF используется для описания общего подхода к лесозаготовкам, который требует долгосрочного сохранения лесной среды. В прикладном же аспекте — это уже конкретные технологии, предназначенные для достижения целей VRF, которые определены в правилах лесного планирования Британской Колумбии. Чтобы разделить эти два направления, они предложили называть прикладное — “системной VRF”.

Возвращаясь к переводу понятия, следует отметить, что, как это часто бывает в английском языке, отдельные слова несут различные, дополняющие друг друга понятия. “Variable” (разнообразный) — применительно к “Forestry” (иногда “harvesting” — лесозаготовка, “felling” — рубка) указывает на разнообразие приемов рубки (размеры вырубки, конфигурация вырубки, количество оставляемых деревьев, вид, возраст, размеры оставляемых деревьев, структура совокупности оставляемых деревьев и т.д.). В сочетании с “Retention” (сохранение, удержание) указывает на комплексность (сложность) проблемы и на то, что речь не идет только о видовом разнообразии, а скорее о сохранении лесной среды. Неслучайно одним из ключевых понятий VRF является “зона влияния леса”, определяемая, как полоса шириной, равной высоте дерева [2].

В статье одного из авторов концепции Джерри Франклина [3], подробно рассказывается об истории развития направления в США, появлении идеи VRF, практиках применения VRF в лесах *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. В 1970-е гг. в государственных лесах преобладали сплошные рубки, которые вызывали опасение в отношении сохранения популяций мелких млекопитающих, птиц и других групп животных и растений, в том числе и редких видов. VRF началось здесь с сохранения небольшого числа (до 15%) живых деревьев, а также крупных древесных остатков на вырубках. Приемы сохранения деревьев и других структур в виде небольших лесных участков, впоследствии названных агрегатами, возникли в результате общения Дж. Франклина с частными землевладельцами, которые под давлением общественности и прессы озаботились имиджем экологически ориентированного лесопользователя.

В 1991 г. подкомитет по ассигнованиям Палаты представителей Конгресса США связался с докторами Л. Норрисом и Дж. Франклином по поводу их инициативы изучения Лесной службой США альтернативы сплошным рубкам для заготовки древесины. В результате в 1996 г. был принят проект демонстрации вариантов управления экосистемами (DEMO), названный так отчасти потому, что некоторые лесоводы агентства выступали против альтернатив сплошной рубке и надеялись на его “провал”. В конечном итоге, реализованный “демонстрационный” эксперимент представлял шесть вариантов, которые сильно отличались по количеству оставляемых структурных элементов и структуре (дисперсные или агрегированные) с оставлением от 15 до 75% деревьев. К сожалению, не было варианта сплошной вырубке, т.к. к этому времени они в государственных лесах *Pseudotsuga menziesii* были уже запрещены. Позднее аналогичные эксперименты с различными вариантами VRF и количеством оставляемых структурных элементов были проведены в странах Северной Европы, Аргентины, Австралии [4, 5]. Несколько десятилетий применения VRF показали, что агрегированный подход в большинстве случаев имеет как эксплуатационные, так и экологические преимущества по сравнению с дисперсным сохранением деревьев.

Всего в анализируемой специальной серии журнала “Ecological Processes” представлены 15 статей исследователей из Финляндии, Швеции, США, Канады, Аргентины, Австралии и России. Большинство — это обзоры и анализ десятилетней и более практики применения VRF в отдельных странах или континентах. Редакторская статья [5] вводит читателей в проблему и анализирует представленные материалы в географическом аспекте. Представленный ниже обзор материалов систематизирован в ракурсе способов VRF и результатов исследования их последствий, а также открытых вопросов. Несмотря на различия экологических и лесоводственных традиций, в представленных статьях, так или иначе, обсуждается определенный набор вопросов:

- как учитывать ландшафтную специфику?
- стоит ли имитировать природные нарушения и если да, то какие и как?
- какие и в каком количестве оставлять структурные элементы?
- насколько подвержены оставляемые отдельные деревья или их группы ветровалу и другим нарушениям?
- как способы VRF влияют на естественное возобновление, в частности, сохранность и состояние подроста целевой древесной породы?
- как способы VRF справляются с одной из основных своих задач — сохранением биологического разнообразия?

Еще один важный момент, требующий особого обсуждения, — отношение населения к VRF [2–5]. Опросы населения показали, что отношение к VRF лишь немного лучше, чем к традиционным сплошным рубкам, при этом распределенные по вырубке отдельные деревья эстетически выглядят лучше, чем расположенные группами, что входит в противоречие с вопросами сохранения лесной среды, но должно учитываться особенно в местах массового посещения.

В обзорной статье коллектива, представляющего североевропейский регион [4] проанализированы публикации, индексированные в Web of Science Core collection. Вот некоторая статистика — большая часть из примерно 180 исследований была проведена в Швеции (51%), за ней следовали Финляндия (31%), Эстония (10%), Норвегия (5%) и Латвия (2%), в то время, как только одно исследование было проведено в Литве. Литература по России по теме в анализируемой базе практически не представлена. До 2001 г. было опубликовано всего 5 статей, в то время как в период 2001–2010 гг. — 57%, а позже — 40%. Большинство статей посвящено сохранению биологического разнообразия; жуки были наиболее часто изучаемыми организмами (39% исследований), за ними следовали лишайники и мохообразные (обе группы по 16%). Многие виды этих групп организмов связаны с разлагающейся древесиной и считаются индикаторами лесов высокой природоохранной ценности. Неслучайно много внимания уделялось мертвой древесине — она была в фокусе внимания большинства исследований (34%), по сравнению с примерно 25% статей, посвященных способам VRF (более подробно эту информацию можно посмотреть в сопровождающем файле к указанной статье [4]).

Анализируя статьи специальной серии, посвященные влиянию способов VRF на биологическое разнообразие можно сделать вывод о том, что исследуются различные группы организмов. Внимание уделяется мелким млекопитающим [2, 6], птицам [2, 4, 6, 7], насекомым [2, 7], моллюскам [4], почвенным беспозвоночным [2, 7], сосудистым растениям [2, 4, 6, 7], мхам [2, 4, 7], лишайникам [2, 4, 7]; грибам [7], в т.ч. микоризным [2, 7]. В статье М. Койвула и И. Ванха-Майамаа [8] дан обзор статей, индексированных в Web of Science и Scopus из Балтийских стран, посвященных влиянию способов рубок, контролируемого выжигания, оставления крупных древесных остатков на вырубках на разнообразие практически всех указанных выше групп. Делать какие-то однозначные выводы по влиянию VRF (количество и распределение оставляемых деревьев) на сохранение биоразнообразия в целом невозможно из-за различной реакции видов на рубку, ландшафтных особенностей территории и множества других факторов [2], но сам представленный в статьях

материал обширен не только по таксономическим группам, но и географически.

Анализ применения VRF в различных странах на четырех континентах привел авторов статей к некоторым общим выводам.

1. В идеале сохранение лесной среды должно достигаться имитацией периодических природных нарушений (пожаров, ветровалов, оконной динамики), создающих на определенной территории непрерывные ряды деревьев различного возраста и размера, пней разной высоты, по возможности всех древесных пород, мертвой древесины всех стадий разложения [2, 4, 6, 9–12]. Опыт, однако, показал, что невозможно точно симитировать естественные (природные) нарушения лесов, и вопрос надо ли стремиться к максимально точному копированию природных ситуаций остается пока открытым [2]. По-видимому, решение должно привязываться к конкретным территориям и задачам [12].

2. Практически все исследователи указывают на то, что необходимо учитывать специфику территории (рельеф, влажность, механический состав почвы и др.) при выборе способов VRF. Именно эти условия определяют, сколько и каких деревьев оставлять, и в каком пространственном размещении. С введением понятия “зона влияния дерева”, определенного как окружность с радиусом, равным высоте дерева, можно оперировать не только числом оставляемых деревьев и их расположением, но и конфигурацией территории вырубki [10]. В Британской Колумбии система VRF [2] включает требование того, что количество оставленных деревьев и их расположение должны обеспечить более 50% территории под “влиянием леса”. Соответственно, предлагается два основных варианта VRF – групповое (агрегированное) и распределенное (дисперсное) – сходное с принципами оставления семенных деревьев – куртинами или отдельно стоящими деревьями. По соображениям безопасности, экономики и экологии, предпочтение отдается групповому расположению деревьев, для полноценного сохранения видов старовозрастных лесов размеры куртин должны превышать 0.5 га [4]. Но лесную среду (зону влияния леса) можно сохранить и по-другому. В австралийской Тасмании во влажных эвкалиптовых лесах использовали сложную конфигурацию самой вырубki. Извилистые (неровные) границы увеличили площадь контакта с окружающим лесом, что позволило сохранить его влияние на большей части вырубki [10]. В засушливых лесах Аргентины конфигурация и расположение невырубленных участков определяются необходимостью сохранения воды – длинными полосами поперек стока [13].

3. Одним из нежелательных последствий VRF является разрушение оставленных структур вет-

ром, что в значительной степени ограничивает его использование в некоторых ландшафтах и является еще одним весомым аргументом в пользу группового расположения оставляемых деревьев [2, 4, 6].

4. Показано, что VRF позволяет сохранить среду обитания и разнообразие лесной флоры и фауны при положительной корреляции числа оставляемых деревьев с разнообразием видов. Причем в первые годы после рубки количество оставляемых деревьев может оказаться даже важнее, чем их расположение (агрегированное или распределенное). Затем становится очевидным, что группы деревьев являются рефугиумами для многих видов фауны и флоры, и поэтому в отдаленной перспективе лучше применять агрегированное VRF, при котором приобретают важность размеры куртин и их расположение по отношению к краю леса [4, 5]. Понимая биологическое разнообразие широко – учитывая различные группы живых организмов, следует сочетать недорубы с контролируемым палом и оставлением на вырубке большого количества мертвой древесины, по возможности, имитируя старовозрастные леса – “выстроить” непрерывный возрастной ряд разлагающихся крупных древесных остатков. Применительно к сохранению биоразнообразия не отдельных лесных экосистем, а территорий уровня ландшафта, VRF имеет особое значение там, где нет или мало действующих охраняемых природных объектов [9].

5. Целью VRF является не только сохранение биологического разнообразия и других экосистемных функций. Необходимо также обеспечить скорейшее восстановление древесного яруса и коренного сообщества в целом [2]. Исследования демонстрируют зависимость сохранности и роста естественного возобновления от числа и расположения оставленных деревьев, сомкнутости крон и других параметров VRF, но эта зависимость нелинейна, и требует учета множества параметров, в том числе конкретных экологических показателей, в свою очередь зависящих от способов VRF. Для ответа на поставленные вопросы необходимы мониторинг в течение длительного периода и расширение географии исследований [7, 10, 14].

6. Особое внимание следует обращать на прибрежные экосистемы, которые являются одними из наиболее важных в сохранении биоразнообразия и большого набора экосистемных функций. В них следует в первую очередь внедрять различные варианты VRF [2, 4].

7. Сколько деревьев оставлять на вырубке? Для имитации природных нарушений, а также для сохранения биологического разнообразия – чем больше, тем лучше, но даже несколько оставленных деревьев лучше, чем сплошная вырубка [4, 12]. Исследования показали, что при уровне сохране-

ния деревьев менее 15% VRF мало чем отличается от сплошной вырубki с точки зрения экосистемных функций лесов [9], да и с эстетической точки зрения по опросам населения [2]. А вот уже при 33% и выше оставляемых деревьев сохраняется большая часть видов старовозрастных лесов [4], в том числе и редких. Интересно, что людям зрительно больше нравится дисперсный вариант VRF [2]. Эти моменты, безусловно, надо учитывать при планировании VRF, тем более что в большинстве стран предстоит развитие направления в сторону создания специальных регламентов.

8. Еще один вопрос — стоит ли повсеместно внедрять VRF, замещая сплошные рубки? Авторами отмечается, что VRF — это не замена сплошным рубкам, а дополнение к ним — разнообразие природных условий, лесов, традиций лесопользования определяют способы и масштабы рубок [2, 7, 9, 12].

А что в России? Этот вопрос задавали и авторы статей [4, 15]. Можно с сожалением констатировать, что русскоязычные публикации недоступны специалистам в других странах. А как раз в этом направлении России есть, что показать. Статья “Variable retention forestry in European boreal forests in Russia” [15] очень коротко продемонстрировала, что в России еще во времена Петра I закладывались элементы VRF — были изданы запреты на сплошные рубки по берегам рек и озер, которые сохраняются в различной форме и до сих пор. В советские времена оставление на лесосеке деревьев и порубочных остатков и другие элементы VRF были обусловлены, главным образом, экономическими интересами развития лесной промышленности, которые закреплялись в нормативной базе и вошли в учебники лесоводства (условно-сплошные рубки). На сегодняшний день передовыми можно считать принципы управления защитными лесами (бывшими лесами I группы), выделение особо защитных участков. Говоря расхожими фразами, российское управление лесами настолько отстало, что может стать лидером современного мирового направления, для чего следует активнее писать о достижениях российской лесной науки, как теоретической, так и прикладной в международные журналы. Безусловный интерес представляют рубки начала и середины XX в. с различным количеством оставленных деревьев, так как большинство экспериментов, описанных в статьях специального выпуска имеют не более, чем 20-летнюю историю [4]. Так, первый эксперимент, заложенный в Финляндии по оставлению крупных деревьев осины на вырубках с целью сохранения биологического разнообразия, датируется концом 80-х гг. прошлого века [9]. Анализ материалов из России может раздвинуть временные рамки исследований и дать более точные ответы на поставленные авторами статей вопросы.

Хотелось бы акцентировать внимание еще на одном аспекте, показанном в статье Дж. Франклина и Д.С. Донато [3] — какие результаты могут быть получены при взаимодействии законодателей, правительства, бизнеса и независимой науки. Последовательность внедрения VRF в США была такова: общественность через средства массовой информации подняла вопрос о разрушении лесов сплошными рубками, о потере биологического разнообразия и других ресурсов; ответственные лесопользователи обратились к ученым с просьбой обосновать способы рубок, которые при экономической выгоде снижали бы экологические риски; параллельно Конгресс США, озабочившись этими же вопросами, ставит задачи перед лесной службой США. В результате разрабатывается и нормативно закрепляется система, учитывающая интересы лесозаготовителей и ресурсные и культурные потребности населения, и ориентированная на сохранения биологического разнообразия. Фактически в России существует аналогичная система управления. В настоящее время мы наблюдаем повышение интереса законодателей к проблемам лесного хозяйства, появляются ответственные лесопользователи, готовые к внедрению новых технологий лесозаготовки, природоохранные организации многие годы привлекают внимание властных структур к необходимости перемен в лесной отрасли, независимая лесная наука готова предложить к внедрению большое число разработок. Почему же ничего не происходит? Видимо, критический уровень экологизации сознания властных структур и лесопромышленников в России наступит позже — под давлением экономических факторов, и произойдет это как в Финляндии и Швеции после того, как потребители продукции станут отказываться ее принимать без соответствующих сертификатов [9]. Надо отдать должное правительственным структурам Финляндии и Швеции, закрепившим документально развитие лесной отрасли в направлении экологизации и сохранения биологического разнообразия [9].

В целом VRF можно обозначить как компромисс между охраной природы и экономикой, отражающий уровень современных лесозаготовительных технологий и понимание значения сохранения биологического разнообразия во всей его полноте, а также важности многих других экосистемных функций лесов. При этом широко-масштабное внедрение VRF направлено на придание лесному хозяйству более благоприятного экологического имиджа. При относительно небольшом проценте оставляемых деревьев экономические потери от сокращения объемов заготовки и повышения себестоимости кубометра древесины [4] компенсируются снижением затрат на лесовосстановление за счет лучшего роста молодых деревьев [3, 5, 9].

Целью публикации специального выпуска (серии статей) было не только ознакомление широкого круга исследователей с новыми разработками и идеями в лесном хозяйстве, но и демонстрация лесопользователям возможности ведения экономически выгодного, и при этом сохраняющего лесную среду хозяйства [5]. В России накоплен значительный материал по исследованию влияния различных способов рубок на сохранение биологического разнообразия, по сохранению и восстановлению лесной среды, по ускоренному выращиванию лесов. Многие российские технологии согласуются с новой парадигмой лесоводства VRF при том, что были разработаны задолго до ее появления. Идея ведения “правильного” лесного хозяйства в России была обозначена еще Г.Ф. Морозовым в самом начале XX в. [4]. В качестве примеров лесоводственных экспериментов, содержащих идеи VRF, можно привести постепенные рубки лесничего Д.М. Кравчинского 1896 г. и позже, с середины XX в., различные несплошные опытные механизированные рубки: выборочно-постепенные, группово-выборочные, котловинные и др. в Лисинском лесничестве Ленинградской области. Широко распространенное в 40–70-е гг. сохране-

ние подроста и тонкомера, возраст которых в лесах Северо-Запада достигает 100 и более лет, было регламентировано специальной инструкцией в начале 50-х гг. и, безусловно, принесло положительные результаты. Узколесосечные сплошные, а позже чересполосные постепенные рубки обеспечивают поддержание и ускоренное восстановление лесной среды на эксплуатируемых площадях. Добровольно-выборочные рубки в лесах, состоящих из нескольких поколений, обеспечивают непрерывность существования леса на одной и той же территории. Для сохранения всех этих наработок важно только помнить, что периодическая смена поколений техники не является поводом забывать все старое и начинать с нуля, поскольку для леса и его многогранных, жизненно важных для человека ресурсов, эти перемены — всего лишь незначительные отклонения в тысячелетней истории.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ “Карельский научный центр РАН” (Институт леса).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

См. REFERENCES

Variable Retention Forestry is Targeted to Preserve the Temporal and Spatial Continuity of Forest Habitats and Ecosystem Functions

A. M. Kryshen'^{a, *}, S. M. Sinkevich^a, E. V. Shorohova^{a, b}

^aForest Research Institute of the Karelian Research Centre, Petrozavodsk, Russia

^bSaint-Petersburg State Forest Technical University, Saint-Petersburg, Russia

*e-mail: kryshen@krc.karelia.ru

Abstract—The Springer journal “Ecosystem processes” has published the thematic issue “Ecological Perspectives on Variable Retention Forestry”. The variable retention forestry (VRF) system is meant to be environmentally friendly by preserving continuously forest habitats. Living trees, deadwood and logging slash are partly retained on harvesting areas. Main focus is on biodiversity. The 15 open access articles came from Finland, Sweden, USA, Canada, Argentina, Australia and Russia. The concept was formally introduced in the USA. However, the system or its elements have been applied in the Northern European countries, including Russia. In Scandinavian countries, VRF considers mimicking natural disturbances that have enabled diversity of many species of animals, plants and fungi.

Keywords: felling, biodiversity, resilience of forest ecosystems, forest law, ecosystem services

ACKNOWLEDGEMENTS

The present study was carried out within the framework of the institutional research project of Forest Research Institute of Karelian Research Centre RAS.

REFERENCES

1. Galetto L., Torres C., Martínez Pastur G.J. 2019. Variable retention harvesting: conceptual analysis according to different environmental ethics and forest valuation. — *Ecological Processes*. 8: 40.
<https://doi.org/10.1186/s13717-019-0195-3>
2. Beese W.J., Deal J., Dunsworth B.G., Mitchell S.J., Philpott T.J. 2019. Two decades of variable retention in British Columbia: a review of its implementation and effectiveness for biodiversity conservation. — *Ecological Processes*. 8: 33.
<https://doi.org/10.1186/s13717-019-0181-9>
3. Franklin J.F., Donato D.C. 2020. Variable retention harvesting in the Douglas-fir region. — *Ecological Processes*. 9: 8.
<https://doi.org/10.1186/s13717-019-0205-5>
4. Gustafsson L., Hannerz M., Koivula M., Shorohova E., Vanha-Majamaa I., Weslien J. 2020. Research on retention forestry in Northern Europe. — *Ecological Processes*. 9: 3. Additional file 1: Supplementary material. 3 Appendix A literature on retention (Excel file with 4 worksheets).
<https://doi.org/10.1186/s13717-019-0208-2>
5. Martínez Pastur G.J., Vanha-Majamaa I., Franklin J.F. 2020. Ecological perspectives on variable retention forestry. — *Ecological Processes*. 9: 12.
<https://doi.org/10.1186/s13717-020-0215-3>
6. Lindenmayer D., Blair D., McBurney L. 2019. Variable retention harvesting in Victoria's Mountain Ash (*Eucalyptus regnans*) forests (southeastern Australia). — *Ecological Processes*. 8: 2.
<https://doi.org/10.1186/s13717-018-0156-2>
7. Martínez Pastur G.J., Rosas Y.M., Toro Manríquez M.T., Herrera A.H., Miller J.A., Cellini J.M., Barrera M.D., Peri P.L., Lencinas M.V. 2019. Knowledge arising from long-term research of variable retention harvesting in Tierra del Fuego: where do we go from here? — *Ecological Processes*. 8: 24.
<https://doi.org/10.1186/s13717-019-0177-5>
8. Koivula M., Vanha-Majamaa I. 2020. Experimental evidence on biodiversity impacts of variable retention forestry, prescribed burning, and deadwood manipulation in Fennoscandia. — *Ecological Processes*. 9: 11.
<https://doi.org/10.1186/s13717-019-0209-1>
9. Kuuluvainen T., Lindberg H., Vanha-Majamaa I., Keto-Tokoi P., Punttila P. 2019. Low-level retention forestry, certification, and biodiversity: case Finland. — *Ecological Processes*. 8: 47.
<https://doi.org/10.1186/s13717-019-0198-0>
10. Scott R.E., Neyland M.G., Baker S.C. 2019. Variable retention in Tasmania, Australia: trends over 16 years of monitoring and adaptive management. — *Ecological Processes*. 8: 23.
<https://doi.org/10.1186/s13717-019-0174-8>
11. Lindberg H., Punttila P., Vanha-Majamaa I. 2020. The challenge of combining variable retention and prescribed burning in Finland. — *Ecological Processes*. 9: 4.
<https://doi.org/10.1186/s13717-019-0207-3>
12. Palik B.J., D'Amato A.W. 2019. Variable retention harvesting in Great Lakes mixed-pine forests: emulating a natural model in managed ecosystems. — *Ecological Processes*. 8: 16.
<https://doi.org/10.1186/s13717-019-0171-y>
13. Cavallero L., Ledesma M., López D.R., Carranza C.A. 2019. Retention and redistribution of biological legacies generate resource sinks in silvopastoral systems of Arid Chaco forests. — *Ecological Processes*. 8: 27.
<https://doi.org/10.1186/s13717-019-0180-x>
14. Toro Manríquez M.D.R., Cellini J.M., Lencinas M.V., Peri P.L., Peña Rojas K.A., Martínez Pastur G.J. 2019. Suitable conditions for natural regeneration in variable retention harvesting of southern Patagonian *Nothofagus pumilio* forests. — *Ecological Processes*. 8: 18.
<https://doi.org/10.1186/s13717-019-0175-7>
15. Shorohova E.V., Sinkevich S.M., Kryshen A.M., Vanha-Majamaa I. 2019. Variable retention forestry in European boreal forests in Russia. — *Ecological Processes*. 8: 34.
<https://doi.org/10.1186/s13717-019-0183-7>

СТАТЬИ И СООБЩЕНИЯ
РЕСУРСЫ ПОЛЕЗНЫХ РАСТЕНИЙ
И РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ

РЕСУРСНАЯ ОЦЕНКА ЦЕНОПОПУЛЯЦИЙ *CONVALLARIA MAJALIS*
(*CONVALLARIACEAE*) В ПОДЗОНЕ ХВОЙНО-ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ
ЛЕСОВ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2020 г. В. Н. Сулейманова^{1,2}, Т. Л. Егошина^{1,2, *}

¹Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства
им. проф. Б.М. Житкова, г. Киров, Россия

²Вятская государственная сельскохозяйственная академия, г. Киров, Россия

*e-mail: etl@inbox.ru

Поступила в редакцию 24.05.2019 г.

После доработки 20.04.2020 г.

Принята к публикации 10.06.2020 г.

Проведена ресурсная оценка ценопопуляций *Convallaria majalis* L. в подзоне хвойно-широколиственных лесов Кировской области. Установлена приуроченность *C. majalis* к 3 классам *Quercio-Fagetea*, *Vaccinio-Piceetea*, *Molinio-Arrhenatheretea*, которые включают 5 порядков (*FAGETALIA SYLVATICA*, *QUERCETALIA ROBORIS*, *PICEETALIA EXCELSAE*, *MOLINIETALIA*, *ARRHENATHERETALIA*), 7 союзов (*Quercu roboris-Tilion cordatae*, *Alnion incanae*, *Quercion robori-petraeae*, *Piceion excelsae*, *Dicrano-Pinion*, *Alopecurion pratensis*, *Cynosurion*). Наиболее высокопродуктивные ЦП *C. majalis* выявлены на вырубках (класс *Vaccinio-Piceetea*) и на лугах (класс *Molinio-Arrhenatheretea*), среднепродуктивные – в сосняках (класс *Vaccinio-Piceetea*), дубняках и осинниках (класс *Quercio-Fagetea*), ЦП вида в березняках и пихтарниках (класс *Quercio-Fagetea*) характеризуются как низкопродуктивные. Общая площадь промысловых зарослей *C. majalis* в подзоне хвойно-широколиственных лесов Кировской обл. составляет 2.11 тыс. га. Биологический запас сырья *C. majalis* составляет 140 т. Эксплуатационный запас *C. majalis* в подзоне хвойно-широколиственных лесов невелик – 13.8 т сырья. Объем ежегодных возможных заготовок *C. majalis* в обследованном регионе – 2.77 т. Наибольший объем заготовок возможен в Уржумском (1.8 т) и Малмыжском (0.41 т) р-нах. Заготовки сырья в других районах могут иметь лишь местное значение.

Ключевые слова: *Convallaria majalis*, ценопопуляции, эколого-фитоценотическая приуроченность, продуктивность, биологический запас, эксплуатационный запас, объем ежегодных возможных заготовок, подзона хвойно-широколиственных лесов, Кировская область

DOI: 10.31857/S0033994620030103

Оценка современного состояния и продуктивности ценопопуляций важнейших лекарственных и пищевых растений является одним из направлений развития фундаментальных исследований в области ресурсоведения [1].

Convallaria majalis L. (*Convallariaceae*) – ценное лекарственное растение, фармакопейный вид [2], содержит важные гликозиды, сырье которого используется для производства препаратов сердечного действия [3], востребованных в современной медицине.

В Кировской области в пределах подзоны хвойно-широколиственных лесов проходит северо-восточная граница ценоареала *C. majalis*. Отдельные местообитания вида выявлены в подзоне южной тайги в Котельничском, Слободском р-нах и окрестностях г. Кирова. Вид включен в список редких и уязвимых видов растений (Приложение 2),

не внесенных в Красную книгу Кировской области, но нуждающихся на территории области в постоянном контроле и наблюдении [4].

Для сохранения генофонда и ресурсов *C. majalis* как вида имеющего высокие декоративные свойства и фармацевтическое значение необходимы исследования состояния природных популяций и ресурсов для разработки оптимальных режимов эксплуатации.

В последние годы активно изучается характеристика ценопопуляций *C. majalis* по нескольким направлениям: возрастная структура [5–7]; структурный анализ, клональный рост [8]; морфологическая изменчивость [9, 10]; географическое распространение и эколого-фитоценотическая приуроченность [11–15]; влияние эдафических факторов и светового режима на продуктивность, плотность и сезонное развитие [16–18]; феноло-

гия [19]; химический состав [20–25]; каллусогенез [26]; устойчивость к антропогенному воздействию [27]. Исследования ресурсных параметров вида носят фрагментарный характер.

Цель исследования – ресурсная оценка ценопопуляций (ЦП) *Convallaria majalis* в подзоне хвойно-широколиственных лесов Кировской области.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Территория Кировской области расположена в пределах Урало-Западно-Сибирской таежной провинции Евразийской таежной области [28, 29]. В соответствии с распространением разных типов лесных сообществ, в растительном покрове Кировской обл. выделяют 3 подзоны: средней тайги, южной тайги и хвойно-широколиственных лесов [30].

Флора Кировской обл. относится к голарктическому царству, бореальному подцарству, циркумполярной обл., североевропейской провинции. Современная флора обл. представлена 1470 видами из 124 семейств [31]. Наиболее крупные по числу видов семейства Asteraceae (118 видов), Poaceae (101 вид), Rosaceae (78 видов), Cyperaceae (61 вид), Fabaceae (57 видов), Caryophyllaceae (53 вида).

Сбор материала производился в течение вегетационных периодов 1980–2009 гг. Исследовано 34 ценопопуляции (ЦП) *C. majalis* в южных районах Кировской обл. Описание растительных сообществ с участием *C. majalis* проводили согласно общепринятым геоботаническим методам с подробной характеристикой видового состава и физико-географических условий. Для сравнения фитоценозов по флористическому составу использовали коэффициент сходства П. Жаккара [32].

Экологический ареал изучали с использованием экологических шкал Х. Элленберга [33] по составу видов в сообществах. Анализ эколого-ценотических групп (ЭЦГ) растений проводили по классификация ЭЦГ сосудистых растений [34]. Ресурсную оценку *C. majalis* осуществляли по общепринятым методам [35–38].

Химический анализ проб почв и подстилки в исследуемых сообществах с *C. majalis* выполнен согласно ГОСТ 26483-85 [41]. Определение органического углерода в пробах почв проводилось мокрым сжиганием по И.В. Тюрину [42, 43].

Статистическая обработка данных выполнена согласно общепринятым методам [40]. Изменчивость признаков оценивали по значению коэффициента вариации [39]. Для оценки сходства ценопопуляций по изучаемым признакам применен кластерный анализ с использованием метода Уорда. В качестве меры сходства использовалось Евклидово расстояние.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В подзоне хвойно-широколиственных лесов Кировской области *C. majalis* является доминантом или субдоминантом травяно-кустарничкового яруса, встречается в сосновых, березовых, дубовых, осиновых лесах, а также на хорошо освещаемых открытых местообитаниях – в пойменных разнотравных лугах, под пологом зарослей шиповника, на вырубках. Краткая характеристика исследованных местообитаний ЦП *C. majalis* в Кировской обл. приведена в табл. 1.

C. majalis доминирует в травяно-кустарничковом ярусе средневозрастных, приспевающих, спелых, низко- и среднеполнотных хвойных и лиственных лесов. Возраст древостоя в сообществах с *C. majalis* варьирует от 25 до 200 лет, высота – от 7 до 33 м, сомкнутость крон – от 0.2 до 0.9 [13].

По результатам исследований составлен продромус растительных сообществ с *C. majalis*, который включает 3 класса, 5 порядков, 7 союзов. Ниже приведен продромус растительных сообществ *C. majalis* для подзоны хвойно-широколиственных лесов Кировской обл. до уровня союзов.

Класс *QUERCO-FAGETEA* Br.-Bl. et Vlieger in Vlieger 1937

Порядок *FAGETALIA SYLVATICAE* Pawlowski in Pawlowski, Sokolowski et Wallisch 1928

Союз *Quercus roboris-Tilion cordatae* Solomeshch et Laivins in Solomeshch et al. 1993

Союз *Alnion incanae* Pawlowski in Pawlowski et Wallisch 1928

Порядок *QUERCETALIA ROBORIS* R.Tx. 1931

Союз *Quercion robori-petraeae* Br.-Bl. 1932

Класс *VACCINIO-PICEETEA* Br.-Bl. in Br.-Bl., Siss. et Vlieger 1939

Порядок *PICEETALIA EXCELSAE* Pawlowsky in Pawlowski, Sokolowski et Wallisch 1928

Союз *Piceion excelsae* Pawlowsky in Pawlowski, Sokolowski et Wallisch 1928 em. K.-Lund 1981

Союз *Dicrano-Pinion* (Libbert 1933) Matuszkiewicz 1962

Класс *MOLINIO-ARRHENATHERETEA* R.Tx. 1937 em. R.Tx. 1970

Порядок *MOLINIETALIA* W.Koch 1926

Союз *Alopecurion pratensis* Passarge 1964

Порядок *ARRHENATHERETALIA* R.Tx. 1931

Союз *Cynosurion* R.Tx. 1947

Класс *Quercus-Fagetea* представляет собой мезофильные и мезоксерофильные широколиственные листопадные леса на богатых почвах в зоне умеренного климата [44]. В Кировской обл. эти леса относятся к порядкам *Fagetalia sylvaticae* (мезофильные широколиственные и смешанные леса) и *Quercetalia roboris* (мезофильные дубовые и буковые леса на кислых почвах с присутствием

Таблица 1. Характеристика исследованных местообитаний *Convallaria majalis* в Кировской области
Table 1. Characteristics of investigated *Convallaria majalis* habitats in Kirov region

№ ПП № SP	Тип леса Состав древостоя (сомкнутость) Forest type Tree stand composition* (crown density)	Доминирующие виды травяно-кустарничкового яруса Dominant species of dwarf shrub and herb layer	Параметры травяно-кустарничкового яруса Parameters of dwarf shrub and herb layer		Редкие виды Rare species	Доминирующие виды подлеска Dominant species of understory
			Общая покрываемость, % total projective cover, %	Число видов number of species		
1	Дубняк ландышевый 10Д + Л (0.7) <i>Convallaria majalis</i> English oak forest 10Q + T (0.7)	<i>Fragaria vesca</i> L., <i>Galium boreale</i> L., <i>Rubus saxatilis</i> L., <i>Glechoma hederacea</i> L., <i>Equisetum arvense</i> L., <i>Scrophularia nodosa</i> L.	40	19		<i>Frangula alnus</i> Mill., <i>Padus avium</i> Mill., <i>Viburnum opulus</i> L.
2	Заково-ландышевый луг <i>Alopecurus pratensis</i> — <i>Agrostis canina</i> — <i>Poa pratensis</i> — <i>Convallaria majalis</i> meadow	<i>Alopecurus pratensis</i> L., <i>Agrostis canina</i> L., <i>Poa pratensis</i> L., <i>Ranunculus acris</i> L., <i>Galium boreale</i> L., <i>Viola canina</i> L., <i>Lysimachia nummularia</i> L., <i>Bidens tripartita</i> L.	90	32		<i>Rosa majalis</i> Herrm., <i>Padus avium</i> Mill.
3	Вырубка разноотравно-вейниковая из-под осинника <i>Calamagrostis epigeios</i> and mixed herbs cut-over of aspen forest	<i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth, <i>Viola canina</i> L., <i>Pilosella officinarum</i> F.W. Shultz & Sch. Bip., <i>Cerastium holosteoides</i> Fr., <i>Turritis glabra</i> L., <i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.	45	18		<i>Chamaecytisus ruthenicus</i> (Fisch. ex Woloszcz) Klask., <i>Sorbus aucuparia</i> L.
4	Сосняк ландышево-земляничный 10С + Е (0.4–0.5) <i>Convallaria majalis</i> — <i>Fragaria vesca</i> Scots pine forest 10P + S (0.4–0.5)	<i>Fragaria vesca</i> L., <i>Poa pratensis</i> L., <i>Agrostis tenuis</i> Sibth., <i>Vaccinium vitis-idaea</i> L., <i>Melampyrum sylvaticum</i> L., <i>Solidago virgaurea</i> L.	60	13	<i>Pulsatilla patens</i> (L.) Mill.	<i>Sorbus aucuparia</i> L., <i>Quercus robur</i> L.
5	Сосняк ландышево-вейниковый 10С + Б (0.4–0.5) <i>Convallaria majalis</i> — <i>Calamagrostis epigeios</i> Scots pine forest 10P + B (0.4–0.5)	<i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth, <i>Pulsatilla patens</i> (L.) Mill., <i>Melampyrum sylvaticum</i> L., <i>Vaccinium vitis-idaea</i> L., <i>Polygonatum odoratum</i> (Mill.) Druce, <i>Antennaria dioica</i> (L.) Gaertn.	50	17	<i>Pulsatilla patens</i> (L.) Mill.	<i>Chamaecytisus ruthenicus</i> (Fisch. ex Woloszcz) Klask., <i>Sorbus aucuparia</i> L., <i>Juniperus communis</i> L.
6	Березняк с примесью сосны черничный 6Б + 4С (0.5) <i>Vaccinium myrtillus</i> white birch—Scots pine forest 6B + 4P (0.5)	<i>Vaccinium myrtillus</i> L., <i>Vaccinium vitis-idaea</i> L., <i>Rubus saxatilis</i> L., <i>Melampyrum sylvaticum</i> L., <i>Diphysastrum complanatum</i> (L.) Holub, <i>Polygonatum odoratum</i> (Mill.) Druce	50	18	<i>Pulsatilla patens</i> (L.) Mill.	<i>Sorbus aucuparia</i> L., <i>Juniperus communis</i> L.

Таблица 1. Продолжение / Table 1. Continuation

№ ПП № SP	Тип леса Состав древостоя (сомкнутость) Forest type Tree stand composition* (crown density)	Доминирующие виды травяно-кустарничкового яруса Dominant species of dwarf shrub and herb layer	Параметры травяно-кустарничкового яруса Parameters of dwarf shrub and herb layer		Редкие виды Rare species	Доминирующие виды подлеска Dominant species of understory
			общее покрытие, % total projective cover, %	число видов number of species		
7	Сосняк с примесью березы ландышевый 7С + 3Б (0.4) <i>Convallaria majalis</i> Scots pine—white birch forest 7P + 3P (0.4)	<i>Hieracium umbellatum</i> L., <i>Pulsatilla patens</i> (L.) Mill., <i>Arctostaphylos uva-ursi</i> (L.) Spreng, <i>Melampyrum sylvaticum</i> L., <i>Viola canina</i> L., <i>Festuca pratensis</i> Huds.	45	17	<i>Pulsatilla patens</i> (L.) Mill.	<i>Chamaecytisus ruthenicus</i> (Fisch. ex Woloszcz) Klask., <i>Sorbus aucuparia</i> L.
8	Вырубка на месте березняка костянично-вейниковая <i>Rubus saxatilis</i> — <i>Calamagrostis epigeios</i> cut-over of white birch forest	<i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth, <i>Rubus saxatilis</i> L., <i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Scop., <i>Geranium sanguineum</i> L., <i>Galium verum</i> L., <i>Solidago virgaurea</i> L.	80	17	<i>Geranium sanguineum</i> L., <i>Pulsatilla patens</i> (L.) Mill.	<i>Sorbus aucuparia</i> L.
9	Дубняк разнотравно ландышевый 8Д + 2Б (0.9) Mixed herbs and <i>Convallaria majalis</i> English oak forest 8Q + 2B (0.9)	<i>Glechoma hederacea</i> L., <i>Galium boreale</i> L., <i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim., <i>Veronica longifolia</i> L., <i>Carex magellanica</i> Lam., <i>Urtica urens</i> L.	85	13		<i>Rosa majalis</i> Herm., <i>Ribes nigrum</i> L.
10	Сосняк разнотравный 10С + Б + Е (0.8) Mixed herbs Scots pine forest 10P + Б + S (0.8)	<i>Vaccinium vitis idaea</i> L., <i>Rubus saxatilis</i> L., <i>Solidago virgaurea</i> L., <i>Maianthemum bifolium</i> (L.) F. W. Schmidt, <i>Fragaria vesca</i> L., <i>Vaccinium myrtillus</i> L.	60	18	<i>Pulsatilla flavescens</i> (Zucc.) Juz., <i>Platanthera bifolia</i> (L.) Rich.	<i>Sorbus aucuparia</i> L., <i>Quercus robur</i> L.
11	Дубняк разнотравный 7Д + 1Л + 1Ос + 1Б (0.5) Mixed herbs English oak forest 7Q + 1T + 1As + 1B (0.5)	<i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim., <i>Rubus saxatilis</i> L., <i>Galium boreale</i> L., <i>Veronica longifolia</i> L., <i>Glechoma hederacea</i> L., <i>Trifolium pratense</i> L.		36	<i>Eryngium planum</i> L., <i>Iris sibirica</i> L.	<i>Rubus idaeus</i> L., <i>Rosa majalis</i> Herm., <i>Padus avium</i> Mill.
12	Заливные разнотравные луга Mixed herbs floodplain meadow	<i>Agrostis tenuis</i> Sibth., <i>Geranium pratense</i> L., <i>Lathyrus pratensis</i> L., <i>Ranunculus acris</i> L., <i>Alopecurus pratensis</i> L., <i>Festuca pratensis</i> Huds., <i>Vicia cracca</i> L., <i>Medicago sativa</i> L.	80	27		<i>Rosa majalis</i> Herm., <i>Padus avium</i> Mill., <i>Salix alba</i> L.

Таблица 1. Продолжение / Table 1. Continuation

№ ПП № SP	Тип леса Состав древостоя (сомкнутость) Forest type Tree stand composition* (crown density)	Доминирующие виды травяно-кустарничкового яруса Dominant species of dwarf shrub and herb layer	Параметры травяно-кустарничкового яруса Parameters of dwarf shrub and herb layer		Редкие виды Rare species	Доминирующие виды подлеска Dominant species of understory
			общее покрытие, % total projective cover, %	число видов number of species		
13	Заливные разнотравные луга (островные) Mixed herbs floodplain meadow (island)	<i>Ranunculus acris</i> L., <i>Lathyrus pratensis</i> L., <i>Trifolium pratense</i> L., <i>Achillea millefolium</i> L., <i>Festuca rubra</i> L., <i>Bromopsis inermis</i> (Leys). Holub, <i>Potentilla argentea</i> L.	85	31		<i>Padus avium</i> Mill., <i>Salix alba</i> L.
14	Сосняк с примесью березы ландшафтный 6С4Б (0.1) <i>Convallaria majalis</i> Scots pine—white birch forest 6P4B (0.1)	<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L., <i>Vaccinium myrtillus</i> L., <i>Rubus saxatilis</i> L., <i>Veronica chamaedrys</i> L., <i>Antennaria dioica</i> (L.) Gaertn., <i>Milium effusum</i> L.		18	<i>Pulsatilla patens</i> (L.) Mill., <i>Platanthera bifolia</i> (L.) Rich.	<i>Chamaecytisus ruthenicus</i> (Fisch. ex Woloszcz) Klask., <i>Sorbus aucuparia</i> L., <i>Juniperus communis</i> L.
15	Вырубка сосняка кипрейно-вейниковая <i>Chamaenerion angustifolium</i> — <i>Calamagrostis epigeios</i> cut-over of Scots pine forest	<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L., <i>Rubus saxatilis</i> L., <i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth, <i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Scop., <i>Pulsatilla patens</i> (L.) Mill., <i>Geranium sanguineum</i> L.	75	12	<i>Geranium sanguineum</i> L., <i>Pulsatilla patens</i> (L.) Mill.	<i>Chamaecytisus ruthenicus</i> (Fisch. ex Woloszcz) Klask., <i>Sorbus aucuparia</i> L.
16	Сосняк разнотравный 8С2Б (0.4) Mixed herbs Scots pine forest 8P2B (0.4)	<i>Stellaria nemorum</i> L., <i>Melica nutans</i> L., <i>Vaccinium vitis-idaea</i> L., <i>Vaccinium myrtillus</i> L., <i>Maianthemum bifolium</i> (L.) F. W. Schmidt		19		<i>Sorbus aucuparia</i> L., <i>Juniperus communis</i> L., <i>Sam-bucus nigra</i> L., <i>Euonymus verrucosus</i> Scop., <i>Lonicera xylosteum</i> L., <i>Rubus idaeus</i> L., <i>Padus avium</i> Mill.
17	Дубняк пойменно-разнотравный 9Д + 1Ос (0.6) Mixed herbs English oak floodplain forest 9Q + 1As (0.6)	<i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim., <i>Trifolium medium</i> L., <i>Valeriana officinalis</i> L., <i>Rubus saxatilis</i> L., <i>Angelica sylvestris</i> L., <i>Galium boreale</i> L., <i>Heracleum sibiricum</i> L., <i>Paris quadrifolia</i> L.	45	18		<i>Sorbus aucuparia</i> L., <i>Rosa majalis</i> Herm., <i>Viburnum opulus</i> L., <i>Frangula alnus</i> Mill.

Таблица 1. Продолжение / Table 1. Continuation

№ ПП № SP	Тип леса Состав древостоя (сомкнутость) Forest type Tree stand composition* (crown density)	Доминирующие виды травяно-кустарничкового яруса Dominant species of dwarf shrub and herb layer	Параметры травяно-кустарничкового яруса Parameters of dwarf shrub and herb layer		Редкие виды Rare species	Доминирующие виды подлеска Dominant species of understory
			общее покрытие, % total projective cover, %	число видов number of species		
18	Сосняк с примесью березы и дуба, ландышево-разнотравный 10С + Д + Б (0.2–0.3) <i>Convallaria majalis</i> —mixed herbs Scots pine forest with white birch and English oak 10P + Q + B (0.2–0.3)	<i>Rubus saxatilis</i> L., <i>Vaccinium vitis-idaea</i> L., <i>Pulsatilla patens</i> (L.) Mill., <i>Chimaphila umbellata</i> (L.) W.P.C. Barton, <i>Diphysastrum complanatum</i> (L.) Holub, <i>Galium boreale</i> L.	60	12	<i>Pulsatilla patens</i> (L.) Mill.	<i>Tilia cordata</i> Mill., <i>Sorbus aucuparia</i> L., <i>Frangula alnus</i> Mill., <i>Euonymus verrucosus</i> Scop., <i>Juniperus communis</i> L.
19	Дубняк пойменный, ландышево-травяной 10Д (0.4) <i>Convallaria majalis</i> —mixed herbs English oak floodplain forest 10Q (0.4)	<i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim., <i>Galium boreale</i> L., <i>Rubus saxatilis</i> L., <i>Glechoma hederacea</i> L., <i>Milium effusum</i> L., <i>Stellaria graminea</i> L.	60	9		<i>Rosa majalis</i> Herm., <i>Padus avium</i> Mill., <i>Viburnum opulus</i> L.
20	Сосняк травяной 10С (0.3–0.4) <i>Rubus saxatilis</i> — <i>Calamagrostis epigeios</i> Scots pine forest 10P (0.3–0.4)	<i>Rubus saxatilis</i> L., <i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth, <i>Vaccinium vitis-idaea</i> L., <i>Arctostaphylos uva-ursi</i> (L.) Spreng., <i>Pulsatilla patens</i> (L.) Mill., <i>Galium boreale</i> L.	70	16	<i>Pulsatilla patens</i> (L.) Mill.	<i>Chamaecytisus ruthenicus</i> (Fisch. ex Woloszcz) Klask., <i>Sorbus aucuparia</i> L., <i>Rosa majalis</i> Herm., <i>Juniperus communis</i> L.
21	Осинник снытьево ландышевый 70с2С1Б (0.6) <i>Aegopodium podagraria</i> — <i>Convallaria majalis</i> aspen forest 7As2P1B (0.6)	<i>Aegopodium podagraria</i> L., <i>Rubus saxatilis</i> L., <i>Asarum europaeum</i> L., <i>Melica nutans</i> L., <i>Solidago virgaurea</i> L., <i>Pyrola rotundifolia</i> L.	18	22	<i>Carex bohemica</i> Schreb.	<i>Sorbus aucuparia</i> L., <i>Euonymus verrucosus</i> Scop., <i>Daphne mezereum</i> L.
22	Вырубка сосняка разнотравно-ландышевая <i>Convallaria majalis</i> —mixed herbs cut-over of Scots pine forest	<i>Rubus saxatilis</i> L., <i>Fragaria vesca</i> L., <i>Calamagrostis langsdorffii</i> (Link) Trin., <i>Vicia sepium</i> L., <i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn., <i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth		28	<i>Pulsatilla patens</i> (L.) Mill.	<i>Chamaecytisus ruthenicus</i> (Fisch. ex Woloszcz) Klask., <i>Rubus idaeus</i> L., <i>Sorbus aucuparia</i> L., <i>Rosa majalis</i> Herm.
23	Сосняк костяннично-ландышевый 10С + Ос (0.4) <i>Rubus saxatilis</i> — <i>Convallaria majalis</i> Scots pine forest 10P + As (0.4)	<i>Rubus saxatilis</i> L., <i>Vaccinium vitis-idaea</i> L., <i>Vaccinium myrtillus</i> L., <i>Fragaria vesca</i> L., <i>Polygonatum odoratum</i> (Mill.) Druce, <i>Solidago virgaurea</i> L.	23	25	<i>Pulsatilla patens</i> (L.) Mill.	<i>Lonicera xylosteum</i> L., <i>Chamaecytisus ruthenicus</i> (Fisch. ex Woloszcz) Klask., <i>Sorbus aucuparia</i> L.

Таблица 1. Продолжение / Table 1. Continuation

№ ПП № SP	Тип леса Состав древостоя (сомкнутость) Forest type Tree stand composition* (crown density)	Доминирующие виды травяно-кустарничкового яруса Dominant species of dwarf shrub and herb layer	Параметры травяно-кустарничкового яруса Parameters of dwarf shrub and herb layer		Редкие виды Rare species	Доминирующие виды подлеска Dominant species of understory
			общее покрытие, % total projective cover, %	число видов number of species		
24	Сосняк с примесью березы травяной 6С4Б + Ос (0.4–0.6) Herbaceous white birch—Scots pine forest 6P4B + As (0.4–0.6)	<i>Milium effusum</i> L., <i>Solidago virgaurea</i> L., <i>Hieracium umbellatum</i> L., <i>Rubus saxatilis</i> L., <i>Orilla secunda</i> (L.) House, <i>Antennaria dioica</i> (L.) Gaertn	35	17	<i>Pulsatilla patens</i> (L.) Mill., <i>Centaurea sumensis</i> Kalen.	<i>Chamaecytisus ruthenicus</i> (Fisch. ex Woloszcz) Klask., <i>Sorbus aucuparia</i> L.
25	Сосняк ландышевый 10С + Б (0.4–0.5) <i>Convallaria majalis</i> Scots pine forest 10P + B (0.4–0.5)	<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn, <i>Antennaria dioica</i> (L.) Gaertn., <i>Vaccinium vitis-idaea</i> L., <i>Milium effusum</i> L., <i>Melica nutans</i> L., <i>Orobanchus vernus</i> L.	50	22		<i>Sorbus aucuparia</i> L., <i>Euonymus verrucosus</i> Scop., <i>Rosa majalis</i> Herrm.
26	Заросли шиповника по краю заливного разнотравного луга Dog rose bushes in <i>Festuca pratensis</i> — <i>Filipendula ulmaria</i> floodplain meadow	<i>Festuca pratensis</i> Huds., <i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim., <i>Crepis sibirica</i> L., <i>Hyletephium telephium</i> (L.) H. Ohba, <i>Inula britannica</i> L., <i>Lysimachia nummularia</i> L.	65	24		<i>Rosa majalis</i> Herrm.
27	Дубняк травяной пойменный 9Д1Л (0.6–0.7) Herbaceous English oak floodplain forest 9Q1T (0.6–0.7)	<i>Lathyrus vernus</i> (L.) Bernh., <i>Galium boreale</i> L., <i>Glechoma hederacea</i> L., <i>Aegopodium podagraria</i> L., <i>Equisetum sylvaticum</i> L., <i>Rubus saxatilis</i> L., <i>Scrophularia nodosa</i> L.	35	19		<i>Padus avium</i> Mill., <i>Tilia cordata</i> Mill., <i>Sorbus aucuparia</i> L., <i>Viburnum opulus</i> L.
28	Сосняк травяной 8С1Е1Б (0.6) Herbaceous Scots pine forest 8P1S1B (0.6)	<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn, <i>Melica nutans</i> L., <i>Hieracium umbellatum</i> L., <i>Rubus saxatilis</i> L., <i>Vaccinium vitis-idaea</i> L., <i>Aegopodium podagraria</i> L., <i>Solidago virgaurea</i> L.	40	24	<i>Pulsatilla patens</i> (L.) Mill.	<i>Sorbus aucuparia</i> L., <i>Tilia cordata</i> Mill., <i>Euonymus verrucosus</i> Scop., <i>Rosa majalis</i> Herrm., <i>Chamaecytisus ruthenicus</i> (Fisch. ex Woloszcz) Klask.
29	Дубняк травяной пойменный 8Д2Ос + Б (0.4) Herbaceous English oak floodplain forest 8Q2As + B (0.4)	<i>Milium effusum</i> L., <i>Urtica dioica</i> L., <i>Stachys palustris</i> L., <i>Galium boreale</i> L., <i>Filipendula ulmaria</i> L. (Maxim.), <i>Paris quadrifolia</i> L., <i>Valeriana officinalis</i> L.	60	9		<i>Frangula alnus</i> Mill., <i>Rosa majalis</i> Herrm., <i>Viburnum opulus</i> L., <i>Padus avium</i> Mill.

Таблица 1. Окончание / Table 1. Ending

№ ПП № SP	Тип леса Состав древостоя (сомкнутость) Forest type Tree stand composition* (crown density)	Доминирующие виды травяно-кустарничкового яруса Dominant species of dwarf shrub and herb layer	Параметры травяно-кустарничкового яруса Parameters of dwarf shrub and herb layer		Редкие виды Rare species	Доминирующие виды подлеска Dominant species of understory
			общее покрытие, % total projective cover, %	число видов number of species		
30	Сосняк ландышевый 10 С (лесные культуры 25 лет) (0.3–0.4) <i>Convallaria majalis</i> Scots pine forest 10P (forest culture 25 years) (0.3–0.4)	<i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) Roth, <i>Fragaria vesca</i> L., <i>Vaccinium vitis-idaea</i> L., <i>Antennaria dioica</i> (L.) Gaertn., <i>Hieracium umbellatum</i> L., <i>Viola montana</i> L.	30	13		<i>Chamaecytisus ruthenicus</i> (Fisch. ex Woloszcz) Klask.
31	Открытая поляна в пихтарнике травяно-ландышевом 8П2Е (0.7) A glade in <i>Convallaria majalis</i> —mixed herbs Siberian fir forest 8A2S (0.7)	<i>Trifolium medium</i> L., <i>Fragaria vesca</i> L., <i>Viola mirabilis</i> L., <i>Galium boreale</i> L., <i>Galium mollugo</i> L., <i>Silene nutans</i> L.	50	12		<i>Euonymus verrucosus</i> Scop., <i>Lonicera xylosteum</i> L., <i>Rosa majalis</i> Herrm.
32	Пихтарник травяно-ландышевый 8П2Е (0.7) <i>Convallaria majalis</i> —mixed herbs Siberian fir forest 8A2S (0.7)	<i>Aegopodium podagraria</i> L., <i>Anthriscus sylvestris</i> (L.) Hoffm., <i>Asarum europaeum</i> L., <i>Glechoma hederacea</i> L., <i>Rubus saxatilis</i> L., <i>Melica nutans</i> L.		13	<i>Campanula persicifolia</i> L.	<i>Sorbus aucuparia</i> L., <i>Rosa majalis</i> Herrm., <i>Lonicera xylosteum</i> L., <i>Frangula alnus</i> Mill.
33	Осинник с примесью дуба пойменный разнотравно-орляково-костяничный 6Ос4Д (0.5) <i>Pteridium aquilinum</i> — <i>Rubus saxatilis</i> —mixed herbs English oak—aspen floodplain forest 6As4Q (0.5)	<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn., <i>Stellaria holostea</i> L., <i>Rubus saxatilis</i> L., <i>Viola mirabilis</i> L., <i>Platanthera bifolia</i> (L.) Rich., <i>Aegopodium podagraria</i> L.	50	22	<i>Platanthera bifolia</i> (L.) Rich.	<i>Viburnum opulus</i> L., <i>Chamaecytisus ruthenicus</i> (Fisch. ex Woloszcz) Klask.
34	Осинник ландышево-травяный 10 Ос (0.7) <i>Convallaria majalis</i> —mixed herbs aspen forest 10As (0.7)	<i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim., <i>Urtica dioica</i> L., <i>Angelica sylvestris</i> L., <i>Glechoma hederacea</i> L., <i>Rubus saxatilis</i> L., <i>Milium effusum</i> L., <i>Aegopodium podagraria</i> L.		11		<i>Rosa majalis</i> Herrm.

Примечание. П — *Abies sibirica*, Ос — *Populus tremula*, Б — *Betula* sp, С — *Pinus sylvestris*, Д — *Quercus robur*, Е — *Picea obovata*, Л — *Tilia cordata*.
 Note. А — *Abies sibirica*, As — *Populus tremula*, В — *Betula* sp, Р — *Pinus sylvestris*, Q — *Quercus robur*, S — *Picea obovata*, Т — *Tilia cordata*.

видов классов *Quercus-Fagetea* и *Vaccinio-Piceetea*, а также хорошо развитым ярусом напочвенных мхов). Эколого-ценотический анализ показал, что в растительных сообществах этого класса преобладают виды различных эколого-ценотических групп: неморальной, нитрофильной, бореальной, боровой.

Класс *Vaccinio-Piceetea* — это бореальные хвойные леса на бедных кислых почвах с развитым моховым покровом [44]. Исследованные растительные сообщества с *C. majalis* в пределах этого класса относятся к порядку *Piceetalia excelsae* (хвойные леса на бедных, кислых почвах). В растительных сообществах этого класса доминируют виды бореальной ЭЦГ. Значительно участие видов боровой и незначительно неморальной ЭЦГ.

Класс *Molinio-Arrhenatheretea* представляют собой вторичные послелесные луга умеренной зоны Евразии, формирующиеся на месте широколиственных лесов на достаточно богатых незасоленных почвах [44]. В подзоне хвойно-широколиственных лесов Кировской обл. изученные растительные сообщества с *C. majalis* относятся к порядкам *Molinietales* (влажные луга на минеральных почвах) и *Arrhenatheretalia* (мезофильные луга на хорошо дренированных минеральных почвах). В сообществах этого класса значительно преобладают виды лугово-опушечной ЭЦГ, несколько реже встречаются виды нитрофильной и водно-болотной ЭЦГ.

Оценка разнообразия растительных сообществ с *C. majalis* показала значительное видовое богатство. Они включали 197 сосудистых видов растений. Наибольшим количеством видов характеризуются луговая, лугово-опушечная (33.66%) и бореальная (27.32%) эколого-ценотические группы (ЭЦГ). Неморальная (16.59%) и боровая (10.84%) ЭЦГ включали меньшее количество видов. Наименее представлены нитрофильная (7.80%) и водно-болотная ЭЦГ (4.39%).

Анализ сходства сообществ с участием *C. majalis* по коэффициенту общности П. Жаккара показал, что наибольшим сходством характеризовались сосняки, в которых описаны ЦП *C. majalis* 5 и 6 (57%), ЦП 23 и 28 (51%), ЦП 4 и 6 (50%). Высокое значение коэффициента общности выявлено и для сосновых лесов, в которых представлены ЦП *C. majalis* 14 и 20 (47%), ЦП 25 и 28 (43%), ЦП 24 и 25 (42%), ЦП 18 и 28 (42%), ЦП 20 и 23 (41%); а также для сообществ на вырубках с участием ЦП *C. majalis* 8 и 15 (46%) и дубовых лесов с ЦП *C. majalis* 1 и 17 (41%).

В большинстве изученных сообществ с участием *C. majalis* встречаются виды, занесенные в Красную книгу Кировской обл. [4] — *Carex bohemica* Schreb. (III), *Centaurea sumensis* Kalen. (III), *Eryngium planum* L. (III), *Geranium sanguineum* L. (III), *Pulsatilla flavescent* (Zucc.) Juz. (III). Помимо этого, в исследуемых сообществах были обнаружены

редкие и уязвимые виды, не внесенные в Красную книгу Кировской обл., но нуждающиеся на территории обл. в постоянном контроле и наблюдении (Приложение 2) — *Pulsatilla patens* (L.) Mill., *Campanula persicifolia* L., *Iris sibirica* L., *Platanthera bifolia* (L.) Rich.

Кластерный анализ видового разнообразия сообществ с участием *C. majalis* показал их разделение на два кластера (рис. 1). В первый кластер вошли 15 сообществ, во второй — 19 сообществ.

Первый кластер подразделяется на два субкластера и включает дубовые леса (ЦП *C. majalis* 1, 9, 11, 17, 19, 27, 29), луговые сообщества (ЦП 2, 12, 13, 26), пихтарники (ЦП 31, 32) и осинники (ЦП 33, 34).

Во второй кластер также входят два субкластера, объединяющие сосновые леса (ЦП *C. majalis* 4, 5, 10, 20, 23, 25, 30), сосняки с примесью березы (ЦП 7, 14, 16, 18, 28), березняки с примесью сосны (ЦП 6, 24) и вырубки (ЦП 3, 8, 15, 22). Отдельное положение занимает осинник снытево-ландышевый (ЦП 21).

В условиях подзоны хвойно-широколиственных лесов *C. majalis* встречается в условиях от полутени в сосняках, дубравах, березняках, осинниках (5-я ступень) до полного освещения на вырубках и в луговых сообществах (7-я ступень). По уровню увлажнения — от сухих местообитаний в сосняках, березняках, на вырубках (4-я ступень) до влажных в дубравах и на заливных лугах (6-я ступень), являясь индикатором средневлажных почв. *C. majalis* встречается на почвах с реакцией от кислой и умеренно кислой в сосняках, березняках, на вырубках (4-я ступень) до слабокислой и слабощелочной в дубравах и луговых сообществах (6-я ступень). Вид произрастает на почвах от бедных питательными веществами в березняках, осинниках, сосняках (3-я ступень) до умеренно богатых в дубравах (5-я ступень).

Установлено, что *C. majalis* чаще всего встречается на дерново-подзолистых супесчаных и пойменных дерновых почвах с содержанием гумуса от 2.1% до 13.8%, кислотностью от 3.2 до 5.5, со средним содержанием фосфора — 6.8 мг/100 г почвы, калия — 14.3 мг/100 г почвы, кальция — 11.2 мг-экв/100 г почвы и магния 1.3 мг-экв/100 г почвы.

Выявлена достоверная зависимость ($p < 0.05$) между высотой побегов и содержанием в почве калия ($r = 0.67$). Проективное покрытие *C. majalis* в сообществе связано с содержанием гумуса ($r = 0.53$) и кальция ($r = 0.59$). Содержание магния в почве в значительной мере влияет на количество побегов, их высоту, проективное покрытие и урожайность *C. majalis* в ценокомплексе ($r = 0.85$, $r = -0.62$, $r = 0.79$ и $r = 0.91$ соответственно).

Параметры ЦП *C. majalis* представлены в табл. 2. Значения исследованных показателей существенно варьируют в дубовых лесах. В дубняке поймен-

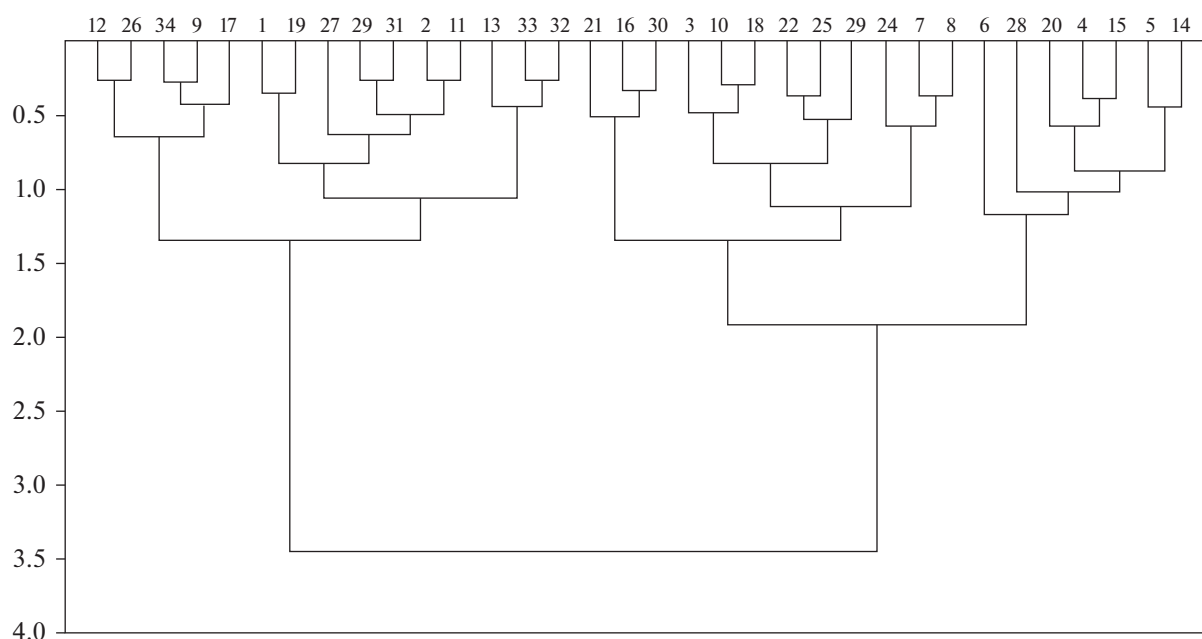


Рис. 1. Дендрограмма сходства ценопопуляций *Convallaria majalis*. По горизонтали — номер ценопопуляции; по вертикали — межкластерное расстояние.

Fig. 1. Dendrogram of species composition similarity for communities with *Convallaria majalis*. X-axis — coenopopulation number; y-axis — intercluster distance.

но-разнотравном выявлены минимальные значения проективного покрытия — $5.0 \pm 0.6\%$, числа побегов — 12 ± 1 шт./м², урожайности — 149 ± 3 кг/га. Максимальные величины зарегистрированы в дубняке разнотравном (проективное покрытие — $40 \pm 1\%$, число побегов — 58 ± 1 шт./м², урожайность побегов 1143 ± 6 кг/га). Высота побегов колеблется значительно: от 25.3 ± 0.3 см в дубняке травяном пойменном до 35.3 ± 0.4 см в дубняке пойменном ландышево-травяном. В целом, средние значения показателей, выявленные в дубняках, близки к таковым, установленным в сосновых лесах. Определенные для подзоны хвойно-широколиственных лесов региона величины продуктивности надземной фитомассы *C. majalis* на порядок ниже аналогичных величин в дубовых лесах более южных регионов России. Так, в Самарской обл. продуктивность надземной фитомассы *C. majalis* в дубово-липовом насаждении составляет 1662 ± 107 кг/га [45]. В дубравах Среднего Дона на территории Ростовской области *C. majalis* наиболее продуктивен в молодых насаждениях — 1871 кг/га, наименьшая продуктивность отмечается в средневозрастных насаждениях — 393 кг/га [46].

Проективное покрытие *C. majalis* в исследованных осинниках колеблется от 15.0 ± 0.8 до $18.1 \pm 0.8\%$. Наиболее продуктивным является осинник снытево-ландышевый, где выявлены максимальные значения числа побегов (37 ± 1 шт./м²) и урожайности (773 ± 5 кг/га). В осиннике с примесью дуба пой-

менном разнотравно-орляково-костяничном отмечено минимальное число побегов (11.3 ± 0.8 шт./м²). В осиннике ландышево-травяном *C. majalis* является наименее продуктивным (урожайность побегов составляет всего 198 ± 3 кг/га). Высота побегов *C. majalis* выше, чем в березняках, и составляет в среднем 33 ± 2 см.

В березняках проективное покрытие и число побегов *C. majalis* изменяется довольно значительно: соответственно от $5.3 \pm 0.6\%$ и 7.3 ± 0.3 шт./м² в березняке с примесью ели ландышево-разнотравном до $20.0 \pm 0.7\%$ и 42 ± 2 шт./м² в березняке с примесью сосны черничном. Высота побегов *C. majalis* в среднем составляет 28 ± 2 см. В березняке с примесью сосны черничном *C. majalis* наиболее продуктивен (860 ± 7 кг/га). Наименьшая продуктивность *C. majalis* отмечена в березняке с примесью ели ландышево-разнотравном (81 ± 1 кг/га). В Вологодской области максимальная продуктивность выявлена в березово-осиновых разнотравных лесах и составляет в среднем 363 ± 29 кг/га [47], что близко к средней урожайности *C. majalis* в березняках в районе исследований (табл. 2).

В луговых сообществах проективное покрытие *C. majalis* изменяется в широких пределах: от 22.3 ± 0.7 до $50 \pm 3\%$ (в среднем $36 \pm 7\%$). Высоким обилием *C. majalis* характеризуются заливные разнотравные луга, где число побегов достигает 70 ± 4 шт./м². Более низкое обилие *C. majalis* наблюдается в сообществах злаково-ландышевых

Таблица 2. Параметры продуктивности ценопопуляций *Convallaria majalis* в различных типах леса Кировской области
Table 2. Productivity characteristics of *Convallaria majalis* coenopopulations in different forest types in Kirov region

Сообщества Communities	Высота побегов, см Shoots height, cm		Число побегов, шт./м ² Number of shoots per m ²		Проективное покрытие, % Projective cover, %		Урожайность, кг/га (сырая масса) Productivity, kg/га (raw weight)	
	<i>CV</i> , %	среднее мин.—макс. average min—max	<i>CV</i> , %	среднее мин.—макс. average min—max	<i>CV</i> , %	среднее мин.—макс. average min—max	<i>CV</i> , %	среднее мин.—макс. average min—max
Сосняки Scots pine forest	15.8	28 ± 1 21.7–37.0	65.6	35 ± 6 10–78	59.64	24 ± 4 8–60	76.6	823 ± 17 135–2085
Пихтарники Siberian fir forests	1.4	34.8 ± 0.4 34.5–35.2	14.1	13 ± 1 11.3–13.8	13.24	17 ± 1 15.0–18.1	65.3	368 ± 17 198–538
Дубняки English oak forests	12.1	30 ± 1 25.3–35.3	43.8	32 ± 5 12.1–57.8	52.5	23 ± 5 5.0–40.0	50.2	663 ± 13 149–1143
Осинники Aspen forests	8.5	33 ± 2 30.0–35.2	69.1	21 ± 8 11.3–37.4	11.2	16 ± 1 15.0–18.1	57.5	503 ± 17 198–773
Березняки White birch forests	13.9	28 ± 2 23.5–31.0	66.9	26 ± 10 7.30–42.0	57.3	13 ± 4 5.30–20.0	90.8	434 ± 23 81–860
Луговые сообщества Meadow communities	18.5	29 ± 3 23.3–35.9	12.8	61 ± 4 50.7–69.7	40.8	36 ± 7 22.3–50.0	29.9	1508 ± 23 1020–2106
Вырубки (5–10 лет) Cut-overs (5–10 years)	5.4	29.0 ± 0.8 26.7–30.0	44.1	44 ± 10 16.7–61.7	54.9	32 ± 9 6.3–45.0	50.9	1165 ± 30 315–1633

Примечание. *CV* – коэффициент вариации, %.
 Note. *CV* – coefficient of variation, %.

лугов, где число побегов составляет 51 ± 1 шт./м². Наибольшая продуктивность вида отмечена в заливных разнотравных лугах — 2106 ± 12 кг/га, наименьшая — в зарослях шиповника на заливных разнотравных лугах — 1020 ± 7 кг/га. Значительно варьирует в луговых сообществах и высота побегов вида. Самые низкие значения высоты отмечены в злаково-ландышевых лугах (23.3 ± 0.5 см), самыми высокими побеги изучаемого вида являются в заливных разнотравных лугах (35.9 ± 0.5 см).

Среди сообществ на вырубках наибольшая продуктивность *C. majalis* отмечена на 10-летней разнотравно-вейниковой вырубке на месте осинника. Здесь урожайность побегов составляет 1633 ± 10 кг/га, проективное покрытие также максимально — $45 \pm 2\%$. На 5-летней вырубке сосняка разнотравно-ландышевого наблюдается наименьшая продуктивность (315 ± 4 кг/га) при проективном покрытии $6.3 \pm 0.4\%$. Высота побегов *C. majalis* на вырубках различается незначительно и составляет в среднем 29.0 ± 0.8 см.

В изученных сосновых лесах проективное покрытие *C. majalis* варьирует значительно: от $8.0 \pm 0.2\%$ в сосняке костянично-ландышевом до $60.0 \pm 0.2\%$ в сосняке с примесью березы ландышевом, в среднем составляя $24 \pm 4\%$. Высота побегов *C. majalis* более постоянна и составляет в среднем 28 ± 1 см. Исключением является ЦП *C. majalis*, описанная в сосняке разнотравном, где высота побегов достигает 37.0 ± 0.3 см. Число побегов *C. majalis* варьирует довольно сильно. Наибольшее их число выявлено в сосняке с примесью березы ландышевом (78.0 ± 0.4 шт./м²). В сосняке ландышево-кисличном число побегов *C. majalis* значительно меньше (10.0 ± 0.1 шт./м²). Средняя величина данного показателя составляет 35 ± 6 шт./м². Максимальная урожайность изученных ЦП *C. majalis* выявлена в сосняке с примесью березы ландышевом (2085 ± 3 кг/га), где проективное покрытие вида также максимально. Минимальная урожайность отмечена в сосняке ландышево-кисличном (135 ± 1 кг/га).

В исследованных пихтарниках все изученные показатели ЦП *C. majalis* минимальны. Проективное покрытие, число побегов и величина надземной фитомассы *C. majalis* изменяются от $15.0 \pm 0.03\%$, 11.3 ± 0.7 шт./м², 198 ± 0.9 кг/га в пихтарнике травяно-ландышевом, до соответственно $18.1 \pm 0.3\%$, 13.8 ± 0.7 шт./м², 538 ± 1 кг/га — на открытой поляне в пихтарнике травяно-ландышевом. Высота побегов составляет в среднем 34.8 ± 0.3 см.

Все изученные ЦП условно можно разделить на высоко-, средне- и низкопродуктивные. Высокопродуктивными ЦП *C. majalis*, имеющие максимальные показатели урожайности, числа побегов и проективного покрытия выявлены на лугах и на вырубках. Среднепродуктивными являются ЦП в сосняках, дубняках и осинниках. ЦП в березня-

ках и пихтарниках характеризуются как низкопродуктивные.

Количество генеративных побегов *C. majalis* максимально в дубняках (42.4% от общего числа побегов), сосняках (39.1%) и в березняках (37%). В остальных изученных сообществах количество генеративных побегов в ЦП *C. majalis* не превышает 20%: на вырубках оно составляет 9.9%, в пихтарниках — 12.1%, в луговых сообществах — 12.2% и в осинниках — 19.7% от общего числа побегов.

Урожайность побегов по шкале С.А. Мамаева [39] отличается очень высоким уровнем изменчивости, составляющим от 50.2 до 90.8%; исключением являются ЦП в луговых сообществах, где коэффициент вариации соответствует повышенному уровню. Проективное покрытие и число побегов также характеризуются очень высоким уровнем изменчивости, исключением являются ЦП в пихтарниках (средний уровень), осинниках и луговых сообществах (низкий уровень). Высота побегов имеет низкий уровень изменчивости в дубняках и осинниках, очень низкий в пихтарниках и на вырубках. Остальные сообщества с *C. majalis* характеризуются средним уровнем изменчивости высоты побегов.

Множественный регрессионный анализ позволил выявить линейный характер связи между проективным покрытием, численностью побегов и урожайностью ($R^2 = 0.71-0.97$).

Величина урожайности сырья может быть представлена уравнением регрессии, имеющим следующий вид:

$$P = 3.2 + 0.3C + 1.6N,$$

где P — урожайность (сырой вес, г/м²), C — проективное покрытие (%), N — число побегов (шт./м²). Значения критерия Стьюдента (7.45) и критерия Фишера (122.45) для полученного уравнения отвечают уровню значимости $p < 0.01$.

Для ценопопуляций *C. majalis* отмечена очень тесная корреляция ($r = 0.98$) между урожайностью и численностью побегов (рис. 2). Эта зависимость аппроксимируется функцией, которая может быть использована для определения продуктивности ценопопуляций *C. majalis*:

$$P = 3.1 + 1.7N.$$

На наличие нелинейной зависимости между фитомассой лекарственного растительного сырья *C. majalis* и проективным покрытием ($r^2 = 0.72-0.99$) указывали Руденко с соавторами [48, 49].

В целях рациональной эксплуатации, возобновления и сохранения зарослей *C. majalis* разработан режим использования. Опыты показали, что на одном и том же месте сбор *C. majalis* следует проводить с перерывом в 2–3 года. При срезке 75% побегов *C. majalis* восстановление ЦП проис-

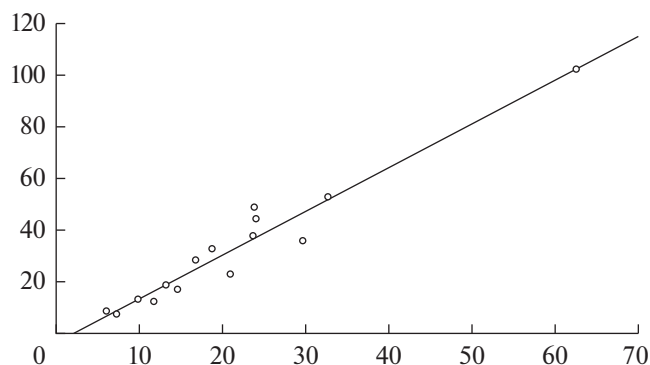


Рис. 2. Зависимость урожайности сырья *Convallaria majalis* (побеги) от числа побегов.

По горизонтали — число побегов, шт./м²; по вертикали — урожайность (сырой вес, г/м²).

Fig. 2. Relationship between *Convallaria majalis* raw material (sprouts) productivity and number of sprouts.

X-axis — number of sprouts per m²; y-axis — productivity (fresh weight, g/m²).

ходит за 6 лет. Изучение восстановления ЦП *C. majalis* на площадках разного размера показало, что наиболее резкое угнетение ЦП наблюдалось при ежегодной срезке побегов на площадках размером 10 м². Полученные ранее данные указывают на необходимость учета биоморфологических особенностей вида при определении сроков восстановления ЦП [50].

Общая площадь промысловых зарослей *C. majalis* в подзоне хвойно-широколиственных лесов Кировской обл. составляет 2.11 тыс. га. Основные заросли *C. majalis* сосредоточены в Уржумском (1.04 тыс. га) и Малмыжском (0.56 тыс. га) р-нах. Площади промысловых зарослей *C. majalis* в других районах значительно меньше (табл. 3).

Биологический запас сырья *C. majalis* составляет 140 т. Величина биологического запаса неравномерно распределена по региону исследований. Основные запасы сосредоточены в Уржумском (89 т)

Таблица 3. Ресурсные характеристики *Convallaria majalis* L. в подзоне хвойно-широколиственных лесов Кировской области

Table 3. *Convallaria majalis* L. resource characteristics in coniferous-broad-leaved forests subzone in Kirov region

Районы Districts	Площадь зарослей, га Thickets area, ha	Биологический запас, т Biological stock, t	Эксплуатационный запас, т Exploitation stock, t	Объем возможных ежегодных заготовок, т (воздушно-сухой вес) Volume of possible annual harvesting, t (air-dry weight)
Нолинский Nolinsky	51.0	1.10	0.10	0.020
Вятско-Полянский Vyatsko-Polyansky	93.0	5.80	0.60	0.150
Кикнурский Kiknursky	0.80	0.040	0.004	0.001
Кильмезский Kilmezsky	65.0	6.882	0.888	0.178
Лебяжский Lebyazhsky	28.0	0.50	0.050	0.010
Малмыжский Malmyzhsky	560.0	24.0	2.40	0.410
Пижанский Pizhansky	73.0	3.723	0.40	0.10
Санчурский Sanchursky	0.20	0.011	0.001	0.0
Советский Sovetsky	194.0	9.0	0.50	0.10
Уржумский Urzhumsky	1040	89.0	8.90	1.80
Яранский Yaransky	1.0	0.10	0.010	0.0
Итого Total	2106	140.156	13.853	2.769

и Малмыжском (24 т) р-нах. В остальных р-нах подзоны биологический запас *C. majalis* не превышает 7% от общего.

Эксплуатационный запас *C. majalis* в подзоне хвойно-широколиственных лесов невелик — 13,8 т сырья. Наиболее значительны эксплуатационные запасы в Уржумском (8,9 т или 65%) и Малмыжском (2,4 т или 17%) р-нах. В остальных районах запасы незначительны.

Объем ежегодных возможных заготовок *C. majalis* в обследованном регионе 2,77 т. Наибольший объем заготовок возможен в Уржумском (1,8 т) и Малмыжском (0,41 т) р-нах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследований составлен протомус растительных сообществ с участием *Convallaria majalis*, который включает 3 класса (*Quercus-Fagetea*, *Vaccinio-Piceetea*, *Molinio-Arrhenatheretea*), 5 порядков (*FAGETALIA SYLVATICA*, *QUERCETALIA ROBORIS*, *PICEETALIA EXCELSAE*, *MOLINIETALIA*, *ARRHENATHERETALIA*), 7 союзов (*Quercus roboris-Tilion cordatae*, *Alnion incanae*, *Quercion robori-petraeae*, *Piceion excelsae*, *Dicrano-Pinion*, *Alopecurion pratensis*, *Cynosurion*).

Все изученные ЦП условно можно разбить на высоко-, средне- и низкопродуктивные. Высокопродуктивные ЦП *C. majalis*, имеющие максимальные показатели урожайности, выявлены на лу-

гах (1508 ± 23 кг/га) и вырубках (1165 ± 30 кг/га). Среднепродуктивными являются ЦП в сосняках (823 ± 17 кг/га), дубняках (663 ± 13 кг/га) и осинниках (503 ± 17 кг/га). В березняках (435 ± 23 кг/га) и пихтарниках (368 ± 17 кг/га) ЦП *C. majalis* характеризуются как низкопродуктивные.

Общая площадь промысловых зарослей *C. majalis* в подзоне хвойно-широколиственных лесов Кировской обл. составляет 2,11 тыс. га. Биологический запас сырья *C. majalis* составляет 140 т. Основные запасы сосредоточены в Уржумском (89 т) и Малмыжском (24 т) р-нах. Эксплуатационный запас *C. majalis* в подзоне хвойно-широколиственных лесов невелик — 13,8 т сырья. Объем ежегодных возможных заготовок *C. majalis* в обследованном регионе 2,77 т. Наибольший объем заготовок возможен в Уржумском (1,8 т) и Малмыжском (0,41 т) р-нах. Заготовки сырья в других районах могут иметь лишь местное значение.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках государственного задания 0766-2014-0002 “Разработка системы мониторинга биологических ресурсов охотничьего хозяйства для совершенствования методов их сохранения и рационального использования” (этап 18.1; пункт Программы ФНИ 18) Всероссийского научно-исследовательского института охотничьего хозяйства и звероводства им. проф. В.М. Житкова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буданцев А.Л. 2005. Фундаментальные направления ботанического ресурсоведения и их развитие. — Раст. ресурсы. 41(1): 3–26.
2. Государственная фармакопея Российской Федерации. 2015. XIII издание, том III, Москва. 1294 с. http://193.232.7.120/feml/clinical_ref/pharmacopoeia_3_html/HTML/#1
3. Машковский М.Д. 2012. Лекарственные средства. 16-е изд. М. 1216 с.
4. Красная книга Кировской области: животные, растения, грибы. 2014. Киров. 336 с. <https://priroda.kirovreg.ru/upload/iblock/da1/da1970c9b615708de1af7064d9adcf81.pdf>
5. Истомина И.И., Павлова М.Е., Терехин А.А. 2017. Возрастной спектр ценопопуляций как показатель стратегии вида в условиях антропогенного стресса (на примере редких и охраняемых видов природно-исторического парка “Битцевский лес”). — Вестник РУДН. Сер. Агрономия и животноводство. 12(1): 66–75. <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2017-12-1-66-75>
6. Истомина И.И., Павлова М.Е., Терехин А.А., Фежорова Т.А. 2016. К вопросу о структуре ценопопуляций ландыша майского (*Convallaria majalis* L.) и купены многоцветковой (*Polygonatum multiflorum* (L.) All.) в природно-историческом парке “Битцевский лес”. — Вестник РУДН. Сер. Агрономия и животноводство. 2: 23–30. <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2016-2-23-30>
7. Kosinsky I. 2003. The influence of shoot harvesting on the age structure of the *Convallaria majalis* L. populations. — Acta. Soc. Bot. Pol. 72(1): 53–59. <https://doi.org/10.5586/asbp.2003.007>
8. Vandepitte K, De Meyer T., Jacquemyn H., Rolda'n-Ruiz I., Honnay O. 2013. The impact of extensive clonal growth on fine-scale mating patterns: a full paternity analysis of a lily-of-the-valley population (*Convallaria majalis*). — Annals of Botany. 111(4): 623–628. <https://doi.org/10.1093/aob/mct024>
9. Сулейманова В.Н. Егошина Т.Л. 2018. Анализ изменчивости морфологических признаков *Convallaria majalis* L. в Кировской области. — В сб.: Перспективы лекарственного растениеводства: Материалы Международ. науч. конф. М., ВИЛАР. С. 52–57. <http://vilarnii.ru/sbornik-konferentcii-shretera/>

10. Kosinsky I., Galera G., Chwedorzewska K.J. 2009. The morphological variability of *Convallaria majalis* L. in natural and cultivated populations in three regions of Poland. — Pol. J. Ecol. 57(3): 473–482.
https://miiz.waw.pl/pliki/article/ar57_3_05.pdf
11. Кацовец Е.В., Матвеев Н.М. 2010. Эколого-фитоценоотические принципы изучения лекарственных растений (на примере *Convallaria majalis* L.). — Вестник Самарского университета. Естественнонаучная серия. 2(76): 169–177. <https://elibrary.ru/item.asp?id=16059322>
12. Карпова О.А. 2001. Особенности развития ценопопуляции ландыша майского (*Convallaria majalis* L.) в биосистемах степных лесов. — В сб.: Биоразнообразие и биоресурсы Урала и сопредельных территорий: Материалы Междунар. конф. Оренбург. С. 112–113.
13. Сулейманова В.Н., Егошина Т.Л. 2014. Эколого-фитоценоотическая характеристика *Convallaria majalis* L. в подзоне хвойно-широколиственных лесов Кировской области — Вестник Удмуртского государственного университета. 1: 49–56. <https://elibrary.ru/item.asp?id=21422241>
14. Сулейманова В.Н., Т.Л. Егошина 2015. Экология *Convallaria majalis* в подзоне хвойно-широколиственных лесов Кировской области. — В сб.: Принципы и способы сохранения биоразнообразия: Материалы VI Всерос. конф. с междунар. участием. Йошкар-Ола. С. 119–120.
15. Шадже А.Е., Шадже А.И. 2016. Географическое распространение и фитоценоотическая приуроченность *Convallaria majalis* в пределах северо-западного Кавказа. — Бот. вестн. Северного Кавказа. 1: 72–81.
http://botvestnik.ru/files/Bot_vest_Sev_Cauc_2016_1.pdf
16. Баранова Т.Ю., Куринская Н.В. 2013. Влияние светового режима на продуктивность и сезонное развитие *Convallaria majalis* в дубравах среднего Дона. — Изв. высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Сер.: Естественные науки. 3(175): 50–52.
17. Баранова Т.Ю., Иванисова Н.В. 2015. Влияние эдафических факторов на продуктивность и плотность произрастания *Convallaria majalis*. — Проблемы региональной экологии. 1: 28–31.
<https://www.ecoregion.ru/annot/pre-N1-2015.pdf>
18. Фёдорова С.В. 2015. Сезонный ритм развития полицентрических систем в ценопопуляции *Convallaria majalis* L. (Convallariaceae). — Бюллетень Ботанического сада-института ДВО РАН. 14: 11–27.
<https://botsad.ru/media/cms/3470/11-27%20Федорова.pdf>
19. Дайнеко Н.М., Чукунова К.А. 2018. Сроки наступления фенофаз ценопопуляции ландыша майского (*Convallaria majalis* L.), произрастающего в естественных экосистемах. — Вопросы науки и образования. 7(19): 21–22.
<https://scientificpublication.ru/images/PDF/2018/19/Questions-of-science-and-education-7-19.pdf>
20. Егошина Т.Л., Лепешкин Г.Н., Сюткин В.М. 2004. Оценка зон автотранспортного загрязнения экотопов — источников растительного сырья. — В сб.: Пищевые ресурсы дикой природы и экологическая безопасность населения: Материалы Междунар. науч. конф., Киров: ВНИИОЗ. С. 126–127.
<http://vniioz-kirov.ru/upload/iblock/117/117de3be0c3d87080fc3619f3f60d6cf.pdf>
21. Прохорова Н.В., Ненашева Е.В., Козлов А.Н. 2004. Элементный состав ландыша майского (*Convallaria majalis* L.) в условиях сложного геохимического ландшафта. — Бюллетень Самарская Лука. 14: 190–200.
22. Кучеренко М.А., Виноградова М.Г. 2017. Анализ химического состава листьев *Convallaria majalis* L. в фитоценозах с различной антропогенной нагрузкой с использованием метода Фурье-ИК-спектроскопии. — Вестник Тверского государственного университета. Сер.: Химия. 4: 30–35.
https://www.tversu.ru/vestnik/chemi/docs/Chem_2017_N_4.pdf
23. Welsh K.J., Huang R.S.P., Actor J.K., Dasgupta A. 2014. Rapid Detection of the Active Cardiac Glycoside Convallatoxin of Lily of the Valley Using LOCI Digoxin Assay. — Am. J. Clin. Pathol. 142(3): 307–312.
<https://doi.org/10.1309/AJCPCOXF005XXTKD>
24. Matsuo Y., Shinoda D., Nakamaru A., Kamohara K., Sakagami H., Mimaki Y. 2017. Steroidal Glycosides from *Convallaria majalis* Whole Plants and Their Cytotoxic Activity. — Int. J. Mol. Sci. 18(11): 2358.
<https://doi.org/10.3390/ijms18112358>
25. Dasgupta A, Bourgeois L. 2018. Convallatoxin, the active cardiac glycoside of lily of the valley, minimally affects the AD-VIA Centaur digoxin assay. — J. Clin. Lab. Anal. 32(8): e22583.
<https://doi.org/10.1002/jcla.22583>
26. Аверьянова В.А., Александрова И.В., Быков В.А. 2002. Особенности каллусогенеза ландыша майского (*Convallaria majalis* L.) в зависимости от физиологического состояния экспланта. — Биотехнология. 5: 49–58.
27. Сулейманова В.Н. 2017. Оценка антропоотолерантности *Convallaria majalis* L. в подзоне хвойно-широколиственных лесов Кировской области. — В сб.: Современные проблемы природопользования, охотоведения и звероводства: Материалы Междунар. науч. практ. конф., посвящ. 95-летию ВНИИОЗ им. проф. Б.М. Житкова. Киров. С. 514–516. http://vniioz-kirov.ru/novosti/ВНИИОЗ%2095_Материалы%20конференции.pdf
28. Растительность европейской части СССР. 1980. Л. 429 с.
29. Александрова В.Д., Грибова С.А., Исаченко Т.И. и др. 1989. Геоботаническое районирование Нечерноземья европейской части РСФСР. Л. 64 с.
30. Леса Кировской области. 2007. Киров. 400 с.
31. Тарасова Е.М. 2007. Флора Вятского края. Часть 1. “Сосудистые растения”. Киров. 440 с.
32. Методы изучения лесных сообществ. 2002. СПб. 240 с.

33. Ellenberg, H. 1974. Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas. Göttingen. 97 s.
34. Восточноевропейские леса: история в голоцене и современность. 2004. Кн. 1. М. 479 с.
http://gjee.ru/wp-content/uploads/2016/03/Книга_1.pdf
35. Методика определения запасов лекарственных растений. 1986. М. 54 с.
36. Крылова И.Л. 1988. О некоторых терминологических и методических вопросах лекарственного ресурсоведения. — Раст. ресурсы. 24 (1): 124–129.
37. Крылова И.Л., Капорова В.И. 1992. Составление расчетных таблиц для оценки урожайности лекарственных растений по проективному покрытию. — Раст. ресурсы. 28 (3): 141–156.
38. Буданцев А.Л., Харитонова Н.П. 1999. Ресурсоведение лекарственных растений. СПб. 87 с.
39. Мамаев С.А., Чуйко Н.М. 1975. Индивидуальная изменчивость признаков листьев у дикорастущих видов косянки. — В сб.: Индивидуальная эколого-географическая изменчивость растений. Свердловск. С. 114–118.
40. Боровиков В.П. 2001. Статистика: искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов. СПб. 656 с.
41. ГОСТ 26483-85. 1985. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО. М. 9 с. <https://www.internet-law.ru/gosts/gost/29278>
42. Ариунушкина Е.В. 1970. Руководство по химическому анализу почв. М. 488 с.
43. ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества. М. 8 с. 1991.
<https://internet-law.ru/gosts/gost/10564/>
44. Миркин Б.М., Наумова Л.Г. 1998. Наука о растительности (история и современное состояние основных концепций). Уфа. 413 с.
45. Кацовец Е.В., Плаксина Т.И. 2009. К вопросу о продуктивности ландыша майского в степном Заволжье (на примере Красносамарского лесного массива). — Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 11(1–2): 70–72. http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2009/2009_1_2_70_72.pdf
46. Баранова Т.Ю., Куринская Н.В. 2009. Продуктивность ландыша майского в дубравах Среднего Дона. — В сб.: Методы изучения продукционного процесса растений и фитоценозов: Материалы междунар. науч. методической конф. Нальчик. С. 26–27.
47. Паланов А.В., Антонова В.И., Суслова Т.А., Репина Н.Н., Гаммермайстер Ю.Г. 2005. Ресурсоведческая характеристика лекарственных растений Вологодской области. Вологда. 140 с.
48. Руденко Е.В., Бузук Г.Н., Кузьмичева Н.А. 2016. Нелинейный характер зависимости между фитомассой и проективным покрытием ландыша майского в различных местообитаниях. — Вестник фармации. 4(74): 25–30.
49. Руденко Е.В., Бузук Г.Н., Кузьмичева Н.А. 2017. Определение качества аппроксимации зависимостей урожайности и проективного покрытия ландыша майского с помощью функций Weibull и аллометрической. — Вестник фармации. 1(75): 41–47.
50. Егошина Т.Л. 2008. Влияние антропогенных факторов на состояние ресурсов дикорастущих плодовых и лекарственных растений. Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Пермь. 44 с.
<https://www.disserscat.com/content/vliyanie-antropogennyykh-faktorov-na-sostoyanie-resursov-dikorastushchikh-plodovykh-i-lekarst/read/pdf>

Resource Characteristics of *Convallaria majalis* (Convallariaceae) Coenopopulations in Mixed Coniferous-Broad-Leaved Forests of the Kirov Region

V. N. Suleimanova^{a, b}, T. L. Egoshina^{a, b, *}

^aZhitkov Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, Kirov, Russia

^bVyatka State Agricultural Academy, Kirov, Russia

*e-mail: etl@inbox.ru

Abstract—*Convallaria majalis* L. (Convallariaceae) — is a valuable medicinal plant and pharmacopeia species [2] used for production of cardiac medications due to glycosides contained in it [3]. It is also a highly appreciated ornamental plant. In order to protect gene pool and resources of *C. majalis* it is necessary to investigate natural populations to determine optimum exploitation strategy. The study aims at resource characteristics of *C. majalis* coenopopulations (CPs) in mixed coniferous-broad-leaved forest subzone of the Kirov region. The evaluated data were collected during 1980–2009, and 34 CPs were investigated in the southern part of the Kirov region. Studied plant communities with *C. majalis* were described according to common geobotanical methods [32]. Ecological range was determined using Ellenberg ecological scales [33] by communities' species composition. Resources of *C. majalis* were characterized by accepted methods [35–38]. Variability coefficients were applied to the studied parameters [39]. Statistical data processing was accomplished with standard methods [40]. The study shows that *C. majalis* is a dominant or subdominant species of herbaceous-shrub layer within mixed coniferous-broad-leaved forest subzone of the Kirov region, and is found in forest and meadow communities, as well as on clearcuts. Compiled prodromus of *C. majalis* plant communities includes 3 classes (*Quercus-Fagetea*, *Vaccinio-Piceetea*, *Molinio-Arrhenatheretea*), 5 orders (*FAGETALIA SYLVATICA*),

QUERCETALIA ROBORIS, *PICEETALIA EXCELSAE*, *MOLINIETALIA*, and *ARRHENATHERETALIA*), and 7 units (*Quercus roboris*-*Tilion cordatae*, *Alnion incanae*, *Quercion robori-petraeae*, *Piceion excelsae*, *Dicrano-Pinion*, *Alopecurion pratensis*, and *Cynosurion*). The most productive CPs were defined on clearcuts and meadows, average productive – in pine, oak and aspen forests; CPs in birch and fir forests are characterized as least productive. Total area of *C. majalis* commercial thickets in mixed coniferous-broad-leaved forests of the Kirov region is 2.11 thousand ha. *C. majalis* biological stock reaches 140 t, while its exploitable stock is relatively low – 13.8 t of raw material. The volume of *C. majalis* possible annual harvesting in the investigated area is about 2.77 t.

Keywords: *Convallaria majalis*, coenopopulation, ecological-phytocoenotic confinement, productivity, biological stock, exploitable stock, volume of possible annual harvesting, mixed coniferous-broad-leaved forest subzone, Kirov region

ACKNOWLEDGEMENTS

The study was carried out within the framework of the state assignment 0766-2014-0002 “Developing system for monitoring of biological resources in game management to improve conservation methods and rational use” (stage 18.1; item 18 of FNI Program) to Professor Zhitkov Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming.

REFERENCES

1. Budantsev A.L. 2005. Fundamental directions of plant researches and their development. — Rastitelnye Resursy. 41(1): 3–26. (In Russian)
2. [State Pharmacopoeia of the Russian Federation XIII. Vol. 3]. 2015. Moscow. 1294 p. (In Russian)
3. Mashkovskiy M.D. 2012. [Medicinal products. 16th ed.]. 1216 p. (In Russian)
4. [The Red Data Book of the Kirov region: animals, plants, fungi]. 2014. Kirov. 336 p.
<https://priroda.kirovreg.ru/upload/iblock/da1/da1970c9b615708de1af7064d9adcf81.pdf> (In Russian)
5. Istomina I.I., Pavlova M.E., Terekhin A.A. 2017. Ontogenetic spectrum of coenopopulations as indicator of species strategy under anthropogenic stress (on the example rare and protected plants of the natural and historical park “Bittsevskiy forest”). — RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries. 12(1): 66–75.
<https://doi.org/10.22363/2312-797X-2017-12-1-66-75> (In Russian)
6. Istomina I.I., Pavlova M.E., Terekhin A.A. 2016. To the issue of population structure of *Convallaria majalis* L. and *Polygonatum multiflorum* (L.) All. in the “Bitsevsky forest” natural and historical park]. — RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries. 11(2): 23–30.
<https://doi.org/10.22363/2312-797X-2016-2-23-30> (In Russian).
7. Kosinsky I. 2003. The influence of shoot harvesting of the age structure of the *Convallaria majalis* L. populations. — Acta. Soc. Bot. Pol. 72(1): 53–59.
<https://doi.org/10.5586/asbp.2003.007>
8. Vandepitte K, De Meyer T., Jacquemyn H., Rolda'n-Ruiz I., Honnay O. 2013. The impact of extensive clonal growth on fine-scale mating patterns: a full paternity analysis of a lily-of-the-valley population (*Convallaria majalis*). — Annals of Botany. 111(4): 623–628.
<https://doi.org/10.1093/aob/mct024>
9. Suleymanova V.N., Egoshina T.L. 2018. Variability of *Convallaria majalis* L. (Convallariaceae) morphology in Kirov region. — In: [Prospects of medicinal plants cultivation. Proceedings of the International Scientific Conference]. Moscow. P. 52–57. <http://vilarnii.ru/sbornik-konferencii-shretera/> (In Russian)
10. Kosinsky I., Galera G., Chwedorzewska K.J. 2009. The morphological variability of *Convallaria majalis* L. in natural and cultivated populations in three regions of Poland. — Pol. J. Ecol. 57(3): 473–482.
https://miiz.waw.pl/pliki/article/ar57_3_05.pdf
11. Katsovetz E.V., Matveev N.M. 2010. Some new approaches to the study of medical plants (on the example of *Convallaria majalis* L.). — Vestnik of Samara University. Natural Science Series. 2(76): 169–177. (In Russian)
<https://elibrary.ru/item.asp?id=16059322>
12. Karpova O.A. 2001. [Peculiarities of *Convallaria majalis* L. coenopopulations development in steppe forests]. — In: [Biological Diversity and Biological Resources of the Urals and Adjacent Territories. Proceedings of the International Conference]. Orenburg. P. 112–113. (In Russian)
13. Suleymanova V.N., Egoshina T.L. 2014. [Ecological phytocoenotic characteristics of *Convallaria majalis* L. in southern taiga subzone of Kirov region]. — Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences. 1. P. 49–56.
<https://elibrary.ru/item.asp?id=21422241> (In Russian)
14. Suleymanova V.N., Egoshina T.L. 2015. [Ecology of *Convallaria majalis* L. in coniferous-broadleaved forests of Kirov region]. — In: [Principles and ways of biodiversity conservation. Proceedings of the VIth All-Russian Conference]. Yoshkar-Ola. P. 119–120. (In Russian)

15. Shadje A.E., Shadje A.I. 2016. Geographical distribution and phytocoenotic confinement of *Convallaria majalis* L. in the region of north-western Caucasus. — Botanical Herald of the North Caucasus. 1. P. 72–81. http://botvestnik.ru/files/Bot_vest_SeV_Cauc_2016_1.pdf (In Russian)
16. Baranova T.Yu., Kurinskaya N.V. 2013. Effect of light conditions on productivity and seasonal development of the *Convallaria majalis* in the oak groves of the Middle don. — Izvestiya Vuzov. Severo-Kavkazskii Region. Natural Science. 3: 50–52.
17. Baranova T.Yu., Ivanisova N.V. 2015. The productivity and density of growth of the May lily (*Convallaria majalis*). — Regional Environmental Issues. 1. P. 28–31. <https://www.ecoregion.ru/annot/pre-N1-2015.pdf> (In Russian)
18. Fedorova S.V. 2015. Seasonal rhythm of development of polycentric systems in cenopopulation of *Convallaria majalis* L. (Convallariaceae). — Bulletin of the Botanical Garden Institute. 14: 11–27. <https://botsad.ru/media/cms/3470/11-27%20Федорова.pdf> (In Russian)
19. Dayneko N.M., Chikunova K.A. 2018. [Dates of phenological phases of *Convallaria majalis* in natural ecosystems]. — Voprosy nauki i obrazovaniya. 7(19): 21–22. <https://scientificpublication.ru/images/PDF/2018/19/Questions-of-science-and-education-7-19.pdf> (In Russian)
20. Egoshina T.L., Lepeshkin G.N., Syutkin V.M. 2004. Estimation of zones of motor transport pollution of ecotops — sources of plant raw material. — In: Food resources of wild nature and environmental safety of people. Proceedings of International Conference. Kirov. P. 126–127. <http://vniioz-kirov.ru/upload/iblock/117/117de3be0c3d87080fc3619f3f60d6cf.pdf> (In Russian)
21. Prokhorova N.V., Nenasheva E.V., Kozlov A.N. 2004. The *Convallaria majalis* L. element composition under complex geochemical landscape condition. — Bulletin Samarskaya Luka. 14. P. 190–200. (In Russian)
22. Kucherenko M.A., Vinogradova M.G. 2017. Analyses of chemical composition of leaves *Convallaria majalis* L. in phytocenoses with various anthropogeneous load using the method of IR Fourier spectroscopy. — Herald of Tver State University. Series: Chemistry. 4. P. 30–35. https://www.tversu.ru/vestnik/chemi/docs/Chem_2017_N_4.pdf (In Russian)
23. Welsh K.J., Huang R.S.P., Actor J.K., Dasgupta A. 2014. Rapid Detection of the Active Cardiac Glycoside Convallatoxin of Lily of the Valley Using LOCI Digoxin Assay. — Am. J. Clin. Pathol. 142(3): 307–312. <https://doi.org/10.1309/AJPCOXF005XXTKD>
24. Matsuo Y., Shinoda D., Nakamaru A., Kamohara K., Sakagami H., Mimaki Y. 2017. Steroidal Glycosides from *Convallaria majalis* Whole Plants and Their Cytotoxic Activity. — Int. J. Mol. Sci. 18(11): 2358. <https://doi.org/10.3390/ijms18112358>
25. Dasgupta A, Bourgeois L. 2018. Convallatoxin, the active cardiac glycoside of lily of the valley, minimally affects the ADVIA Centaur digoxin assay. — J. Clin. Lab. Anal. 32(8): e22583. <https://doi.org/10.1002/jcla.22583>
26. Averianova V.A., Aleksandrova I.V., Bykov V.A. 2002. The Features of May Lily (*Convallaria majalis* L.) Callusogenesis as Dependent on Explant Physiological Parameters. — Biotechnology in Russia. 5: 59–68. Translated from Biotekhnologiya. 2002. 5: 49–58. Biologicals Technology.
27. Suleymanova V.N. 2017. Estimation of *Convallaria majalis* L. human-impact tolerance in coniferous-broad leaved forests of Kirov region. — In: Recent problems of nature use, game biology and fur farming: Proc. of Int. Sci. and Pract. Conf. dedic. to the 95th anniversary of Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming. Kirov. P. 514–516. http://vniioz-kirov.ru/novosti/ВНИИОЗ%2095_Материалы%20конференции.pdf (In Russian)
28. [Vegetation of European part of the USSR]. 1980. Leningrad. 429 p. (In Russian)
29. Aleksandrova V.D., Gribova S.A., Isachenko T.I. 1989. [Geobotanical zoning of non-black soil belt of the European part of the RSFSR]. Leningrad. 64 p. (In Russian)
30. [Forests of the Kirov region]. 2007. Kirov. 400 p. (In Russian)
31. Tarasova E.M. 2007. [Flora of the Vyatka region. Part 1. Vascular plants]. Kirov. 440 p. (In Russian)
32. [Methods for studying forest communities]. 2002. St. Petersburg. 240 p. (In Russian)
33. Ellenberg H. 1974. Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas. Göttingen. 97 s.
34. [East European forests; history in Holocene and modern state. Part 1]. 2004. Moscow. 479 p. http://rjee.ru/wp-content/uploads/2016/03/Kniga_1.pdf (In Russian)
35. [Method for determination of medicinal plants stock]. 1986. Moscow. 54 p. (In Russian)
36. Krylova I.L. 1988. [On certain terms and methodology issues of studying medicinal plant resources]. — Rastitelnyye Resursy. 24(1): 124–129. (In Russian)
37. Krylova I.L., Kaporova V.I. 1992. [Compiling charts for yield estimation of medicinal plants based on projective cover]. — Rastitelnyye Resursy. 28(3): 141–56. (In Russian)
38. Budantsev A.L., Kharitonova N.P. 1999. [Resource studies of medicinal plants]. St. Petersburg. 87 p. (In Russian)
39. Mamaev S.A., Chuyko N.M. 1975. [Individual variation in leaf parameters of wild growing stone bramble]. — In: [Individual ecological and geographic variability in plants]. Sverdlovsk. P. 114–118. (In Russian)
40. Borovikov V.P. 2001. [Statistics: the art of computer data analyses. For professional]. St. Petersburg. 656 p. (In Russian)
41. [State standard GOST 26483–85 Soils. Preparing of salt extract and its pH detection by CINA method]. 1985. Moscow. 9 p. <https://www.internet-law.ru/gosts/gost/29278> (in Russian)
42. Arinushkina E.V. 1970. [Handbook of chemical analyses of soils]. Moscow. 488 p. (In Russian)

43. [State standard GOST 26213-91. Soils. Methods of organic matter detection]. 1991. Moscow. 8 p.
<https://internet-law.ru/gosts/gost/10564/> (In Russian)
44. Mirkin B.M., Naumova L.G. 1998. [Vegetation science (history and modern state of basic concepts)]. Ufa. 413 p. (In Russian)
45. Katsovets E.V., Plaksina T.I. 2009. To the question on efficiency of *Convallaria majalis* L. in Zavolzhye steppe (on example of Krasnosamarsky large forest). — Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 11(1–2): 70–72. http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2009/2009_1_2_70_72.pdf (In Russian)
46. Baranova T.Yu., Kurinskaya N.V. 2009. [Productivity of *Convallaria majalis* L. in oak groves of Middle Don]. — In: [Methods of studying productivity of plants and phytocenosis: Proceedings of the international scientific and practical conference]. Nalchik. P. 26–27. (In Russian)
47. Palanov A.V., Antonova V.I., Suslova T.A., Repina N.N., Gammermaister Yu.G. 2005. [Resource characteristics of medicinal plants of the Vologda region]. Vologda. 140 p. (In Russian)
48. Rudenko E.V., Buzuk G.N., Kuzmicheva N.A. 2016. Non-linear format of dependency between phytomass and projective cover of *Convallaria majalis* in different environmental conditions]. — Vestnik Farmatsii. 4(74): 25–30. (In Russian)
49. Rudenko E.V., Buzuk G.N., Kuzmicheva N.A. 2017. Determination of degree of approximation of dependencies between phytomass and projective cover of *Convallaria majalis* L. by Weibull function and allometric function. — Vestnik Farmatsii. 1(75): 41–47. (In Russian)
50. Egoshina T.L. 2008. [Influence of anthropogenic factors on the state of wild growing fruit and medicinal plant resources: Abstr... Dis. Doct. (Biology) Sci.]. Perm. 44 p.
<https://www.dissercat.com/content/vliyanie-antropogennykh-faktorov-na-sostoyanie-resursov-dikorastushchikh-plodovykh-i-lekarst/read/pdf> (In Russian)

РЕСУРСЫ ПОЛЕЗНЫХ РАСТЕНИЙ И РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ

ПРИРОСТ КОРМОВЫХ ВИДОВ ЛИШАЙНИКОВ РОДА *CLADONIA* (*CLADONIACEAE*) НА ПАСТБИЩАХ ДОМАШНЕГО СЕВЕРНОГО ОЛЕНЯ

© 2020 г. С. Ю. Соковнина (Абдульманова)¹, *, [С. Н. Эктова]¹

¹Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

*e-mail: sokovnina_su@ipae.uran.ru

Поступила в редакцию 02.03.2020 г.

После доработки 24.05.2020 г.

Принята к публикации 10.06.2020 г.

Кормовые виды лишайников — наиболее чувствительный компонент растительного покрова, особенно в условиях пастбищного использования обширных территорий в Арктике и на севере бореальной зоны. Объектами данного исследования являются кустисто-разветвленные лишайники — *Cladonia arbuscula*, *C. rangiferina*, *C. stellaris*, *C. stygia*, произрастающие в тундровой зоне полуостровов Ямал и Гыдан. Скорость роста лишайниковых подециев варьирует от 1.2 до 6.3 мм/год, живой части — 0.9–2.9 мм/год. Значимого снижения средних значений скорости роста модельных видов с юга на север, несмотря на значительное ужесточение гидротермических условий, не выявлено. В зональном градиенте наименьшие значения скорости роста изученных видов отмечены в сообществах южных субарктических тундр. Среди изученных типов фитоценозов наибольшие значения прироста выявлены в кустарниковых тундрах и сообществах бугристых болот. Биотическими факторами среды, оказывающими положительное влияние на рост лишайников на пастбищах, являются сомкнутость кустарникового яруса на юге и толщина мохово-лишайниковой покрова на севере. Вид с наибольшим восстановительным потенциалом в изученных сообществах — *C. stygia*. Наиболее чувствительный к выпасу вид — *C. stellaris*. Варьирование параметров подециев (высота и возраст подеция и его живой части) в изученных градиентах сходно. Наиболее стабильный параметр — возраст живой части.

Ключевые слова: полуостров Ямал, полуостров Гыдан, Западная Сибирь, тундровая зона, кустисто-разветвленные лишайники, род *Cladonia*, скорость роста, географический градиент, экологический градиент, влияние выпаса

DOI: 10.31857/S0033994620030085

Значительные территории в тундровой зоне Евразии и Северной Америки местное население активно использует в качестве пастбищных угодий для северных оленей [1, 2], а перевыпас, вызванный пастбищным оленеводством, является серьезной проблемой северных регионов уже многие годы [3]. В большинстве случаев пастбищные сукцессии являются ретрогрессиями, когда изменение растительности приводит к падению запасов биомассы, продуктивности, уменьшению содержания элементов минерального питания в живой части экосистемы [4], снижению альфа- и бета-разнообразия, а также изменению физических условий среды [5–7]. Напочвенные кустистые лишайники, формирующие плотный покров в отсутствии нарушений, являются наиболее чувствительным компонентом северных экосистем [2, 8–10]. В настоящее время в тундровой зоне полуострова Ямал ценные кормовые лишайники сохранили высокую встречаемость (за исключением *C. stellaris* (Opiz) Pouzar & Vězda), но имеют низкое проективное покрытие и существу-

ют в крайне угнетенном состоянии (незначительная высота подециев, отсутствие отмершей части, механические повреждения подециев). На доминирующие позиции вышли виды, которые устойчивы к выпасу, но не имеют кормового значения [2]. Деградация растительности на пастбищах выражена не только в изменении видового состава, но и в снижении высоты и трансформации структуры напочвенного покрова. Пастбищное воздействие на рост лишайников происходит непосредственно через разрушение лишайниковых талломов и опосредованно — через нарушение целостности мохово-лишайникового яруса. Ежегодный прирост лишайников варьирует в зависимости от интенсивности нагрузки и степени угнетения покрова. Наибольшая нагрузка характерна для летних пастбищ, и той части территории, которую местное население использует в качестве прогонных путей, оказывая мощное воздействие на растительность несколько раз в течение года [11].

Цель данной работы — оценка скорости роста талломов ценных кормовых видов лишайников рода *Cladonia* Р. Вроуне на летних пастбищах полуостровов Ямал и Гыдан с разным уровнем деградации напочвенного покрова. Для достижения поставленной цели было необходимо: 1) оценить величину прироста кустисто-разветвленных лишайников на широтном и фитоценоотическом градиентах при разной степени трансформации напочвенного покрова; 2) определить значимые биотические факторы среды, положительно влияющие на скорость роста лишайников в сообществах, подверженных пастбищному использованию; 3) оценить восстановительный потенциал разных видов кустисто-разветвленных лишайников рода *Cladonia*.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Тундровая зона имеет значительную протяженность с юга на север около 750 (полуостров Ямал) и 400 км (полуостров Гыдан) в условиях морского субарктического климата и распространения вечной мерзлоты. На открытой для масс арктического воздуха (как морского, так и континентального) территории лето короткое и прохладное, зима продолжительная и морозная. Среднегодовая температура на юге полуострова равна -6.6°C , на севере -10.2°C . Температура самого теплого месяца (июль) на юге 14.5°C , на севере (конец августа) -7.8°C . Температура самого холодного (январь) месяца на юге -24.9°C , на севере -59°C . Летом температура воздуха может достигать 30°C на всей территории. Годовое количество осадков от 400 мм на юге до 250 мм на севере, осадки выпадают в летний период в виде морозящих дождей, испарение незначительное — 20–25% от поступающей влаги. Снеговой покров незначителен. Максимальная продолжительность вегетационного периода — 2 месяца (июль, август). Для всей территории характерны высокая влажность воздуха, туманы и облачность, сильные ветры [2, 12–15].

Исследования проводились в подзонах субарктических и арктических тундр, первая из которых делится на две полосы — южных (кустарниковых) и северных (типичных) субарктических тундр. Различия между двумя полосами субарктических тундр выражены в разном участии кустарников в растительном покрове, а также в сочетании растительных сообществ на вершинах и склонах водоразделов. Проективное покрытие (ПП) кустисто-разветвленных лишайников в субарктических тундрах до 40%, в арктических тундрах может достигать 60% [2, 12].

В полосе южных субарктических тундр описан экологический ряд сообществ: кустарниковые тундры — открытые тундровые сообщества — плоскобугристые болота.

Кустарниковые фитоценозы представлены ерниковыми лишайниково-моховыми, кустарниковыми кустарничково-мохово-лишайниковыми, бугорковатыми кустарниковыми кустарничково-мохово-лишайниковыми, заболоченными кустарниковыми кустарничково-травяно-лишайниково-моховыми и бугорковатыми кустарниковыми травяно-моховыми тундрами. Сомкнутость кустарникового яруса (*Betula nana* L. и *Salix lanata* L.) в сообществах 0.2–0.6. Кустарнички представлены *Empetrum nigrum* L., *Ledum decumbens* (Aiton) Lodd. ex Steud., *Arctous alpina* (L.) Nied., *Vaccinium uliginosum* L. и *V. vitis-idaea* L. (ПП 5–70%), травы — *Carex bigelowii* Torr. ex Schwein., *Equisetum arvense* L., *Calamagrostis lapponica* (Wahlb.) Hartm. (ПП 20–45%). Из мхов наиболее обильны *Aulacomnium turgidum* (Wahlenb.) Schwägr., *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt, *Dicranum elongatum* Schleich. ex Schwägr. (ПП 20–95%), лишайники представлены *Cladonia rangiferina* (L.) F. H. Wigg., *C. stygia* (Fr.) Ruoss., *C. arbuscula* (Wallr.) Flot., *Cetraria islandica* (L.) Ach., *Flavocetraria cucullata* (Bellardi) Kärnefelt et A. Thell, *F. nivalis* (L.) Kärnefelt et A. Thell, *Cladonia cornuta* (L.) Hoffm., *C. crispata* (Ach.) Flot., *C. gracilis* (L.) Willd., *C. pleurota* (Flörke) Schaer., *Peltigera aphthosa* (L.) Willd. (ПП 15–80%), толщина мохово-лишайникового покрова 1–4 см.

К открытым тундровым фитоценозам отнесены бугорковатые кустарничковые, кустарничково-лишайниковые, пятнистые кустарничково-лишайниковые, травяно-кустарничковые тундры. Кустарниковый ярус в сообществах не сформирован, единично встречаются *Betula nana*, *Salix reptans* Rupr. Травяно-кустарничковый ярус формируют *Salix polaris* Wahlenb., *Ledum decumbens*, *Empetrum nigrum*, *Vaccinium vitis-idaea* (ПП кустарничков 5–60%), *Carex bigelowii*, *Rubus chamaemorus* L., *Poa alpina* L., *Luzula confusa* Lindeb. (ПП трав 5–45%). В напочвенном покрове доминируют лишайники *Gowardia nigricans* (Ach.) P. Halonen, L. Myllys, S. Velmala & H. Hyvärinen, *Sphaerophorus globosus* (Huds.) Vain., *Flavocetraria nivalis*, *Ochrolechia frigida* (Sw.) Lynge, *Bryocaulon divergens* (Ach.) Kärnefelt, *Cladonia arbuscula*, *C. rangiferina*, *C. stygia*, *C. uncialis* (L.) Weber ex F. H. Wigg. (ПП 5–90%), мхи представлены *Polytrichum hyperboreum* R. Br., *Dicranum elongatum*, *D. fuscescens* Turner, *Aulacomnium turgidum* (ПП 1–30%), толщина покрова 1.5–4.5 см.

В сообществах плоскобугристых болот сомкнутость кустарников (*Betula nana*) незначительна (до 0.1). В травяно-кустарничковом ярусе доминируют травы *Carex rariflora* (Wahlenb.) Sm., *Eriophorum scheuchzeri* Hoppe, *Hierochloa alpina* (Sw.) Roem. & Schult., *Equisetum arvense* (ПП 35–45%); кустарнички представлены *Arctous alpina*, *Salix polaris*, *Ledum decumbens*, *Empetrum nigrum*, (ПП около 15%). Напочвенный покров сформирован мхами *Aulacomnium turgidum*, *Polytrichum strictum* Brid., *P. juniperinum* Hedw., *Dicranum angustum* Lindb., *Hy-*

locomium splendens (Hedw.) Bruch et al., *Sanionia uncinata* (Hedw.) Loeske, *Sphagnum russowii* Warnst., *S. balticum* (Russow) С.Е.О. Jensen (ПП 50–70%) с участием лишайников *Sphaerophorus globosus*, *Flavocetraria cucullata*, *F. nivalis*, *Bryocaulon divergens*, *Cladonia arbuscula*, *C. stygia*, *Alectoria ochroleuca* (Hoffm.) A. Massal. (ПП около 30%), толщина покрова 1–5 см.

В полосе северных субарктических тундр экологический ряд изученных сообществ включает кустарниковые тундры, открытые тундровые сообщества и бугристые болота.

Кустарниковые тундры представлены заболоченными кустарниковыми кустарничково-травяно-лишайниково-моховыми, кустарниковыми травяно-моховыми, фрагментарными кустарниковыми травяно-моховыми, бугорковатыми травяно-моховыми, кустарниковыми травяно-лишайниково-моховыми тундрами. Кустарниковый ярус в сообществах сформирован низкорослыми кустами *Betula nana* и *Salix lanata* (высота до 20 см) сомкнутостью 0.1–0.9. В травяно-кустарничковом ярусе представлены кустарнички *Vaccinium vitis-idaea*, *Ledum decumbens*, *Salix nummularia* Andersson (ПП 20–80%), участие трав *Carex bigelowii*, *Carex concolor* R. Br., *Rubus chamaemorus*, *Equisetum arvense*, *Eriophorum vaginatum* L., *Festuca ovina* L., *Calamagrostis stricta* (Timm) Koeler, незначительно (ПП до 2%). В напочвенном покрове доминируют мхи *Pleurozium schreberi*, *Polytrichum juniperinum*, *P. hyperboreum* R. Br., *Aulacomnium turgidum*, *Sphagnum magellanicum* Brid. (ПП 40–95%), лишайники представлены *Thamnolia vermicularis* (Sw.) Schaer., *Flavocetraria cucullata*, *Cladonia amaurocraea* (Flörke) Schaer., *C. arbuscula*, *C. rangiferina*, *C. stygia*, *C. cornuta*, *Sphaerophorus globosus*, *Dactylina arctica* (Hook. f.) Nyl., *Cetraria islandica*, *Flavocetraria cucullata*, *F. nivalis*, *Peltigera aphthosa* (ПП до 30%), толщина покрова 1–10 см.

К открытым тундровым сообществам отнесены пятнистые травяно-мохово-лишайниковые, кустарничково-лишайниковые, моховые, кустарничковые лишайниково-моховые, бугорковатые травяно-лишайниково-моховые тундры. Для этих фитоценозов характерна значительная доля кустарничков *Salix nummularia*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Ledum decumbens* (ПП 15–75%), травы представлены *Carex bigelowii*, *Poa arctica* R. Br., *Calamagrostis holmii* Lange, *Calamagrostis stricta*, *Hierochloa alpina*, *Luzula spicata* (L.) DC. (ПП 3–50%). Мохово-лишайниковый ярус образован *Aulacomnium turgidum*, *Racomitrium lanuginosum* (Hedw.) Brid. (ПП мхов 15–80%), *Alectoria ochroleuca*, *Gowardia nigricans*, *Bryocaulon divergens*, *Cetraria islandica*, *Cladonia arbuscula*, *C. rangiferina*, *C. stygia*, *C. uncialis*, *Flavocetraria cucullata*, *Ochrolechia frigida*, *Sphaerophorus globosus* (ПП лишайников 5–85%), толщина покрова 1–5 см.

В сообществах бугристых болот сомкнутость кустарников (*Betula nana*) низкая (до 0.2), доминируют травы *Rubus chamaemorus*, *Eriophorum medium* Andersson, *Poa arctica*, *Calamagrostis stricta*, *Carex rariflora* (ПП до 70%), ПП кустарничков *Vaccinium vitis-idaea*, *Ledum decumbens* незначительно (5–20%). В напочвенном покрове доминируют мхи (ПП 70–95%), доля лишайников *Alectoria ochroleuca*, *Gowardia nigricans*, *Bryocaulon divergens*, *Bryoria nitidula* (Th. Fr.) Brodo et D. Hawksw., *Cetraria islandica*, *C. laevigata* Rass., *Flavocetraria cucullata*, *Cladonia arbuscula*, *C. rangiferina*, *C. stygia*, *C. amaurocraea*, *C. macroceras* (Delise) Hav., *C. uncialis*, *Dactylina arctica*, *Thamnolia vermicularis* невелика (ПП 5–30%), толщина покрова 2–8 см.

В подзоне арктических тундр изученный экологический ряд сообществ включает кустарничково-лишайниковые тундры, пятнистые травяно-мохово-лишайниковые тундры и бугристые болота.

В кустарничково-лишайниковых тундрах преобладают кустарнички *Salix polaris*, *Cassiope tetragona* (L.) D. Don, *Dryas octopetala* L. (ПП 15–40%); травы представлены *Carex bigelowii*, *Arctagrostis latifolia* (R. Br.) Griseb., *Luzula confusa*, *Hierochloa alpina* (ПП 5–30%). В напочвенном покрове максимальная доля участия лишайников *Alectoria ochroleuca*, *Bryocaulon divergens*, *Cetrariella delisei* (Bory de Schaer.) Kärnefelt et A. Thell, *Flavocetraria cucullata*, *F. nivalis*, *Cetraria islandica*, *Cladonia arbuscula*, *C. rangiferina*, *C. stygia*, *C. uncialis* (ПП до 90%), доля мхов (*Racomitrium lanuginosum*, *Aulacomnium turgidum*, *Dicranum fuscescens*, *Ptilidium ciliare* (L.) Hampe) незначительна (ПП до 10%), толщина покрова 2–3.5 см.

Пятнистые травяно-мохово-лишайниковые тундры характеризуются различной долей участия кустарничка *Salix polaris* (ПП 5–30%), среди видов трав *Arctophila fulva*, *Saxifraga rivularis*, *Calamagrostis stricta*, *Luzula confusa*, *Juncus triglumis* (ПП 1–15%). В структуре напочвенного покрова доминируют мхи *Aulacomnium turgidum*, *Racomitrium lanuginosum*, *Dicranum elongatum* (ПП 50–70%), лишайники представлены *Alectoria ochroleuca*, *Gowardia nigricans*, *Flavocetraria nivalis*, *Cetrariella delisei*, *Cetraria nigricans* Nyl., *Cladonia uncialis*, *C. arbuscula*, *C. rangiferina*, *C. stygia*, *Thamnolia vermicularis* (ПП 30–50%), толщина покрова 2.5–4.5 см.

В сообществах бугристых болот произрастают *Salix polaris*, *Vaccinium vitis-idaea* (ПП кустарничков 20%); из трав представлены *Poa arctica*, *Carex brunnescens* (Pers.) Poir., *Rubus chamaemorus*, *Stellaria peduncularis* Bunge, *Draba nivalis* Lilj., *Luzula wahlenbergii* Rupr., *Senecio atropurpureus* (Ledeb.) B. Fedtsch. (ПП 25%). В напочвенном покрове доминируют мхи *Polytrichum strictum*, *Hylocomium splendens*, *Aulacomnium turgidum*, *A. palustre* (Hedw.) Schwägr., *Dicranum elongatum* (ПП до 70%), доля

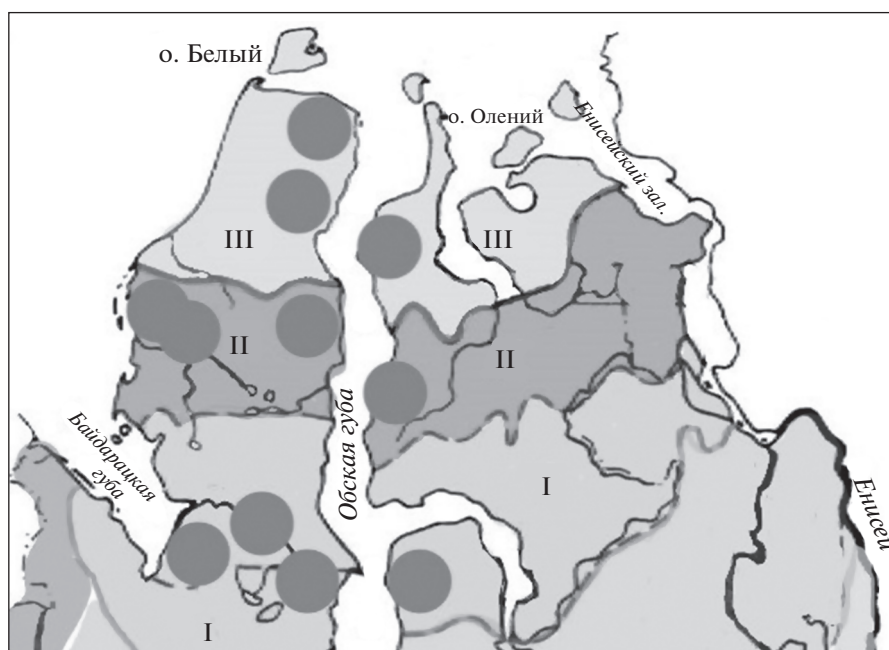


Рис. 1. Карта-схема ботанико-географического районирования территории и точек отбора образцов: I — южные субарктические тундры, II — северные субарктические тундры, III — арктические тундры.

Fig. 1. The scheme of tundra subzones and sampling points: I — shrub tundra, II — typical tundra, III — arctic tundra.

лишайников *Alectoria ochroleuca*, *Gowardia nigricans*, *Cladonia rangiferina*, *C. arbuscula*, *C. stygia*, *C. amaurocraea*, *Flavocetraria cucullata*, *Cetraria islandica*, *Cetrariella delisei*, *C. fastigiata* (Delise ex Nyl.) Kärnefelt et A. Thell, *Sphaerophorus globosus*, невелика (ПП до 25%), толщина покрова 4 см.

На обследованных территориях высоко разнообразие сообществ с доминированием лишайников, чаще всего это открытые местообитания, с куртинным кустарниковым ярусом и разной степенью заболоченности. Покров модельных видов в структуре напочвенного покрова обследованных территорий не превышало 25%.

Объектом исследований послужили ценные кормовые виды кустистых лишайников — *Cladonia arbuscula* (Wallr.) Flot., *C. rangiferina* (L.) F. H. Wigg., *C. stellaris* (Opiz) Pouzar & Vězda, *C. stygia* (Fr.) Ruoss. Образцы лишайников модельных видов отбирали в растительных сообществах тундровой зоны полуостровов Ямал и Гыдан (рис. 1).

При проведении исследований в течение вегетационных сезонов 2010–2014 гг. в 11 точках на территории полуострова Ямал и западного побережья полуострова Гыдан сделано 50 геоботанических описаний тундровых сообществ на участках площадью 100 м², а также 200 описаний мохово-лишайникового яруса (на площадках 25 × 25 см). В каждой подзоне были описаны фитоценозы с различной вертикальной и горизонтальной структурой.

Основные параметры структуры сообществ были включены в анализ для определения биотических факторов среды, оказывающих благоприятное влияние на рост лишайников в условиях интенсивных пастбищных нагрузок.

В ходе камеральных работ было промерено около 1500 лишайниковых подстеблей модельных видов. Подстебли измеряли в предельно увлажненном состоянии. С помощью электронного штангенциркуля (Garant 412618_150, точность измерений 0.01 мм) определяли высоту отдельных колен в пределах таллома [16]. Длину подстебля или его живой части определяли, как сумму длин колен, входящих в его состав, а регистрируемый возраст как количество этих колен.

В работе использованы два метода расчета прироста кустисто-разветвленных видов лишайников. По методу К.Н. Игошиной [17] прирост определяли как результат деления длины всего лишайникового подстебля на количество ветвлений. В результате получены усредненные данные о скорости роста лишайников за длительные промежутки времени от 5 до 25 лет, что наиболее полно характеризует потенциал прироста лишайников на территории исследования. С помощью метода В.Н. Андреева [18] определяли прирост живой части (отличается от отмершей части по цвету и плотности таллома), который может быть использован для оценки продукционного потенциала и охватывает наиболее близкие к моменту исследования сроки (6–13 лет). Этот способ наибо-

лее признан в мировом сообществе [19, 20]; его объективность подтверждена современными изотопными методами [21].

Выпас оленей меняет структуру напочвенного покрова, а, следовательно, влияет на прирост и высотно-возрастные параметры подстилки [7, 22]. Для оценки состояния лишайников на территориях, используемых для выпаса, а также опосредованной оценки пастбищной нагрузки и интенсивности стравливания и вытаптывания оленями лишайникового покрова был проведен расчет значений следующих параметров: общая длина и регистрируемый возраст подстилки и его живой части.

Общая длина подстилки имеет существенное значение при рассмотрении изменений в лишайниковом покрове, т. к. очень чутко реагирует на любые воздействия [18, 23].

Высота живой части — к росту способны только живые колена лишайников, чем больше длина живой части, тем выше скорость и потенциал роста [18] и именно этот показатель в сочетании с наличием/отсутствием мертвой части подстилки служит индикатором состояния лишайников на пастбищах [22].

Регистрируемый возраст подстилки позволяет определить средний возраст талломов в условиях ежегодного и ежесезонного пастбищного использования.

Регистрируемый возраст живой части позволяет определить, сколько лет в условиях тундровой зоны лишайниковые талломы способны к активному росту, фотосинтезу и продукции биомассы.

Определение толщины мохово-лишайникового покрова позволяет опосредованно оценить интенсивность пастбищного воздействия на растительный покров территории. В сильно нарушенных сообществах тундровой зоны высота напочвенного покрова незначительна (до 1 см), лишайниковые подстилки сильно повреждены, отмершая часть практически отсутствует. В сообществах с меньшей нагрузкой толщина покрова более 2 см, доля отмершей части незначительна.

Статистическую оценку значимости различий прироста и высотно-возрастных параметров модельных видов лишайников в разных подзонах и типах тундровых сообществ проводили с помощью одно- и двухфакторного дисперсионного анализа. Вклад биотических факторов среды в изменчивость скорости роста рассчитывали в ходе построения моделей методами множественной (с использованием forward-сортировки) или одномерной регрессии. При проверке статистических гипотез использовали 5%-ный уровень значимости.

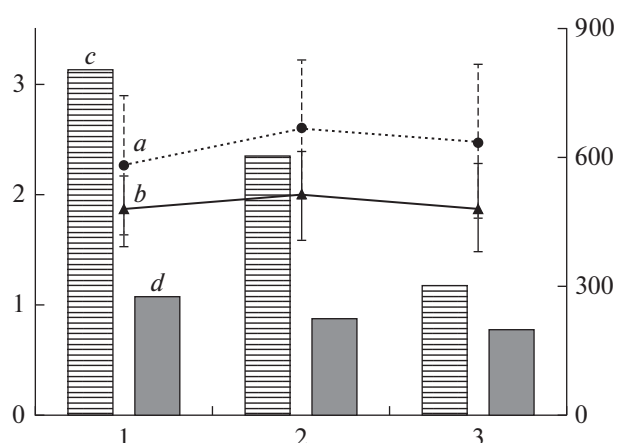


Рис. 2. Общий прирост (a) и прирост живой части (b) подстилки лишайников рода *Cladonia* в тундровой зоне полуостровов Ямал и Гыдан: 1 — южные субарктические тундры, 2 — северные субарктические тундры, 3 — арктические тундры.

По вертикали справа — скорость роста, мм/год. По вертикали слева — климатические параметры: c — сумма активных температур, °C; d — количество осадков, мм.

Fig. 2. Growth rate (a) and growth rate of the living part (b) of lichen podetium (*Cladonia* ssp.) in tundra zone of Yamal and Gydan peninsula: 1 — shrub tundra, 2 — typical tundra, 3 — arctic tundra.

Main Y-axis — growth rate, mm/year. The secondary Y-axis — climate parameters: c — sum of active temperatures, °C; d — precipitation, mm.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На территории исследования скорость роста кустисто-разветвленных лишайников варьирует в широких пределах от 1.2 до 6.3 мм/год (табл. 1).

В таежной зоне Западно-Сибирской равнины, в сообществах близких к коренным, прирост лишайников значительно уменьшается с юга на север [24]. Сходную картину мы предполагали увидеть в тундровых сообществах полуостровов Ямал и Гыдан, учитывая существенную протяженность и выраженную дифференциацию природных и климатических условий на территории исследования. Однако закономерных изменений средних значений скорости роста модельных видов в зональном градиенте не выявлено (рис. 2). Более того, в сообществах южных субарктических тундр отмечены наименьшие значения скорости роста кустисто-разветвленных лишайников ($p < 0.01$), вопреки ожидаемым наибольшим (табл. 1). Прирост живой части подстилки (табл. 1, рис. 2) на территории исследований варьирует в значительно меньших пределах: от 0.9 до 3.3 мм/год, подзональные различия средних значений данного параметра не выявлены ($p = 0.14$). Различия значений прироста подстилки и его живой части (на 25%) свидетельствуют, что потенциально скорость ро-

Таблица 1. Высотно-возрастные параметры подвидов кустисто-разветвленных лишайников рода *Cladonia* на пастбищах северного оленя в условиях разных подзон (п-ова Ямал и Гыдан)
Table 1. Growth rate, height and age variability of shrubby fruticose lichen podetium (*Cladonia* spp.) on domestic reindeer pastures in different subzones (Yamal and Gydan peninsulas)

Природная зона Tundra subzones	<i>Cladonia arbuscula</i>		<i>Cladonia rangiferina</i>		<i>Cladonia stygia</i>		<i>Cladonia stellaris</i>	Все виды All species	
	Mean ± SD (N)	min-max	Mean ± SD (N)	min-max	Mean ± SD (N)	min-max	Mean ± SD (N)	min-max	min-max
Прирост подтеция, мм/год Podetium growth rate, mm/year									
Южные субарктические тундры Southern (shrub) tundra	2.1 ± 0.3a (274)	1.7–3.0	2.1 ± 0.4a (196)	1.2–3.1	2.8 ± 1.0b (136)	1.3–6.3	2.0 ± 0.3a (92)	2.3 ± 0.6a (698)	1.2–6.3
Северные субарктические тундры (покров ~ 2 см) Northern (typical) tundra (lichen mat ~ 2 cm)	2.3 ± 0.5ab (141)	1.7–3.4	2.5 ± 0.4b (80)	1.9–3.4	3.6 ± 0.6c (33)	2.6–4.3	N/A	2.7 ± 0.7b (254)	1.7–4.3
Северные субарктические тундры (покров ~ 1 см) Northern (typical) tundra (lichen mat ~ 1 cm)	2.2 ± 0.4a (203)	1.6–3.0	2.3 ± 0.3a (117)	1.7–2.6	2.8 ± 0.6b (153)	2.1–4.3	N/A	2.5 ± 0.5ab (473)	1.6–4.3
Арктические тундры Arctic tundra	2.2 ± 0.4a (56)	1.8–2.6	2.2 ± 0.7a (42)	1.6–3.2	3.1 ± 0.8cb (44)	2.4–3.9	N/A	2.5 ± 0.7ab (142)	1.6–3.9
Прирост живой части подтеция, мм/год Growth rate of the living part of podetium, mm/year									
Южные субарктические тундры Southern (shrub) tundra	1.8 ± 0.2a	1.4–2.5	1.9 ± 0.3a	0.9–2.6	1.9 ± 0.5ab	1.2–2.9	1.8 ± 0.2a	1.9 ± 0.3a	0.9–2.9
Северные субарктические тундры (покров ~ 2 см) Northern (typical) tundra (lichen mat ~ 2 cm)	1.8 ± 0.4a	1.4–2.8	2.0 ± 0.3a	1.5–2.4	2.5 ± 0.5c	1.7–3.3	N/A	2.0 ± 0.5a	1.4–3.3
Северные субарктические тундры (покров ~ 1 см) Northern (typical) tundra (lichen mat ~ 1 cm)	1.7 ± 0.2a	1.2–1.9	1.9 ± 0.2a	1.5–2.2	2.1 ± 0.3bc	1.6–2.7	N/A	1.9 ± 0.3a	1.2–2.6
Арктические тундры Arctic tundra	1.7 ± 0.1a	1.5–1.8	1.8 ± 0.3a	1.4–2.1	2.3 ± 0.6abc	1.8–2.9	N/A	1.9 ± 0.4a	1.4–2.9
Общая длина подтеция, мм Height of podetium, mm									
Южные субарктические тундры Southern (shrub) tundra	28 ± 8a	16–48	26 ± 8a	9–51	35 ± 12 b	9–57	30 ± 9ab	29 ± 1a	9–57
Северные субарктические тундры (покров ~ 2 см) Northern (typical) tundra (lichen mat ~ 2 cm)	29 ± 9a	16–51	28 ± 7a	19–44	49 ± 16c	30–84	N/A	34 ± 14b	16–84
Северные субарктические тундры (покров ~ 1 см) Northern (typical) tundra (lichen mat ~ 1 cm)	30 ± 5a	23–39	33 ± 7b	22–42	40 ± 16bc	20–81	N/A	35 ± 11b	20–81
Арктические тундры Arctic tundra	33 ± 6a	24–37	38 ± 20b	21–67	39 ± 8bc	30–44	N/A	37 ± 12b	21–67

Таблица 1. Окончание / Table 1. Ending

Природная зона Tundra subzones	<i>Cladonia arbuscula</i>		<i>Cladonia rangiferina</i>		<i>Cladonia stygia</i>		<i>Cladonia stellaris</i>		Все виды All species	
	Mean $\pm$ SD (N)	min-max	Mean $\pm$ SD (N)	min-max	Mean $\pm$ SD (N)	min-max	Mean $\pm$ SD (N)	min-max	Mean $\pm$ SD (N)	min-max
Длина живой части подетия, мм Height of the living part of podetium, mm										
Южные субарктические тундры Southern (shrub) tundra	18 $\pm$ 4a ¹	11–28	18 $\pm$ 5a	7–29	16 $\pm$ 5a	7–28	21 $\pm$ 5a	14–26	18 $\pm$ 5a	7–29
Северные субарктические тундры (покров ~2 см) Northern (typical) tundra (lichen mat ~2 cm)	14 $\pm$ 4b	8–24	15 $\pm$ 3ab	11–19	18 $\pm$ 5c	12–31	N/A	N/A	16 $\pm$ 3b	13–22
Северные субарктические тундры (покров ~1 см) Northern (typical) tundra (lichen mat ~1 cm)	14 $\pm$ 2b	10–17	17 $\pm$ 3a	11–24	17 $\pm$ 4ab	13–24	N/A	N/A	16 $\pm$ 3b	10–24
Арктические тундры Arctic tundra	17 $\pm$ 1a	16–19	17 $\pm$ 4a	13–22	16 $\pm$ 1ab	11–17	N/A	N/A	17 $\pm$ 5b	8–31
Регистрируемый возраст подетия, лет Relative podetium age, years										
Южные субарктические тундры Southern (shrub) tundra	13 $\pm$ 2a	9–17	12 $\pm$ 2a	8–17	13 $\pm$ 4a	6–18	14 $\pm$ 2a	13–18	13 $\pm$ 3a	6–18
Северные субарктические тундры (покров ~2 см) Northern (typical) tundra (lichen mat ~2 cm)	12 $\pm$ 2a	10–15	11 $\pm$ 2a	8–15	14 $\pm$ 4a	11–21	N/A	N/A	12 $\pm$ 3b	8–21
Северные субарктические тундры (покров ~1 см) Northern (typical) tundra (lichen mat ~1 cm)	13 $\pm$ 1ab	11–15	14 $\pm$ 3b	10–21	14 $\pm$ 3ab	9–19	N/A	N/A	14 $\pm$ 2b	9–21
Арктические тундры Arctic tundra	15 $\pm$ 2b	14–16	16 $\pm$ 3b	14–21	12 $\pm$ 2ab	11–14	N/A	N/A	15 $\pm$ 3b	11–21
Регистрируемый возраст живой части подетия, лет Relative age of the living part of podetium, years										
Южные субарктические тундры Southern (shrub) tundra	10 $\pm$ 1a	8–13	9 $\pm$ 1a	7–12	8 $\pm$ 1b	6–10	12 $\pm$ 2c	9–14	7 $\pm$ 1a	5–10
Северные субарктические тундры (покров ~2 см) Northern (typical) tundra (lichen mat ~2 cm)	8 $\pm$ 1b	6–10	8 $\pm$ 1ab	6–10	8 $\pm$ 1b	6–10	N/A	N/A	9 $\pm$ 2b	6–14
Северные субарктические тундры (покров ~1 см) Northern (typical) tundra (lichen mat ~1 cm)	8 $\pm$ 1b	7–10	9 $\pm$ 1ab	7–12	8 $\pm$ 1b	7–9	N/A	N/A	8 $\pm$ 1bc	6–10
Арктические тундры Arctic tundra	10 $\pm$ 1a	9–10	10 $\pm$ 1a	8–11	7 $\pm$ 1b	6–8	N/A	N/A	8 $\pm$ 1ac	7–12

Примечание. (N) — количество измеренных подетиев; ¹ — значимо различающиеся значения параметров отмечены индексами, не содержащими одинаковых букв; N/A — нет данных.

Note. (N) — number of measured podetia; ¹ — significantly different parameter values are marked with different letter indices; N/A — data not available.

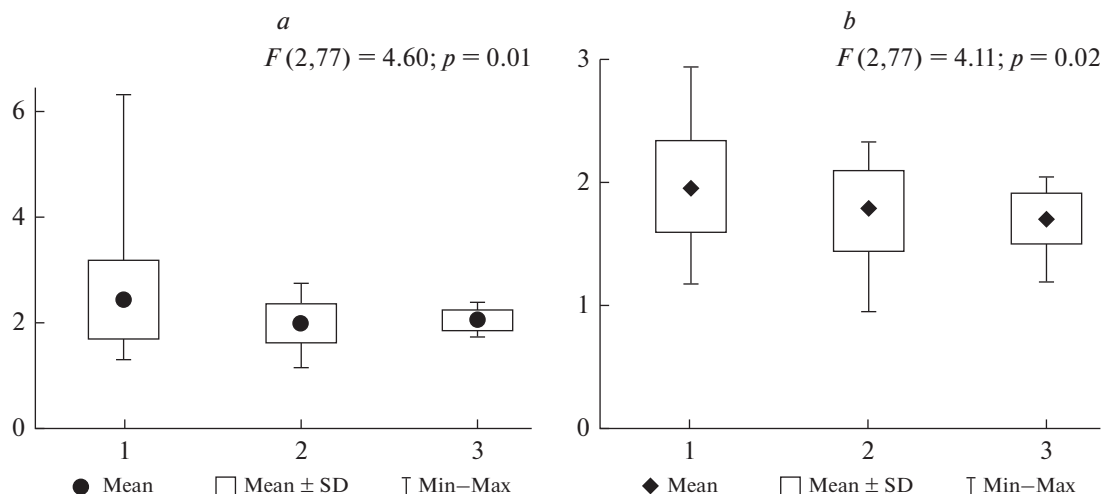


Рис. 3. Прирост кустисто-разветвленных лишайников (*a* — всего подеция, *b* — прирост живой части подеция) в экологическом ряду сообществ южных субарктических тундр: 1 — кустарниковые тундры, 2 — открытые тундры, 3 — бугристые болота.

По вертикали — скорость роста, мм/год.

Fig. 3. Growth rate of shrubby fruticose lichens (*a* — podetium growth rate, *b* — growth rate of the living part of podetium) in different types of shrub tundra subzone plant communities: 1 — shrub tundra, 2 — exposed tundra, 3 — hummock bogs.

Y-axis — growth rate, mm/year.

ста лишайниковых талломов выше, чем характерная для последнего десятилетия.

Длина подециев модельных видов в южных субарктических тундрах в среднем на 20% ниже, чем в северных субарктических и арктических ($p = 0.01$). Закономерных изменений длины живой части подециев в градиенте исследованных подзональных единиц не выявлено. Она является более высокой ($p < 0.05$) в южных субарктических и арктических тундрах (табл. 1).

Средние значения регистрируемого возраста подеция и его живой части незначительно варьируют в градиенте “юг—север” (табл. 1). Наибольший разброс значений высотно-возрастных параметров лишайниковых подециев выявлен в сообществах северных субарктических тундр, где исследованы участки с различной высотой мохово-лишайникового яруса и интенсивностью нагрузки.

Из числа изученных модельных видов у *C. stellaris* выявлены максимальные значения возраста живой части подеция, среди других изученных видов (табл. 1). Для *C. stygia* характерны максимальные значения скорости роста подеция, а также длины подециев.

На территории лесотундры Западной Сибири структура растительных сообществ оказывает существенное влияние на ростовые процессы у напочвенных лишайников [16]. Наиболее значимыми биотическими факторами, влияющими на прирост лишайниковых талломов в условиях тундровой зоны и подзоны лесотундры, являются высота и сомкнутость кустарникового яруса, а

также структура и толщина напочвенного покрова [18, 25, 26]. Результатом многих десятилетий выпаса домашнего северного оленя стала трансформация видового состава и структуры сообществ, а также толщины лишайникового покрова [2]. Этот фактор может оказывать значительное влияние на скорость роста лишайников и варьирование данного параметра в изученных градиентах.

В полосе южных субарктических тундр прирост кустисто-разветвленных лишайников варьирует в пределах от 1.2 до 6.3 мм/год, скорость роста живой части подеция составляет 0.9–2.9 мм/год (табл. 2). Во всем многообразии изученных фитоценозов значимых различий среднего прироста лишайников не выявлено ($p = 0.19$). Однако при анализе рассматриваемого экологического ряда сообществ показано (табл. 2, рис. 3), что в кустарниковых тундрах модельные виды лишайников растут значимо быстрее ($p < 0.05$). Различия прироста живой части и подециев в целом в болотных фитоценозах и открытых тундровых сообществах (3–4%) статистически незначимы. Единственным биотическим фактором, оказывающим положительное влияние на скорость роста модельных видов лишайников в сообществах южных тундр Ямала и Гыдана, является сомкнутость кустарников, объясняющая около 20% дисперсии прироста ($p < 0.01$). Регистрируемый возраст подеция и его живой части в рассматриваемом экологическом ряду не меняются (табл. 2).

В условиях пастбищной деградации растительных сообществ полосы южных субарктических тундр практически во всех единицах эко-

Таблица 2. Высотно-возрастные параметры подвидов кустисто-разветвленных лишайников рода *Cladonia* в разных типах сообществ южных субарктических тундр**Table 2.** Growth rate, height and age variability of shrubby fruticose lichen podetium (*Cladonia* spp.) in southern (shrub) tundra communities

Вид/Экологический ряд сообществ Species /Types of plant communities	<i>Cladonia arbuscula</i>		<i>Cladonia rangiferina</i>		<i>Cladonia stygia</i>		<i>Cladonia stellaris</i>		Все виды All species	
	Mean $\pm$ SD (N)	min-max	Mean $\pm$ SD (N)	min-max	Mean $\pm$ SD (N)	min-max	Mean $\pm$ SD (N)	min-max	Mean $\pm$ SD (N)	min-max
Приrost подтеция, мм/год Podetium growth rate, mm/year										
Кустарниковые тундры Shrub tundra	2.2 $\pm$ 0.4a (113)	1.8–3.0	2.3 $\pm$ 0.3a (98)	1.7–3.1	2.9 $\pm$ 1.1c (56)	1.3–6.3	2.1 $\pm$ 0.3a (48)	1.8–2.4	2.4 $\pm$ 0.7a (315)	1.3–6.3
	2.0 $\pm$ 0.4b (98)	1.2–2.4	1.9 $\pm$ 0.2b (47)	2.3–2.7	2.5 $\pm$ 0.3bc (38)	1.7–2.3	1.8 $\pm$ 0.0ab (44)	1.8–1.9	2.0 $\pm$ 0.4b (227)	1.2–2.7
	2.0 $\pm$ 0.1b (63)	1.8–2.1	2.1 $\pm$ 0.2ab (51)	1.9–2.3	2.1 $\pm$ 0.3b (42)	1.8–2.3	N/A	N/A	2.1 $\pm$ 0.2b (156)	1.8–2.3
Приrost живой части подтеция, мм/год Growth rate of the living part of podetium, mm/year										
Кустарниковые тундры Shrub tundra	1.9 $\pm$ 0.3a	1.4–2.5	1.9 $\pm$ 0.3a	1.6–2.6	2.1 $\pm$ 0.5a	1.2–2.9	1.8 $\pm$ 0.2a	1.6–2.0	2.0 $\pm$ 0.4a	1.2–2.9
	1.8 $\pm$ 0.5a	0.9–2.3	1.7 $\pm$ 0.2b	1.9–2.1	2.0 $\pm$ 0.1a	1.6–2.1	1.7 $\pm$ 0.0a	1.7–1.8	1.8 $\pm$ 0.3b	0.9–2.3
	1.7 $\pm$ 0.1a	1.5–1.8	1.8 $\pm$ 0.1ab	1.7–2.0	1.4 $\pm$ 0.2a	1.2–1.6	N/A	N/A	1.7 $\pm$ 0.2b	1.2–2.0
Общая длина подтеция, мм Height of podetium, mm										
Кустарниковые тундры Shrub tundra	28 $\pm$ 8a	20–48	32 $\pm$ 8a	18–51	35 $\pm$ 13a	9–57	32 $\pm$ 10a	25–43	32 $\pm$ 10a	9–57
	21 $\pm$ 8b	9–33	23 $\pm$ 7b	32–46	39 $\pm$ 9ab	16–39	23 $\pm$ 0b	22–23	24 $\pm$ 9b	9–46
	26 $\pm$ 4ab	21–31	26 $\pm$ 5ab	21–35	27 $\pm$ 8a	19–32	N/A	N/A	26 $\pm$ 5ab	19–35

Таблица 2. Окончание / Table 2. Ending

Вид/Экологический ряд сообществ Species /Types of plant communities	<i>Cladonia arbuscula</i>		<i>Cladonia rangiferina</i>		<i>Cladonia stygia</i>		<i>Cladonia stellaris</i>		Все виды All species	
	Mean $\pm$ SD (N)	min-max	Mean $\pm$ SD (N)	min-max	Mean $\pm$ SD (N)	min-max	Mean $\pm$ SD (N)	min-max	Mean $\pm$ SD (N)	min-max
Длина живой части подтепия, мм Height of the living part of podetium, mm										
Кустарниковые тундры Shrub tundra	19 $\pm$ 4a	11-28	20 $\pm$ 5a	13-29	17 $\pm$ 6a	7-28	22 $\pm$ 6a	14-26	19 $\pm$ 5a	7-29
Открытые тундровые сообщества Exposed tundra	15 $\pm$ 6b	7-22	17 $\pm$ 3a	15-19	16 $\pm$ 3ab	14-22	21 $\pm$ 0a	20-21	16 $\pm$ 4a	7-22
Бугристые болота Hummock bogs	17 $\pm$ 2ab	14-21	19 $\pm$ 4a	15-24	11 $\pm$ 2b	9-14	N/A	N/A	17 $\pm$ 4a	9-24
Регистрируемый возраст подтепия, лет Relative podetium age, years										
Кустарниковые тундры Shrub tundra	13 $\pm$ 2a	11-17	12 $\pm$ 4a	10-17	14 $\pm$ 2a	6-18	5 $\pm$ 2a	13-18	13 $\pm$ 3a	6-18
Открытые тундровые сообщества Exposed tundra	10 $\pm$ 3b	8-15	12 $\pm$ 2ab	14-16	15 $\pm$ 2ab	9-17	13 $\pm$ 0ab	13-14	12 $\pm$ 3a	8-17
Бугристые болота Hummock bogs	13 $\pm$ 1a	12-15	12 $\pm$ 2a	11-15	13 $\pm$ 2a	11-14	N/A	N/A	13 $\pm$ 1a	11-15
Регистрируемый возраст живой части подтепия, лет Relative age of the living part of podetium, years										
Кустарниковые тундры Shrub tundra	9 $\pm$ 1a	8-13	10 $\pm$ 2a	7-12	8 $\pm$ 1a	6-10	12 $\pm$ 3b	9-14	9 $\pm$ 2a	6-14
Открытые тундровые сообщества Exposed tundra	8 $\pm$ 1a	7-10	9 $\pm$ 2a	7-10	9 $\pm$ 1a	8-12	12 $\pm$ 0b	12-13	9 $\pm$ 1a	7-12
Бугристые болота Hummock bogs	10 $\pm$ 1a	9-11	10 $\pm$ 1a	9-12	8 $\pm$ 1a	7-8	N/A	N/A	10 $\pm$ 1a	7-12

Примечание. (N) – количество измеренных подтепий; ¹ – значимо различающиеся значения параметров отмечены индексами, не содержащими одинаковых букв; N/A – нет данных.
Note. (N) – number of measured podetia; ¹ – significantly different parameter values are marked with different letter indices; N/A – data not available.

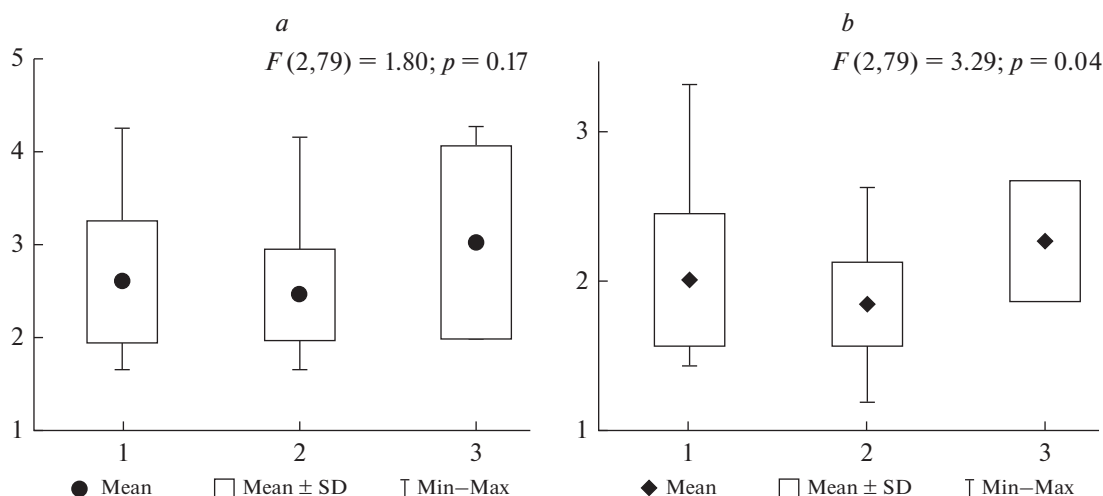


Рис. 4. Прирост кустисто-разветвленных лишайников (*a* — всего подеция, *b* — прирост живой части подеция) в экологическом ряду сообществ северных субарктических тундр: 1 — кустарниковые тундры, 2 — открытые тундры, 3 — бугристые болота.

По вертикали — скорость роста, мм/год.

Fig. 4. Growth rate of shrubby fruticose lichens (*a* — podetium growth rate, *b* — growth rate of the living part of podetium) in different types of typical tundra subzone plant communities in: 1 — shrub tundra, 2 — exposed tundra, 3 — hummock bogs.

Y-axis — growth rate, mm/year.

гического ряда для *C. stygia* характерны более высокие значения прироста и общей высоты подециев. Однако значимыми являются только различия прироста в кустарниковых тундрах ($p = 0.03$). Для *C. stellaris* характерны значимо более высокие показатели регистрируемого возраста живой части подеция ($p < 0.05$). Различия высотно-возрастных параметров *C. arbuscula* и *C. rangiferina* в пределах экологического ряда незначительны.

В полосе северных субарктических тундр прирост кустисто-разветвленных лишайников варьирует в пределах от 1.6 до 4.3 мм/год, прирост живой части подеция — от 1.2 до 3.3 мм/год (табл. 3). Значимых различий в скорости роста подециев во всем разнообразии изученных фитоценозов и в рассматриваемом экологическом ряду (рис. 4) не выявлено. Несколько более высокие значения ($p < 0.05$) прироста живой части подециев отмечены в сообществах бугристых болот по сравнению с кустарниковыми и открытыми тундрами.

Скорость роста живой части подециев модельных видов различается в ряду: болотные комплексы — кустарниковые тундры — открытые тундровые сообщества. В последних она на 10–20% ниже ($p < 0.05$). Остальные высотно-возрастные параметры в исследованном экологическом ряду значимо не различаются (табл. 3).

В условиях пастбищной эксплуатации в сообществах северных субарктических тундр выявлен единственный значимый фактор биотической среды, оказывающий влияние на прирост лишайников — толщина мохово-лишайникового яруса. При этом с увеличением пастбищных нагрузок

вклад этого фактора в варьирование прироста возрастает с 6 до 28% ($p < 0.01$).

Из числа модельных видов наибольшие значения изученных параметров (за исключением возрастных) выявлены у *C. stygia* в кустарниковых тундрах ($p < 0.01$), где она растет в среднем на 30–50% быстрее, чем другие виды (табл. 3). Общая скорость роста *C. arbuscula* и *C. rangiferina* в изученных экологических группах сообществ значимо не различается. Скорость роста живой части подециев этих видов имеет значимое различие в открытых тундровых сообществах, но оно не превышает 12%.

В подзоне арктических тундр прирост кустисто-разветвленных лишайников варьирует в диапазоне 1.6–4.1 мм/год, живой части 1.4–2.9 мм/год (табл. 4). Более высокие значения общего прироста и прироста живой части подециев (на 45–85%) отмечены в сообществах бугристых болот ($p < 0.01$). В лишайниковых и пятнистых тундрах значимых различий скорости роста лишайников не выявлено (рис. 5).

Толщина и структура напочвенного покрова значимо влияет на прирост кустисто-разветвленных лишайников. Толщиной лишайникового покрова объясняется 50% дисперсии прироста ($p = 0.01$), долей мхов в структуре напочвенного покрова — 45% ($p = 0.01$). Однако незначительная доля отмерших частей подециев свидетельствует о высокой уязвимости лишайников в условиях арктических тундр Ямала и Гыдана.

Значения высотно-возрастных параметров лишайниковых подециев у разных модельных видов

Таблица 3. Высотно-возрастные параметры подециев кустисто-разветвленных лишайников рода *Cladonia* в разных типах сообществ северных субарктических тундр**Table 3.** Growth rate, height and age variability of shrubby fruticose lichen podetium (*Cladonia* ssp.) in northern (typical) tundra communities

Вид/Экологический ряд сообществ Species/Types of plant communities	<i>Cladonia arbuscula</i>		<i>Cladonia rangiferina</i>		<i>Cladonia stygia</i>		Все виды All species	
	Mean $\pm$ SD (N)	min–max	Mean $\pm$ SD (N)	min–max	Mean $\pm$ SD (N)	min–max	Mean $\pm$ SD (N)	min–max
Прирост подеция, мм/год Podetium growth rate, mm/year								
Кустарниковые тундры Shrub tundra	2.2 $\pm$ 0.4a (129)	1.7–3.4	2.4 $\pm$ 0.4a (71)	1.7–3.4	3.4 $\pm$ 0.6b (52)	2.6–4.3	2.6 $\pm$ 0.7a (252)	1.7–4.3
Открытые тундровые сообщества Exposed tundra	2.3 $\pm$ 0.4a (215)	1.6–3.0	2.4 $\pm$ 0.3ab (95)	2.0–3.0	2.8 $\pm$ 0.6b (96)	2.2–4.1	2.5 $\pm$ 0.5a (406)	1.6–4.1
Бугристые болота Hummock bogs	N/A	N/A	2.3 $\pm$ 0.1ab (31)	2.2–2.4	3.3 $\pm$ 1.1b (38)	2.1–4.3	3.0 $\pm$ 1.0a (69)	2.1–4.3
Прирост живой части подеция, мм/год Growth rate of the living part of podetium, mm/year								
Кустарниковые тундры Shrub tundra	1.8 $\pm$ 0.4a	1.4–2.8	1.9 $\pm$ 0.2ab	1.5–2.4	2.4 $\pm$ 0.5b	1.7–3.3	2.0 $\pm$ 0.4b	1.4–3.3
Открытые тундровые сообщества Exposed tundra	1.7 $\pm$ 0.2a	1.2–2.0	1.9 $\pm$ 0.3b	1.5–2.4	2.0 $\pm$ 0.2b	1.6–2.3	1.8 $\pm$ 0.3a	1.2–2.4
Бугристые болота Hummock bogs	N/A	N/A	2.0 $\pm$ 0.2b	1.9–2.1	2.4 $\pm$ 0.4b	1.9–2.6	2.3 $\pm$ 0.4b	1.9–2.6
Длина подеция, мм Height of podetium, mm								
Кустарниковые тундры Shrub tundra	28 $\pm$ 9a	16–51	30 $\pm$ 8a	19–44	48 $\pm$ 16b	30–84	34 $\pm$ 14a	16–84
Открытые тундровые сообщества Exposed tundra	31 $\pm$ 6a	22–40	33 $\pm$ 8a	19–42	36 $\pm$ 9ab	20–45	32 $\pm$ 7a	19–45
Бугристые болота Hummock bogs	N/A	N/A	23 $\pm$ 7a	18–28	54 $\pm$ 27ab	26–81	46 $\pm$ 27a	23–81
Длина живой части подеция, мм Height of the living part of podetium, mm								
Кустарниковые тундры Shrub tundra	14 $\pm$ 4a	10–24	16 $\pm$ 3ab	11–21	19 $\pm$ 5c	12–31	16 $\pm$ 4a	10–31
Открытые тундровые сообщества Exposed tundra	14 $\pm$ 3a	8–17	17 $\pm$ 4b	11–24	15 $\pm$ 2ac	13–17	15 $\pm$ 3a	8–24
Бугристые болота Hummock bogs	N/A	N/A	15 $\pm$ 0b	14–15	19 $\pm$ 3bc	17–22	18 $\pm$ 3a	15–22
Регистрируемый возраст подеция, лет Relative podetium age, years								
Кустарниковые тундры Shrub tundra	12 $\pm$ 2a	10–15	12 $\pm$ 2a	8–15	14 $\pm$ 3a	11–21	13 $\pm$ 3a	8–21
Открытые тундровые сообщества Exposed tundra	13 $\pm$ 2a	10–15	14 $\pm$ 4a	8–21	13 $\pm$ 3a	9–16	13 $\pm$ 2a	8–21
Бугристые болота Hummock bogs	N/A	N/A	10 $\pm$ 3a	8–12	16 $\pm$ 3a	13–19	14 $\pm$ 4a	10–19

Таблица 3. Окончание / Table 3. Ending

Вид/Экологический ряд сообществ Species/Types of plant communities	<i>Cladonia arbuscula</i>		<i>Cladonia rangiferina</i>		<i>Cladonia stygia</i>		Все виды All species	
	Mean $\pm$ SD (N)	min–max	Mean $\pm$ SD (N)	min–max	Mean $\pm$ SD (N)	min–max	Mean $\pm$ SD (N)	min–max
	Регистрируемый возраст живой части подетия, лет Relative age of the living part of podetium, years							
Кустарниковые тундры Shrub tundra	8 $\pm$ 1a	6–10	8 $\pm$ 1a	6–10	8 $\pm$ 1a	6–10	8 $\pm$ 1a	7–9
Открытые тундровые сообщества Exposed tundra	8 $\pm$ 1a	6–10	9 $\pm$ 2a	7–12	7 $\pm$ 1a	6–8	8 $\pm$ 1a	6–10
Бугристые болота Hummock bogs	N/A	N/A	8 $\pm$ 1a	7–8	8 $\pm$ 1a	7–9	8 $\pm$ 1a	6–12

Примечание. (N) – количество измеренных подетиев; ¹ – значимо различающиеся значения параметров отмечены индексами, не содержащими одинаковых букв; N/A – нет данных.

Note. (N) – number of measured podetia; ¹ – significantly different parameter values are marked with different letter indices; N/A – data not available.

не имеют значимых различий в зависимости от условий местообитания (табл. 4).

Таким образом, в современных условиях на пастбищных территориях полуостровов Ямал и Гыдан не выявлено существенного снижения прироста кустисто-разветвленных видов лишайников рода *Cladonia* с юга на север. Эту закономерность можно объяснить двумя основными причинами: 1) гидротермические условия произрастания лишайников во всей тундровой зоне предельно суровые и их изменение с юга на север

не оказывает значимого влияния; 2) мощное антропогенное воздействие перекрывает влияние климатических факторов и нивелирует подзональные различия прироста лишайников. Значимое снижение прироста лишайников в полосе южных субарктических тундр, относительно северных субарктических и арктических тундр, можно объяснить интенсивным использованием территории, не только как весенних, летних и осенних пастбищ, но и как прогонных путей к северным районам. Это может свидетельствовать о

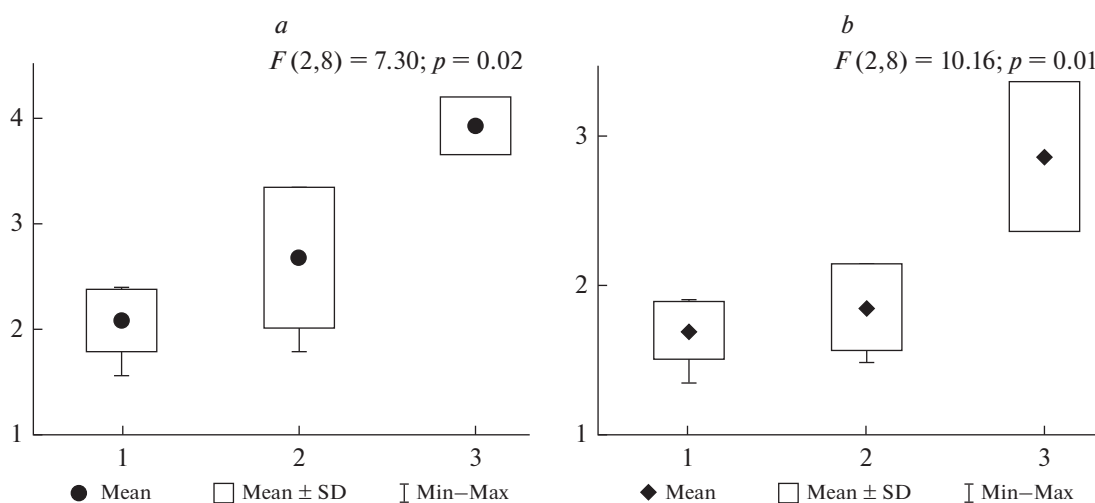


Рис. 5. Прирост кустисто-разветвленных лишайников (a – всего подетия, b – прирост живой части подетия) в экологическом ряду сообществ арктических тундр: 1 – кустарничково-лишайниковые тундры, 2 – пятнистые травяно-мохово-лишайниковые тундры, 3 – бугристые болота.

По вертикали – скорость роста, мм/год.

Fig. 5. Growth rate of shrubby fruticose lichens (a – podetium growth rate, b – growth rate of the living part of podetium) in different types of arctic tundra subzone plant communities: 1 – dwarf shrub-lichen tundra, 2 – spotty grass-moss-lichen tundra, 3 – hummock bogs.

Y-axis – growth rate, mm/year.

Таблица 4. Высотно-возрастные параметры подециев кустисто-разветвленных лишайников рода *Cladonia* в разных типах сообществ арктических тундр**Table 4.** Growth rate, height and age variability of shrubby fruticose lichen podetium (*Cladonia* ssp.) in arctic tundra communities

Вид/Экологический ряд сообществ Species/Types of plant communities	<i>Cladonia arbuscula</i>		<i>Cladonia rangiferina</i>		<i>Cladonia stygia</i>		Все виды All species	
	Mean $\pm$ SD (N)	min–max	Mean $\pm$ SD (N)	min–max	Mean $\pm$ SD (N)	min–max	Mean $\pm$ SD (N)	min–max
Прирост подеция, мм/год Podetium growth rate, mm/year								
Кустарничково-лишайниковые тундры Dwarf shrub-lichen tundra	2.2 $\pm$ 0.1a (27)	2.2–2.2	1.9 $\pm$ 0.3a (14)	1.6–2.2	2.4 $\pm$ 0.6a (15)	1.9–3.4	2.1 $\pm$ 0.3a (56)	1.6–2.4
Пятнистые травяно-мохово-лишайниковые тундры Spotty grass-moss-lichen tundra	2.2 $\pm$ 0.6a (29)	1.8–2.6	3.2 $\pm$ 0.0a (28)	3.1–3.2	3.1 $\pm$ 0.5a (17)	2.6–4.1	2.7 $\pm$ 0.7a (74)	1.8–3.2
Бугристые болота Hummock bogs	N/A	N/A	N/A	N/A	3.9 $\pm$ 0.3a (12)	3.7–4.1	3.9 $\pm$ 0.3b (12)	3.7–4.1
Прирост живой части подеция, мм/год Growth rate of the living part of podetium, mm/year								
Кустарничково-лишайниковые тундры Dwarf shrub-lichen tundra	1.8 $\pm$ 0.1a	1.7–1.8	1.6 $\pm$ 0.3a	1.4–1.9	1.8 $\pm$ 0.4a	1.3–2.4	1.7 $\pm$ 0.2a	1.4–1.9
Пятнистые травяно-мохово-лишайниковые тундры Spotty grass-moss-lichen tundra	1.6 $\pm$ 0.2a	1.5–1.7	2.1 $\pm$ 0.0a	2.0–2.1	2.1 $\pm$ 0.5a	1.4–3.2	1.9 $\pm$ 0.3a	1.5–2.1
Бугристые болота Hummock bogs	N/A	N/A	N/A	N/A	2.9 $\pm$ 0.5a	2.5–3.2	2.9 $\pm$ 0.5b	2.5–3.2
Общая длина подеция, мм Height of podetium, mm								
Кустарничково-лишайниковые тундры Dwarf shrub-lichen tundra	36 $\pm$ 1a	35–37	29 $\pm$ 8a	21–37	30 $\pm$ 15a	15–58	31 $\pm$ 6a	21–37
Пятнистые травяно-мохово-лишайниковые тундры Spotty grass-moss-lichen tundra	30 $\pm$ 8a	24–36	67 $\pm$ 0a	66–67	44 $\pm$ 12a	24–69	43 $\pm$ 18a	24–67
Бугристые болота Hummock bogs	N/A	N/A	N/A	N/A	43 $\pm$ 14a	33–53	43 $\pm$ 14a	33–53
Длина живой части подеция, мм Height of the living part of podetium, mm								
Кустарничково-лишайниковые тундры Dwarf shrub-lichen tundra	18 $\pm$ 1a	17–19	16 $\pm$ 5a	13–22	14 $\pm$ 6a	7–24	17 $\pm$ 3a	13–22
Пятнистые травяно-мохово-лишайниковые тундры Spotty grass-moss-lichen tundra	15 $\pm$ 1a	15–16	19 $\pm$ 0a	18–19	16 $\pm$ 5a	7–23	16 $\pm$ 2a	15–19
Бугристые болота Hummock bogs	N/A	N/A	N/A	N/A	17 $\pm$ 1a	16–18	17 $\pm$ 1a	16–18
Регистрируемый возраст подеция, лет Relative lichen podetium age, year								
Кустарничково-лишайниковые тундры Dwarf shrub-lichen tundra	16 $\pm$ 0a	16–17	15 $\pm$ 2a	14–17	12 $\pm$ 3ab	7–17	15 $\pm$ 2a	12–17
Пятнистые травяно-мохово-лишайниковые тундры Spotty grass-moss-lichen tundra	14 $\pm$ 0b	14–15	21 $\pm$ 0a	21–22	14 $\pm$ 3b	9–19	16 $\pm$ 4a	14–21
Бугристые болота Hummock bogs	N/A	N/A	N/A	N/A	11 $\pm$ 3b	9–13	11 $\pm$ 3a	9–13

Таблица 4. Окончание / Table 4. Ending

Вид/Экологический ряд сообществ Species/Types of plant communities	<i>Cladonia arbuscula</i>		<i>Cladonia rangiferina</i>		<i>Cladonia stygia</i>		Все виды All species	
	Mean $\pm$ SD (N)	min–max	Mean $\pm$ SD (N)	min–max	Mean $\pm$ SD (N)	min–max	Mean $\pm$ SD (N)	min–max
	Регистрируемый возраст живой части подтедия, лет Relative age of the living part of podetium, year							
Кустарничково-лишайниковые тундры Dwarf shrub-lichen tundra	10 $\pm$ 0a	10–11	10 $\pm$ 2a	8–11	8 $\pm$ 2a	5–10	10 $\pm$ 1a	8–11
Пятнистые травяно-мохово-лишайниковые тундры Spotty grass-moss-lichen tundra	9 $\pm$ 1a	9–10	9 $\pm$ 0a	9–10	7 $\pm$ 2a	5–9	9 $\pm$ 1a	7–10
Бугристые болота Hummock bogs	N/A	N/A	N/A	N/A	6 $\pm$ 1a	5–7	6 $\pm$ 1b	5–7

Примечание. (N) – количество измеренных подтедиев; ¹ – значимо различающиеся значения параметров отмечены индексами, не содержащими одинаковых букв; N/A – нет данных.

Note. (N) – number of measured podetia; ¹ – significantly different parameter values are marked with different letter indices; N/A – data not available.

высокой значимости не только стравливания, но и вытаптывания, как факторов, влияющих на скорость роста лишайников кормовых видов.

Вывод о высокой антропогенной нагрузке на сообщества южных субарктических тундр подтверждает также результат анализа изменения длины подтедиев модельных видов, показывающий значимое снижение величины данного параметра в полосе кустарниковых тундр. В тоже время в арктических тундрах, для которых характерны наиболее суровые природно-климатические условия, отмечена довольно значительная длина подтедиев и их живой части. Этот факт может свидетельствовать о меньшей пастбищной эксплуатации данных территорий по сравнению с субарктическими тундрами. Кроме того, наибольшие средние значения высоты живой части подтедия в сообществах южных субарктических тундр свидетельствуют о более высоком потенциале роста и продуктивности лишайников на этой территории, который не может быть реализован в условиях антропогенного воздействия.

Для сообществ северных субарктических тундр характерна различная интенсивность пастбищной нагрузки и высокая вариабельность показателей толщины мохово-лишайникового покрова, что является причиной наибольшего разброса значений высотно-возрастных параметров лишайниковых подтедиев. Кроме того, лишайники этих фитоценозов находятся на стадии наибольшей продуктивности [18], что подтверждают наименьшие значения длины живой части подтедия и наибольшие значения общего прироста.

Наиболее стабильный показатель состояния лишайниковых подтедиев – это регистрируемый возраст живой части подтедия, не зависящий ни от

природно-климатических условий, ни от степени антропогенного воздействия, ни от видовой принадлежности. Продолжительность жизни лишайниковых талломов обусловлена внутренними физиологическими процессами взаимодействия фото- и микобионта [27, 28].

В фитоценотическом градиенте наибольшая скорость роста подтедия или живой части модельных видов лишайников выявлена в сообществах кустарниковых тундр (южные субарктические тундры) и бугристых болот (северные субарктические и арктические тундры). Выраженный кустарниковый ярус в полосе южных субарктических тундр выполняет защитную функцию, снижая иссушающее влияние ветров на напочвенный покров и лишайники, что оказывает положительное влияние на прирост подтедиев. Кроме того зеленые корма и листва кустарников в летнее время более предпочтительны для оленей, что снижает отрицательное влияние стравливания лишайникового покрова. Однако в сообществах северных субарктических тундр низкорослые кусты [2] образуют фрагментарный ярус, который не оказывает положительного влияния на состояние напочвенного покрова и ростовые процессы лишайников. Болотные фитоценозы подвержены меньшей пастбищной эксплуатации, а сомкнутый, имеющий большую толщину моховой покров поддерживает значительную степень увлажнения талломов лишайников. В результате лишайниковые подтедии лучше сохраняются при механических нагрузках и достигают довольно высоких значений общей скорости роста или скорости роста живой части особенно в подзоне арктических тундр.

В сообществах северных субарктических и арктических тундр важным биотическим фактором

среды, положительно влияющим на ростовые процессы лишайников, является хорошо сформированный мохово-лишайниковый покров с мощным отмершим слоем, который поддерживает подходящие для роста лишайников микроклиматические условия.

У *C. stygia* выявлены максимальные значения скорости роста подтепия и его живой части, а также длины подтепиев, что характеризует данный вид как наиболее устойчивый к пастбищной нагрузке. Наименьший регистрируемый возраст живой части подтепия подтверждает наше предположение о наибольшем восстановительном потенциале этого вида, т.к. он достигает наибольших значений прироста за более короткий период жизни подтепия. В болотных фитоценозах и кустарниковых тундрах данный вид растет быстрее, т.к. наиболее требователен к условиям увлажнения [29].

C. stellaris в 30-е годы XX-го столетия считали одним из доминирующих видов на полуострове в составе лишайниковых тундр [30], однако в настоящее время он практически исчез в результате антропогенных нагрузок [9, 10, 30–33]. Прирост у *C. stellaris* в современных условиях не отличается от прироста *C. arbuscula* и *C. rangiferina* и меньше чем у *C. stygia*. Однако у *C. stellaris* выявлены достаточно большие значения высоты и возраста живой части подтепия, что может свидетельствовать о высоком потенциале роста и продуктивности, а значит *C. stellaris* может занимать доминирующие позиции в структуре напочвенного покрова при отсутствии механического воздействия.

ВЫВОДЫ

1. В современных условиях на территории полуостровов Ямал и Гыдан высотно-возрастные параметры кустисто-разветвленных лишайников рода *Cladonia* варьируют в широких пределах.

2. Не выявлено значимого снижения прироста лишайников при переходе от южных субарктиче-

ских тундр к арктическим, несмотря на изменения гидротермических условий с юга на север. Минимальные значения прироста выявлены в южных субарктических тундрах.

3. Наибольшие величины прироста лишайниковых подтепиев выявлены в кустарниковых тундрах (южные субарктические тундры) и сообществах болот (северные субарктические тундры и арктические тундры).

4. Значимыми биотическими факторами среды, влияющими на прирост лишайников, являются сомкнутость кустарникового яруса (южные субарктические тундры), толщина мохово-лишайникового покрова (северные субарктические и арктические тундры) и доля мхов в структуре напочвенного покрова (арктические тундры).

5. Максимальный прирост подтепия и его живой части, а также длина подтепия в целом практически на всей территории исследования отмечены у *C. stygia*. Можно констатировать, что данный вид характеризуется наибольшей устойчивостью к пастбищным нагрузкам и обладает наибольшим восстановительным потенциалом.

6. Достаточно большие значения высоты живой части, регистрируемого возраста подтепия и его живой части у *C. stellaris*, свидетельствуют о высоком потенциале роста и продукции вида, который в условиях современной пастбищной нагрузки не реализован.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность за предоставленные для обработки и анализа образцы лишайниковых талломов к. б. н. Л.М. Морозовой и к. г. н. К.А. Ермохиной. Полевые и камеральные работы выполнены в рамках государственного задания Института экологии растений и животных УрО РАН, обработка и анализ полученных данных проведена в рамках гранта РФФИ (№ 18-34-00327 – “Оценка продукции напочвенных лишайников на севере Западной Сибири”).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Olofsson J., Moen J., Oksanen L. 2002. Effects of herbivory on competition intensity in two arctic-alpine tundra communities with different productivity – *Oikos*. 96(2): 265–272.
<https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2002.960208.x>
2. Полуостров Ямал: растительный покров. 2006. Тюмень. 360 с.
https://ipae.uran.ru/sites/default/files/publications/ipae/1054_2006_PoluostrovYamal_RastPokrov.pdf
3. Ahti T., Oksanen J. 1990. Epigeic lichen communities of taiga and tundra regions – *Vegetatio*. 86(1): 39–70.
<https://doi.org/10.1007/BF00045134>
4. Olofsson J., Oksanen L. 2002. Role of litter decomposition for the increased primary production in areas heavily grazed by reindeer: a litterbag experiment – *Oikos*. 96(3): 507–515.
<https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2002.960312.x>
5. van der Wal R., Brooker R., Cooper E., Langvatn R. 2001. Differential effects of reindeer on high Arctic lichens – *J. Veg. Sci.* 12(11): 705–710.
<https://doi.org/10.2307/3236911>

6. Marozas V., Racinskas J., Bartkevicius E. 2007. Dynamics of ground vegetation after surface fires in hemiboreal *Pinus sylvestris* forests — Forest. Ecol. Manag. 250(1–2): 47–55.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.03.008>
7. Olofsson A., Danell O., Forslund P., Åhman B. 2011. Monitoring changes in lichen resources for range management purposes in reindeer husbandry — Ecol. Indic. 11(5): 1149–1159.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2010.12.015>
8. Sveinbjörnsson B. 1987. Reindeer lichen productivity as a function of mat thickness. — Arctic Alpine Res. 19(4): 437–441.
<https://doi.org/10.2307/1551409>
9. Herder M., Kytöviita M.-M., Niemela P. 2003. Growth of reindeer lichen and effects of reindeer grazing on ground cover vegetation in Scots pine forest and a subarctic heathland in Finnish Lapland — Ecography. 26(1): 3–12.
<https://doi.org/10.1034/j.1600-0587.2003.03211.x>
10. Растительный покров и растительные ресурсы Полярного Урала. 2006. Екатеринбург. 796 с.
https://ipae.uran.ru/sites/default/files/publications/ipae/0154_2006_MorozovaEtAl1.pdf
https://ipae.uran.ru/sites/default/files/publications/ipae/0154_2006_MorozovaEtAl2_0.pdf
11. Golovatin M.G., Morozova L.M., Ektova S.N. 2012. Effect of reindeer overgrazing on vegetation and animals of tundra ecosystems of the Yamal peninsula — Czech Polar Report. 2(2): 80–91.
<https://doi.org/10.5817/CPR2012-2-8>
12. Природа Ямала. 1995. Екатеринбург. 435 с.
https://ipae.uran.ru/sites/default/files/publications/ipae/0305_1995_Природа_ЯмалаМал.pdf
13. Атлас Ямало-Ненецкого автономного округа (Карты). 2004. Омск. 303 с.
14. World Weather Information Service. 2020. <http://worldweather.wmo.int/en/home.html>.
15. Флора полуострова Ямал. Современное состояние и история формирования. 2013. СПб. 312 с.
16. Абдулманова С.Ю., Эктова С.Н. 2015. Ростовые процессы некоторых видов кустисто-разветвленных лишайников рода *Cladonia* (Cladoniaceae) в тундровых сообществах — Растительные ресурсы. 51(3): 344–356.
https://www.binran.ru/files/journals/PlantRes/2015_51_3/PlantRes_2015_51_3_Abdulmanova_abstract_r.pdf
17. Игошина К.Н. 1939. Рост кормовых лишайников на приуральском Севере — Тр. НИИ поляр. земледелия, животноводства и промысл. хоз-ва. Сер. Оленеводство. 4: 7–28.
18. Андреев В.Н. 1954. Прирост кормовых лишайников и приемы его регулирования — Тр. Ботан. Ин-та. Сер. 3. Геоботаника. 9: 11–74.
19. Kärenlampi L. 1971. Studies on the relative growth rate of some fruticose lichens — Rep. Kevo Subarctic. 7: 33–39.
20. Sveinbjörnsson B. 1990. Reindeer lichen productivity: problems and possibilities — Rangifer. 10(3): 91–98.
<https://doi.org/10.7557/2.10.3.836>
21. Holt E.A., Bench G. 2008. ¹⁴C/C measurements support Andreev's internode method to determine lichen growth rates in *Cladonia stygia* (Fr.) Ruoss — The Lichenologist. 40(6): 559–565.
<https://doi.org/10.1017/S0024282908008062>
22. Эктова С.Н. 2003. Изменение лишайникового покрова Заполярного Урала под воздействием выпаса оленей. — Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа; Вып. 3. Биологические ресурсы Полярного Урала. Часть 2: 88–94. https://ipae.uran.ru/sites/default/files/publications/ipae/1038_2003_3%282%29sm.pdf
23. Boudreau S., Payette S. 2004. Caribou-induced changes in species dominance of lichen woodland: an analysis of plant remains — AM. J. BOT. 91(3): 422–429.
<https://doi.org/10.3732/ajb.91.3.422>
24. Абдулманова С.Ю. 2013. Зависимость размерно-возрастных параметров покровообразующих лишайников от условий местообитания — В сб.: Экология: теория и практика: материалы конф. молодых ученых. Екатеринбург. С. 5–15. https://ipae.uran.ru/sites/default/files/publications/ipae/0227_2013_sbornikMKmal.pdf
25. Пристяжнюк С.А. 1998. Лишайники южных субарктических тундр Ямала и перевыпас — Сиб. экол. журн. 2: 197–200.
26. Абдулманова С.Ю. 2013. Особенности формирования годичного прироста кустистых лишайников на севере Западной Сибири — В сб.: Биоразнообразие экосистем Крайнего Севера: инвентаризация, мониторинг, охрана: материалы Всероссийской конф. Сыктывкар. С. 172–175. http://byrranga.ru/docs/242_244.pdf
27. Crittenden P.D. 1991. Ecological significance of necromass production in mat-forming lichens — The Lichenologist. 23(3): 323–331.
<https://doi.org/10.1017/S0024282991000464>
28. Hammer S. 2000. Meristem growth dynamics and branching patterns in the Cladoniaceae — Am. J. Bot. 87(1): P. 33–47.
<https://doi.org/10.2307/2656683>
29. Ahti T., Hyvärinen S. 1985. *Cladonia stygia*, a common, overlooked species of reindeer lichen — Ann. Bot. Fenn. 22(3): 223–229. <https://www.jstor.org/stable/23725708?seq=1>
30. Андреев В.Н., Игошина К.Н., Лесков А.И. 1935. Оленьи пастбища и растительный покров Полярного Приуралья — Сов. оленеводство. 5: 171–406.
31. Kershaw K.A. 1978. The Role of Lichens in Boreal Tundra Transition Areas — The Bryologist. 81(2): 294–306.
<https://doi.org/10.2307/3242190>
32. Johnson E.A. 1981. Vegetation organization and dynamics of lichen woodland communities in the Northwest Territories, Canada — Ecology. 62(1): 200–215.
<https://doi.org/10.2307/1936682>

33. *Suominen O., Olofsson J.* 2000. Impacts of semi-domesticated reindeer on structure of tundra and forest communities in Fennoscandia: a review — *Ann. Zool. Fenn.* 37: 233–249. <http://www.sekj.org/PDF/anzf37/anzf37-233p.pdf>

Growth Rate of Forage *Cladonia* Lichens (Cladoniaceae) on Summer and Winter Pasture of Domestic Reindeer

S. U. Sokovnina (Abdulmanova)^{a, *}, S. N. Ektova^a

^a*Institute of Plant and Animal Ecology UB RAS, Ekaterinburg, Russia*

^{*}*e-mail: sokovnina_su@ipae.uran.ru*

Abstract—Overgrazing caused by reindeer husbandry has been a serious problem for the regions of the boreal and tundra zones for many years [3]. Terricolous fruticose lichens are the most sensitive component of Northern ecosystems [2, 8–10]. Currently, valuable forage lichens in the tundra zone of the Yamal Peninsula maintaining high occurrence, have a low abundance. The greatest impact of reindeer grazing and trampling is typical for summer pastures and driving paths. The study is aimed to estimation of the growth rate of *Cladonia* lichen thalli on summer pastures of the Yamal and Gydan peninsulas with different levels of vegetation cover degradation. The main objects of the study were valuable forage species of shrubby fruticose lichens — *Cladonia arbuscula* (Wallr.) Flot, *C. rangiferina* (L.) F. H. Wigg, *C. stellaris* (Opiz) Pouzar & Vězda, *C. stygia* (Fr.) Ruoss. In this research 2 gradients were considered: zonal and plant communities. Shrub tundra subzone: shrub tundra, exposed tundra communities, hummock bogs. Typical tundra subzone: shrub tundra, exposed tundra communities and hummock bogs. Arctic tundra subzone: dwarf shrub-lichen tundra, spotted grass-moss-lichen tundra and hummock bogs. The growth rate was calculated as a ratio of lichen podetia height to the number of branches [17], which characterizes lichen growth potential in the study area. And the growth rate of the living part of lichen podetia [18] was estimated, to assess the potential of lichen productivity. This method is recognized in the international scientific community [19, 20]) and confirmed by modern methods [21]. For analysis, we used one-factor or two-factor analysis of variance, methods of multivariate analysis, using forward sorting, and univariate regression. In the study area, the growth rate of shrubby fruticose lichens varied from 1.2 to 6.3 mm/year. There is no significant decrease in lichen growth rate from south to north. The lowest growth rate of shrubby fruticose lichens was observed in the communities of the southern (shrub) tundra. That is in opposition to the expected maximum. The height of podetia in the southern (shrub) tundra is 21% lower than in the arctic. Arctic tundra communities exist under less impact. The height of the living part of podetia in the zonal gradient does not change. However, the highest values were found in the southern (shrub) tundra, which indicates a higher growth potential of lichens. The relative age of the podetia and its living part vary insignificantly in the “south — north” gradient. In the southern (shrub) tundra in shrub plant communities, model lichen species grow significantly faster. The density of shrubs is the single significant biotic factor that positively affects the growth rate of lichens. In the plant community series of the northern (typical) tundra differences in the growth rate were not revealed. The maximum growth rate was observed in communities of hummock bogs and decreased in shrub tundra by 13% and in exposed tundra by another 6%. The single significant biotic factor for the lichen growth rate is the thickness of the moss-lichen layer. With an increase in pasture impacts, the contribution of lichen mat height to the growth rate variation increases from 6 to 28%. In the arctic tundra subzone the growth rate of lichens in the hummock bogs is significantly higher than in other types of plant communities. The lichen mat height and percentage cover of mosses are significant biotic factors. The variation in the height and age parameters of the lichen podetia in the plant communities gradient is similar to lichen growth rate changes. Among the model species, the minimum growth rate and growth rate of the living part of podetia were revealed for *C. stellaris*, the species most sensitive to trampling. However, the maximum values of the height and age of the living part of the podetia prove that this species has the greatest potential for growth and production. The most resistant to pasture impact is *C. stygia*, a species characterized by the maximum growth rates of the podetia and its living part, and maximum height of the podetia.

Keywords: Yamal peninsula, Gydan peninsula, West Siberia, tundra zone, shrubby fruticose lichens, genus *Cladonia*, growth rate, geographical gradient, ecological gradient, grazing influence

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are very thankful to L.M. Morozova and A.K. Ermokhina for lichen thalli samples. The field works and laboratory treatment were carried out within the framework of the institutional research project of the Institute of plant and animal ecology UB RAS and statistical analysis was carried out with the support from the Russian Foundation of Basic Research (project 18-34-00327 — Estimation of biomass production of terrestrial lichens in the north of West Siberia).

REFERENCES

1. Olofsson J., Moen J., Oksanen L. 2002. Effects of herbivory on competition intensity in two arctic-alpine tundra communities with different productivity. — *Oikos*. 96(2): 265–272.
<https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2002.960208.x>
2. [Yamal peninsula: vegetation cover]. 2006. Tyumen. 360 p.
https://ipae.uran.ru/sites/default/files/publications/ipae/1054_2006_PoluostrovYamal_RastPokrov.pdf (In Russian)
3. Ahti T., Oksanen J. 1990. Epigeic lichen communities of taiga and tundra regions. — *Vegetatio*. 86(1): 39–70.
<https://doi.org/10.1007/BF00045134>
4. Olofsson J., Oksanen L. 2002. Role of litter decomposition for the increased primary production in areas heavily grazed by reindeer: a litterbag experiment. — *Oikos*. 96(3): 507–515.
<https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2002.960312.x>
5. van der Wal R., Brooker R., Cooper E., Langvatn R. 2001. Differential effects of reindeer on high Arctic lichens. — *J. VEG. SCI.* 12(11): 705–710.
<https://doi.org/10.2307/3236911>
6. Marozas V., Racinskas J., Bartkevicius E. 2007. Dynamics of ground vegetation after surface fires in hemiboreal *Pinus sylvestris* forests. — *FOREST. ECOL. MANAG.* 250(1–2): 47–55.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.03.008>
7. Olofsson A., Danell O., Forslund P., Åhman B. 2011. Monitoring changes in lichen resources for range management purposes in reindeer husbandry. — *ECOL. INDIC.* 11(5): 1149–1159.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2010.12.015>
8. Sveinbjörnsson B. 1987. Reindeer lichen productivity as a function of mat thickness. — *Arctic Alpine Res.* 19(4): 437–441.
<https://doi.org/10.2307/1551409>
9. Herder M., Kytöviita M.-M., Niemela P. 2003. Growth of reindeer lichens and effects of reindeer grazing on ground cover vegetation in Scots pine forest and a subarctic heathland in Finnish Lapland — *Ecography*. 26(1): 3–12.
<https://doi.org/10.1034/j.1600-0587.2003.03211.x>
10. [Vegetation cover and vegetation resources of the Polar Urals]. 2006. Ekaterinburg. 796 p.
https://ipae.uran.ru/sites/default/files/publications/ipae/0154_2006_MorozovaEtAl1.pdf and
https://ipae.uran.ru/sites/default/files/publications/ipae/0154_2006_MorozovaEtAl2_0.pdf (In Russian)
11. Golovatin M.G., Morozova L.M., Ektova S.N. 2012. Effect of reindeer overgrazing on vegetation and animals of tundra ecosystems of the Yamal peninsula — *Czech Polar Report*. 2(2): 80–91.
<https://doi.org/10.5817/CPR2012-2-8>
12. [The Nature of Yamal]. 1995. Ekaterinburg. 435 p.
https://ipae.uran.ru/sites/default/files/publications/ipae/0305_1995_Природа_ЯмалаМал.pdf (In Russian)
13. [Atlas of Yamal-Nenets Autonomous Area (Maps)]. 2004. Omsk. 303 p.
14. World Weather Information Service. 2020. <http://worldweather.wmo.int/en/home.html>.
15. [Flora of the Yamal peninsula. Modern state and history of formation]. 2013. St. Petersburg. 312 c. (In Russian)
16. Abdulmanova S.Ju., Ektova S.N. 2015. [Variability and growth characters of some shrub-fruticose *Cladonia* lichens (Cladoniaceae) in tundra communities]. — *Rastitelnye resursy*. 51(3): 344–356.
https://www.binran.ru/files/journals/PlantRes/2015_51_3/PlantRes_2015_51_3_Abdulmanova_abstract_e.pdf (In Russian)
17. Igoshina K.N. 1939. Rost kormovykh lishaynikov na priuralskom Severe [Growth rate of forage lichens on the Ural North]. — *Trudy NII polyarnogo zemledeliya, zhivotnovodstva i promyslovogo khoziajstva*. Ser. Olenevodstvo. 4: 7–28. (In Russian)
18. Andreev V.N. 1954. [Growth rate of forage lichens and method of its regulation]. — *Trudy Botanicheskogo Instituta*. Ser. 3. Geobotanika. 9: 11–74. (In Russian)
19. Kärenlampi L. 1971. Studies on the relative growth rate of some fruticose lichens — *Rep. Kevo. Subarctic*. 7: 33–39.
20. Sveinbjörnsson B. 1990. Reindeer lichen productivity: problems and possibilities — *Rangifer*. 10(3): 91–98.
<https://doi.org/10.7557/2.10.3.836>
21. Holt E.A., Bench G. 2008. ¹⁴C/C measurements support Andreev's internode method to determine lichen growth rates in *Cladonia stygia* (Fr.) Ruoss. — *The Lichenologist*. 40(6): 559–565.
<https://doi.org/10.1017/S0024282908008062>
22. Ektova S.N. 2003. [Changes of lichen cover of the Polar Urals under grazing]. — *Nauchnyy vestnik Yamalo-Nenetskogo avtonomogo okruga*; Vol. 3: Biologicheskkiye resursy Polyarnogo Urala 2: 88–94.
https://ipae.uran.ru/sites/default/files/publications/ipae/1038_2003_3%282%29sm.pdf (In Russian)
23. Boudreau S., Payette S. 2004. Caribou-induced changes in species dominance of lichen woodland: an analysis of plant remains — *AM. J. BOT.* 91(3): 422–429.
<https://doi.org/10.3732/ajb.91.3.422>
24. Abdulmanova S.Ju. 2013. Dependence of growth rate, height and age of epigeous lichens on environment conditions]. — In: [Ecology: theory and practice. Proceedings of the Conference of young scientists]. Ekaterinburg. P. 5–15.
https://ipae.uran.ru/sites/default/files/publications/ipae/0227_2013_sbornikMKмал.pdf (In Russian)

25. *Pristyazhnyuk S.A.* 1998. [Lichens of the Yamal peninsula southern subarctic tundra communities and overgrazing]. — Siberian Journal of Ecology. 2: 197–200. (In Russian)
26. *Abdulmanova S.Ju.* 2013. — [Features of *Cladonia* fruticous lichens annual growth rate in northern part of West Siberia]. — In: Biodiversity of the Far North ecosystems: inventory, monitoring, protection: Conference proceedings. Syktyvkar. P. 172–175.
http://byrranga.ru/docs/242_244.pdf
27. *Crittenden P.D.* 1991. Ecological significance of necromass production in mat-forming lichens — The Lichenologist. 23(3): 323–331.
<https://doi.org/10.1017/S0024282991000464>
28. *Hammer S.* 2000. Meristem growth dynamics and branching patterns in the Cladoniaceae — Am. J. Bot. 87(1): P. 33–47.
<https://doi.org/10.2307/2656683>
29. *Ahti T., Hyvönen S.* 1985. *Cladina stygia*, a common, overlooked species of reindeer lichen — Ann. Bot. Fenn. 22(3): 223–229. <https://www.jstor.org/stable/23725708?seq=1>
30. *Andreev V.N., Igoshina K.N., Leskov A.I.* 1935. [Reindeer pastures and vegetation cover of the Polar Urals]. — Sov. obozrevodstvo. 5: 171–406. (In Russian)
31. *Kershaw K.A.* 1978. The Role of Lichens in Boreal Tundra Transition Areas — The Bryologist. 81(2): 294–306.
<https://doi.org/10.2307/3242190>
32. *Johnson E.A.* 1981. Vegetation organization and dynamics of lichen woodland communities in the Northwest Territories, Canada — Ecology. 62(1): 200–215.
<https://doi.org/10.2307/1936682>
33. *Suominen O., Olofsson J.* 2000. Impacts of semi-domesticated reindeer on structure of tundra and forest communities in Fennoscandia: a review — Ann. Zool. Fenn. 37: 233–249. <http://www.sekj.org/PDF/anzf37/anzf37-233p.pdf>

ИНТРОДУКЦИЯ РЕСУРСНЫХ ВИДОВ

ИТОГИ ПЕРВИЧНОЙ ИНТРОДУКЦИИ ВИДОВ РОДА *JUGLANS* (JUGLANDACEAE) В СРЕДНЕМ ПРЕДУРАЛЬЕ

© 2020 г. Н. М. Кузьмина¹, *, А. В. Федоров¹

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки “Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук”, Отдел интродукции и акклиматизации растений, г. Ижевск, Россия

*e-mail: kuzmina1956@mail.ru

Поступила в редакцию 19.03.2020 г.

После доработки 08.05.2020 г.

Принята к публикации 10.06.2020 г.

В работе представлен анализ биологических особенностей сеянцев в культурах рода *Juglans* L. при первичных интродукционных испытаниях в Среднем Предуралье для отбора лучших перспективных форм. Семенной материал орехоплодных культур получен из Ботанического сада Самарского ГУ. Определена оценка степени повреждения от мороза орехоплодных культур (2013–2019 гг.) *Juglans nigra* L., *Juglans cinerea* L., *Juglans mandshurica* Maxim., *Juglans regia* L. Хорошие показатели прироста по высоте и диаметру выявлены у растений, которые в меньшей степени подвергались обмерзанию в зимний период. Первое цветение *J. regia* было отмечено в 2016 г., плодов не завязалось. Обильное цветение *J. regia* образцов № 2, 3 отмечено в 2019 г. Получено 20 плодов. Вес самого крупного ореха составил 10.23 г. Средний вес плодов составил 7.06 г. Это ниже среднего показателя качества веса ореха для рынка неочищенных орехов. Полученный коэффициент изменчивости по массе ($C = 20\%$) свидетельствует о возможностях селекционного улучшения. Для дальнейшего исследования на территории Отдела интродукции и акклиматизации растений (г. Ижевск) отобраны: 2 образца *J. regia* скороплодной формы и 8 растений рода *Juglans* из 13 произрастающих на территории санатория “Металлург” (г. Ижевск), которые набрали наименьшее количество баллов поражения от мороза в сумме за 6 лет (6–8 баллов). По итогам первичной интродукции отмечены положительные результаты, что доказывает перспективность орехоплодных культур рода *Juglans* для озеленения садов и парков городов Среднего Предуралья.

Ключевые слова: род *Juglans*, биометрическая характеристика, морфология плодов, морозоустойчивость, первичная интродукция

DOI: 10.31857/S0033994620030048

Орехоплодные виды растений имеют пищевое, лечебное, декоративное и лесохозяйственное значение. Виды рода *Juglans* L. представляют собой крупные листопадные деревья. Листья сложные, непарноперистые. Растения однодомные, но с раздельнополоыми цветками. Пестичные цветки расположены на концах однолетних приростов, а тычиночные в виде пазушных сережек – в середине прироста. Опыление перекрестное, при помощи ветра.

Одним из важных качеств *Juglans regia* L. является морозоустойчивость. Сорта, выдерживающие морозы до -38°C выведены в США, Германии, Белоруссии, Нидерландах [1]. При возврате весенних заморозков, важным качеством является апомиксис. Закладка плодов происходит в отсутствии опыления или оплодотворения. Данный признак имеется у некоторых форм *J. regia* из Центральной и Восточной Европы, Китая [2–4].

В странах-производителях товарных плодов *J. regia* ведется селекция на скороплодность [5]. По данным иранских ученых, у скороплодной формы *J. regia* плодоношение происходит на второй год вегетации [6]. В конце XX в. стали активно внедряться сады интенсивного типа. Карликовые и полукарликовые формы *J. regia* встречаются в Средней Азии [1, 7]. Такие формы также характеризуются повышенной способностью к укоренению вертикальными отводками [8]. Продвижением орехоплодных культур на север в нашей стране на научной основе начал заниматься еще И.В. Мишурин. Благодаря усилиям его последователей сейчас *J. regia* и другие орехоплодные виды, а также межвидовые гибриды, культивируют вплоть до Москвы и Санкт-Петербурга. [9–14].

Деревья рода *Juglans* имеют высокую декоративность, они пригодны для создания ландшафтных композиций. Стволы и крупные скелетные

ветви отличаются эффектной, художественной фактурой, летом крону украшают очень крупные, длиной до 1 м, сложные листья [15, 16]. Кроме того, виды рода *Juglans* отличаются способностью эффективно очищать воздух от загазованности и запыленности, обладают хорошо выраженными антимикробными свойствами [15]. Плоды видов рода *Juglans* представляют особую пищевую и диетическую ценность, в их состав входит большое количество органических и минеральных веществ [16], они могут являться источником лекарственного сырья [17, 18].

Благодаря приведенным выше качествам, представители рода *Juglans* могут быть перспективными объектами в зеленом строительстве, в лесном хозяйстве и садоводстве Среднего Предуралья. Ограничительным фактором продвижения теплолюбивых культур на север является возврат поздних весенних заморозков. Особенно опасны провокационные продолжительные потепления (апрель–май), которые стимулируют набухание и даже раскрытие почек, что резко снижает их морозостойкость. Даже небольшие по силе возвратные весенние заморозки в этот период могут вызвать частичную или полную гибель урожая [19]. На фоне глобального потепления климата в последние годы интенсивность таких похолоданий снизилась.

Примером успешной интродукции рода *Juglans* на территории Удмуртии является *J. mandshurica*. Инициатором интродукции *J. mandshurica* в Среднем Предуралье является первый заведующий кафедрой плодоводства и овощеводства Ижевской ГСХА М.Г. Концевой, который считал, что *J. mandshurica* является единственным представителем рода, имеющим шансы на успешную культуру в любительском садоводстве и озеленении в регионе [20]. Одни из первых растений *J. mandshurica* в Удмуртской Республике были посажены на территории усадьбы Нагорного лесничества в 1952 г. Они перенесли суровые зимы 1968–1969 и 1978–1979 гг. В городе Ижевске первые растения были высажены в 80-е гг. на территории Республиканской детской эколого-биологической станции и ректором В.В. Фокиным в сквере Ижевской ГСХА, которые в настоящее время успешно произрастают и регулярно плодоносят. Однако плоды имеют очень низкий выход ядра, поэтому *J. mandshurica* представляет больший интерес для озеленения, чем как орехоплодная культура. В последнее время среди представителей рода *Juglans* получено большое количество сортов и форм с повышенной морозо- и зимостойкостью, имеющих высокую скороплодность [21–23]. При этом, в связи с повышением средних температур, в особенности в зимний период, условия перезимовки для многолетних древесных культур стали более комфортными. Поэтому интродукция видов рода *Juglans* в Среднем

Предуралье на сегодняшний день является актуальной.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объектом исследований являлись представители рода *Juglans*: *J. regia*, *J. cinerea*, *J. nigra* и *J. mandshurica* при интродукции в условиях Среднего Предуралья — в городе Ижевске и Каракулинском административном районе Удмуртской Республики.

Город Ижевск, являющийся столицей Удмуртии, расположен в Среднем Предуралье. Климат Ижевска (Центральный агроклиматический район Удмуртской Республики) — умеренно-континентальный с продолжительной многоснежной зимой, теплым летом и хорошо выраженными переходными сезонами (весной и осенью). Зима начинается в конце ноября и длится до начала марта. В течение года в среднем насчитывается 162 дня с отрицательными температурами и 203 с положительными. В Ижевске в течение всего года господствует континентальный воздух умеренных широт. Преобладают юго-западные ветры слабой и средней силы. Средняя годовая температура воздуха в Ижевске +2.4 °С. Самым холодным месяцем в году является январь. Абсолютный минимум отмечен 31 декабря 1978 г., когда температура воздуха опустилась до –47.5 °С. Иногда наблюдаются резкие изменения погоды, среднесуточные колебания температуры могут достигать 10 °С. Ижевск находится в зоне достаточного увлажнения. Годовое количество осадков в среднем составляет 508 мм. За лето выпадает 175 мм осадков, чаще они связаны с прохождением циклонов. До недавнего времени в Среднем Предуралье явление возврата поздних весенних заморозков разной интенсивности происходило каждый год. Это являлось ограничительным фактором продвижения теплолюбивых культур. На фоне глобального потепления в последние годы интенсивность возвратных весенних заморозков снизилась [24, 25].

В 2011 г. в Удмуртском научном центре Уральского отделения Российской академии наук, который в 2017 г. был реорганизован в Удмуртский федеральный исследовательский центр (УдмФИЦ УрО РАН), сотрудниками Отдела интродукции и акклиматизации растений (ОИАР) был начат сбор материала для закладки коллекции орехоплодных растений семейства Juglandaceae. Семенной материал орехоплодных культур весной 2011 г. был получен из Ботанического сада Самарского ГУ. Посевной материал *J. regia* скороплодной формы, согласно информации сотрудников Ботанического сада Самарского ГУ, был получен из ЦРБС г. Киева (1987 г.), *J. cinerea* — из Гос. Питомника № 4 в 1951 г., *J. nigra* — из Бельгии в 1971 г. Происхождение посевного материала *J. mandshurica* неизвестно.

Посев стратифицированными семенами *J. regia* на территории Отдела интродукции и акклиматизации растений УдмФИЦ УрО РАН был произведен в начале мая 2011 г., остальные орехоплодные культуры посеяны осенью 2011 г. В связи с высокими декоративными качествами видов рода *Juglans* и их перспективностью для использования в зеленом строительстве, на второй год осенью 18 сеянцев были высажены на территорию парка санатория “Металлург” (г. Ижевск): *J. nigra* (5 шт.), *J. cinerea* (7 шт.), *J. mandshurica* (5 шт.), *J. regia* (1 шт.). После пересадки погибло 5 саженцев: *J. nigra* (1 шт.), *J. cinerea* (1 шт.), *J. mandshurica* (3 шт.). Сеянцы *J. regia* (4 шт.) были высажены на территории УдмФИЦ УрО РАН для дальнейших исследований.

Ежегодно проводились метеорологические, фенологические наблюдения и учет показателей роста и развития растений. В ходе исследований были проанализированы морфологические признаки полученных плодов (масса плода, поперечный диаметр плода). Линейные размеры измеряли при помощи штангенциркуля, образцы взвешивали на лабораторных весах.

Морозостойкость определялась по “Программе и методике сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур” [19]. Давалась оценка общей степени подмерзания в баллах:

0 — нет признаков подмерзания;

1 — очень слабое подмерзание: древесина желтоватая, небольшие поверхностные ожоги коры на штамбе и скелетных ветвях, подмерзание концов однолетнего прироста, вымерзание части плодушек (до 10%); дерево не снизило роста, хорошо облиствено;

2 — слабое подмерзание: древесина светло-коричневая, слабые поверхностные ожоги или небольшие по площади, но глубокие повреждения коры, подмерзание и усыхание однолетних приростов и выпадение мелких веток; гибель плодушек (до 25%); прирост ослаблен, листья нормальные;

3 — значительное подмерзание: древесина бурая или коричневая, ожоги средней степени, значительно повреждена кора с ее омертвлением до древесины; погибла значительная часть полускелетных и скелетных ветвей; гибель значительной части плодушек (до 50%); приросты слабые, листья мелкие;

4 — очень сильное подмерзание: древесина темно-коричневая; сильные ожоги коры с глубоким повреждением на больших участках (более 50% окружности); вымерзла большая часть кроны, сохранился только штамб и основания скелетных ветвей выше снежного покрова, регенерация слабая;

5 — дерево вымерзло полностью или до линии снежного покрова.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При посеве орехоплодных культур самая высокая всхожесть — 35.4% наблюдалась у *J. cinerea* и *J. regia* — 31.4%, ниже она была у *J. nigra* — 22.9%, а самая низкая всхожесть — 10% была отмечена у *J. mandshurica* [26].

Общая степень подмерзания наиболее важный показатель оценки сортов по зимостойкости. Он складывается из следующих показателей: подмерзание древесины, коры на штамбе и скелетных ветвях, подмерзание или гибель ветвей. При этом принимается во внимание общее состояние дерева [19, 27]. С 2015 по 2018 гг. проводилась оценка степени поражения от мороза в баллах у каждого саженца орехоплодных культур, высаженных в г. Ижевске. В табл. 1 представлена полученная сумма баллов за 6 лет.

По представленным данным видно, что в 2015 г. наблюдалось обморожение до уровня почвы у 5 саженцев: *J. cinerea* (3 экз.), *J. nigra* (1 экз.), *J. regia*. В июле месяце у этих саженцев появились новые побеги. Остальные деревья в культурах развивались нормально. В 2016 г. гибели растений не наблюдалось. Обмерзание до уровня почвы произошло у двух саженцев: *J. nigra* и *J. regia*. В 2017 г. гибели растений отмечено не было, обмерзание до уровня почвы наблюдалось только у *J. regia* и у *J. nigra* (по 1 экз.). В 2018 г. также произошло обмерзание до уровня почвы у *J. regia* и у *J. nigra* (образец № 1). В начале июля у этих саженцев появились новые побеги. На сегодняшний день, в качестве перспективных, можно отметить 8 из 13 растений, произрастающих на территории санатория “Металлург”, получивших в сумме наименьшее количество баллов поражения (6–8 баллов): два образца *J. mandshurica* — № 1 и № 3, два образца *J. cinerea* — № 2 и № 3, три образца *J. nigra* — № 2, № 4 и № 5. Было отмечено, что меньше всего подвергались обмерзанию в зимний период те растения, которые имели хорошие показатели роста и развития (табл. 2). У образцов №№ 1, 5 и 6 *J. cinerea* общий прирост в высоту за все годы составил более 100 см, но прирост по диаметру был менее 2 см, так как верхняя часть побегов в 2015 г. подверглась обморожению. В конце июля от нижних почек развились новые побеги. У *J. regia* каждый год наблюдалось обморожение верхней части побега, но в июле появлялся новый побег из нижней почки.

На территории ОИАР УдмФИЦ УрО РАН в г. Ижевске все четыре саженца *J. regia* скороплодной формы в 2015 г. перезимовали хорошо, повреждений побегов и почек не отмечалось. В 2016 г. у саженца № 4 наблюдалось обмерзание верхней части побега. Новый побег сформировался из нижней почки в начале июля, но из-за недостаточной длительности периода вегетации не смог подготовиться к зиме и вновь подвергся обмерзанию. У всех остальных саженцев наблюдалось

Таблица 1. Оценка подмерзания саженцев видов рода *Juglans*, высаженных на территории санатория “Металлург”, 2015–2018 гг.**Table 1.** Frost damage rate of the seedlings of genus *Juglans* at Metallurg health resort, 2015–2018

Годы исследования Year of observation	Виды Species													
	<i>Juglans nigra</i>				<i>Juglans cinerea</i>						<i>Juglans mandshurica</i>	<i>Juglans regia</i>		
	Образцы Model samples													
	1	2	4	5	1	2	3	4	5	6	1	3	1	
	Общая степень подмерзания, баллы Assessment of the frost damage rate, score													
	2015	4	2	3	2	4	1	2	4	3	4	2	2	4
	2016	4	2	2	1	3	2	1	2	3	3	1	2	4
	2017	4	1	1	2	1	2	2	2	3	1	2	1	4
	2018	4	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	4
Всего баллов Total score	16	7	8	7	9	6	6	9	10	9	6	7	16	

Таблица 2. Суммарный прирост (с 2014 по 2018 гг.) по высоте и диаметру основания стебля саженцев видов рода *Juglans* на территории санатория “Металлург”**Table 2.** Total gain (2014–2018) of the stem basal diameter and height increment of the seedlings of genus *Juglans* at Metallurg health resort, studies of 2014–2018

Показатели прироста Increment indicators	Виды Species												
	<i>Juglans nigra</i>				<i>Juglans cinerea</i>						<i>Juglans mandshurica</i>	<i>Juglans regia</i>	
	Образцы Model samples												
	1	2	4	5	1	2	3	4	5	6	1	3	1
	Прирост, см Increment, cm												
Высота Height	34	120	111	126	126.5	111	197	100	115	109	137	164	—5
Диаметр Diameter	0.3	2.0	2.2	2.3	1.7	2.3	3.8	2.0	1.4	1.9	2.5	3.0	0

подмерзание верхней части побегов (5–10 см). В 2017 г. образец № 4 *J. regia* снова подмерз, но дал новый побег. В 2018 г. отмечено подмерзание верхней части некоторых ветвей (не более 5 см) у образцов №№ 1–3. В 2019 г. два образца (№№ 1, 2) *J. regia* перезимовали хорошо. У образца № 3 отмечено подмерзание верхней части некоторых ветвей (не более 5 см), у образца № 4 снова наблюдалось подмерзание верхней части побегов.

Согласно величине суммарного балла степени подмерзания (табл. 3) с 2014 по 2019 гг. можно отметить хорошую морозостойкость у трех образцов (№№ 1, 2 и 3) *J. regia* скороплодной формы. Образец № 4 с 2016 по 2019 гг. подмерзал до уровня

почвы, но давал новые побеги в конце июня. По метеорологическим данным за период наблюдений температура воздуха в зимний период опускалась до –34 °С (2015, 2016 гг.) [25]. Самый большой прирост по высоте (66 см) и диаметру (2 см) за 5 лет после пересадки наблюдался у образца № 2 скороплодной формы *J. regia*.

Первое цветение у *J. regia* на территории УдмФИЦ УрО РАН ОИАР было отмечено в 2016 г., плоды не завязались. В 2017 г. у образца № 2 *J. regia* завязалось три плода. До стадии созревания дошел только один плод, который был снят 20 октября. Обильное цветение у образцов №№ 2 и 3 отмечено в 2019 г. Женские цветковые почки у



Рис. 1. Плоды *Juglans regia* формы № 2, 2019 г., Отдел интродукции и акклиматизации растений УдмФИЦ УрО РАН, Ижевск, 2019 г.

Fig. 1. Fruits of *Juglans regia* form No. 2, 2019, Department of Plant Introduction and Acclimatization, Udm-FRC Ural Branch of RAS, Izhevsk, 2019.

образца № 2 на всех верхушечных побегах перезимовали хорошо. Начало цветения отмечено 27 мая, мужские цветки к этому времени у данного образца уже отцвели и отпали. Цветение мужских цветков у образца № 3 еще продолжалось. Было проведено искусственное опыление женских цветков образца № 2 *J. regia* пыльцой образца № 3. Завязалось 20 плодов, которые все дошли до стадии созревания и были сняты 7 октября (рис. 1, 2).

Высокое качество орехов и ядра является важнейшим качеством сорта. Морфометрические параметры плодов *J. regia* представлены в табл. 4. Плоды *J. regia* весом 12–14 г считаются крупными,



Рис. 2. Полученный урожай *Juglans regia* формы № 2 на 8 год после посева в Отделе интродукции и акклиматизации растений УдмФИЦ УрО РАН, Ижевск, 2019 г.

Fig. 2. Nut yield of *Juglans regia* No. 2 in the eighth year after sowing at Department of Plant Introduction and Acclimatization, UdmFRC Ural Branch of RAS, Izhevsk 2019.

9–11 г – средними [28]. При определении признаков 1000 плодов местных форм *J. regia* в Центральном Черноземье (Воронежская область) средняя масса плода составила 9.05 г [12]. Самый крупный орех из полученного урожая *J. regia* в условиях Среднего Предуралья (образец № 2) весил 10.23 г. К среднему размеру отнесено 4 (20%) из 20 плодов. Средний вес плодов составил 7.06 г. Коэффициент изменчивости по массе ($C = 20.1\%$) свидетельствует о наличии возможностей селекционного улучшения. Качество орехов с возрастом

Таблица 3. Оценка подмерзания саженцев *Juglans regia*, высаженных на территории Отдела интродукции и акклиматизации растений (2014–2019 гг.)

Table 3. Frost damage rate of the seedlings of *Juglans regia* at the Department of Plant Introduction and Acclimatization (2014–2019)

Годы исследования Year of observation	Образцы Model samples			
	1	2	3	4
	Общая степень подмерзания, баллы Total degree of freezing, points			
2014	1	1	1	1
2015	1	1	1	1
2016	2	2	2	4
2017	1	1	2	4
2018	1	1	1	4
2019	0	0	1	4
Всего баллов Total score	6	6	8	18

Таблица 4. Морфометрические показатели плодов скороплодной формы *Juglans regia* (образец № 2) на восьмой год после посева, 2019 г.**Table 4.** Morphometric indicators of fruit of *Juglans regia* early-fruited form (sample No. 2) for the eighth year after sowing, 2019

Плоды The fruits	Морфологические показатели плодов Fruit morphological indicators		
	вес, г weight, g	высота, см height, cm	средний диаметр, см average diameter, cm
1	7.91	2.71	2.56
2	8.12	2.81	2.53
3	5.7	2.43	2.16
4	6.59	2.71	2.48
5	6.46	2.51	2.35
6	6.29	2.55	2.27
7	6.58	2.51	2.55
8	6.96	2.75	2.34
9	7.52	2.61	2.47
10	10.23	2.94	2.68
11	7.81	2.82	2.45
12	6.0	2.58	2.26
13	5.65	2.42	2.13
14	5.4	2.43	2.16
15	9.58	3.23	2.62
16	7.16	2.63	2.41
17	8.71	2.78	2.59
18	5.08	2.36	2.03
19	5.24	2.15	2.11
20	6.69	2.74	2.35
Средняя величина Average value	7.06 ± 0.33	2.63 ± 0.05	2.39 ± 0.04
С, %	20.1	8.56	8.25

Примечание. С, % — коэффициент изменчивости.

Note. С, % — coefficient of variability.

изменяется, поэтому необходимо продолжить исследование.

Растения *J. regia* высаженные в Южном агро-климатическом районе УР (Каракулинский р-н, д. Нырғында) в 2011 г. обладают мощным ростом, прирост побегов в высоту составляет до 50 см. Однако отмечается ежегодное сильное повреждение морозами, подмерзание однолетних ветвей происходит на ½ длины. За период наблюдений в зимний период температура воздуха опускалась до –35 °С. Первое плодоношение отмечено в 2018 г., завязалось два плода с фертильными семенами, которые в 2019 г. при проращивании дали низкорослые растения высотой до 15 см. В 2019 г. отмечалось цветение растений, но плодоношение отсутствовало.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам первичной интродукции орехоплодных культур рода *Juglans* в качестве будущих

маточников для селекционных работ в Среднем Предуралье выделены 2 образца *J. regia*, произрастающих на территории УдмФИЦ УрО РАН ОИАР (г. Ижевск). Образцы имеют наименьшую сумму баллов (6) поражения от мороза за 6 лет, хорошее развитие, регулярное с момента вступления в генеративную стадию развития цветение и плодоношение. Самый крупный орех весил 10.23 г. Средний вес полученных плодов у *J. regia* образца № 2 составил 7.06 г. Из 20 полученных плодов 20% имело средний размер. Это ниже среднего показателя веса ореха для рынка неочищенных орехов [28], но установленный коэффициент изменчивости по массе (С = 20%) свидетельствует о возможностях селекционного улучшения.

На территории санатория Металлург (г. Ижевск) наименьшая сумма баллов (6–8) повреждения от мороза за 4 года наблюдений (2015–2018 гг.) выявлена у 8 образцов из 13: *J. mandshurica* (образцы №№ 1, 3), *J. cinerea* (образцы №№ 2, 3, 4) и *J. nigra* (образцы №№ 2, 4, 5).

Пока преждевременно говорить о рентабельности создания промышленных плантаций деревьев рода *Juglans* в Среднем Предуралье. Но они с успехом могут выращиваться в любительском плодоводстве. В целом, орехоплодные культуры

могут являться перспективными видами для озеленения садов и парков городов Среднего Предуралья и сопредельных регионов. Необходима селекционная работа, в том числе методами гибридизации и массового отбора выделяемых форм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Germain E. 1997. Genetic improvement of the Persian walnut (*Juglans regia* L.). — Acta Hort. 442: 21–32. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1997.442.2>
2. Loiko R.E. 1990. Apomixis of walnut. — Acta Hort. 284: 233–236. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1990.284.31>
3. Solar A., Ivančič A., Štampar F., Hudina M. 2002. Genetic resources for walnut (*J. regia* L.) improvement in Slovenia: Evaluation of the largest collection of local genotypes. — Genet. Resour. Crop. Evol. 49(5): 491–501.
4. Cosmulescu S., Botu M., Achim G. 2012. Determination of Apomictic Fruit Set Ratio in Several Romanian Walnut (*Juglans regia* L.) cultivars. — Not. Bot. Horti. Agrobi. 40(1): 229–233. <https://doi.org/10.15835/nbha4016407>
5. Mamadjanov D.K. 2006. Walnut fruit forests and diversity of walnut tree (*Juglans regia* L.) In Kyrgyzstan. — Acta Hort. 705: 173–176. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.705.20>
6. Rezaee R., Vahdati K., Valizadeh M.J. 2009. Variability of seedling vigor in Persian walnut as influenced by the vigor and bearing habit of the mother tree. — J. Hort. Sci. Biotech. 84(2): 228–232. <https://doi.org/10.1080/14620316.2009.11512509>
7. Breton C., Cornu D., Chriqui D., Sauvonet A., Capelli P., Germain E., Jay-Allemand C. 2004. Somatic embryogenesis micropropagation and plant regeneration of “Early Mature” walnut trees (*Juglans regia*) that flower *in vitro*. — Tree Physiol. 24(4): 425–435. <https://doi.org/10.1093/treephys/24.4.425>
8. Vahdati K., Rezaee R., Grigoorian V., Valizadeh M. 2008. Rooting ability of Persian walnut as affected by seedling vigour in response to stool layering. — J. Hort. Sci. Biotech. 83: 334–338. <https://doi.org/10.1080/14620316.2008.11512388>
9. Связева О.А. 1989. Итоги интродукции *Juglans regia* L в Ленинграде. — Растительные ресурсы. 25(2): 270–283.
10. Славский В.А., Николаев Е.А. 2009. Сравнительная характеристика орехов рода *Juglans* в Центральном Черноземье и перспективы введения их в культуру. — Лесной журнал. Известия высших учебных заведений. 6: 29–34. http://lesnoizhurnal.ru/issuesarchive/?ELEMENT_ID=645
11. Богданов А.В. 2009. Биоэкологическое обоснование применения видов рода *Juglans* L. в условиях засушливого климата. — Аграрный вестник Урала. 8(62): 80–82. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18639554>
12. Васин Е.А. 2012. Зимостойкие орехи для нечерноземья. — Настоящий хозяин. 3: 48–51.
13. Соколова В.В., Швецов А.Н. 2018. Коллекция орехоплодных растений в лаборатории природной флоры Главного Ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН. — Достижения науки и техники АПК. 32(9): 55–59. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10913>
14. Славский В.А., Евлаков П.М. 2019. Устойчивость видов орехов рода *Juglans* к понижениям и резким перепадам температуры в Воронежской области. — Лесотехнический журнал. 2(34): 90–96. http://lestehjournal.ru/sites/default/files/journal_pdf/90-97.pdf
15. Щепотьев Ф.Л. 1985. Орехоплодные древесные породы. М. 224 с.
16. Рубцов Л.И. 1977. Деревья и кустарники в ландшафтной архитектуре. Киев. 272 с.
17. Дайронас Ж.В. 2015. Сравнительный анализ эфирного масла листьев ореха грецкого, ореха серого и ореха черного. — Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 7: 16–20. <https://bmrcjournal.ru/ru/bmfc-2015-07-03>
18. Васипов В.В., Вытовтов А.А. 2016. Грецкий орех (*Juglans regia* L.) — перспективный источник биологически активных веществ. — Пища, экология, качество. Труды XIII международной научно-практической конференции. Красноярск. 223–228. <http://www.spsl.nsc.ru/FullText/konfe/XIipek2016.pdf>
19. Седов Е.Н. 1995. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. Орел. ВНИИСПК. 502 с.
20. Концевой М.Г., Ежов Л.А. 1997. Новые культуры уральского сада: (Рекомендации по изучению биологии и технологии выращивания новых садовых культур). Пермь ИПК “Звезда”. 336 с.
21. Смелянская Л.А., Колесникова Р.Д., Тагильцев Ю.Г. 2015. Перспективы плантационного выращивания и культивирования ореха маньчжурского. — Естественные и технические науки. 5(83): 29–35.
22. Славский В.А. 2018. Прогноз расширения границ площадей, пригодных для создания плантаций ореха грецкого в Воронежской области. — Лесотехнический журнал. 8(4): 129–136. https://doi.org/10.12737/article_5c1a321c2832e4.03254814

23. Славский В.А., Чернышов М.П. 2018. Комплексная оценка зимостойкости ореха грецкого в Воронежской области. — Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 224: 37–50.
<http://spbftu.ru/wp-content/uploads/2019/08/224-03.pdf>
24. Стурман В.И., Малькова И.Л., Загребина Т.А. 2002. Климат города. — В сб.: Воздушный бассейн Ижевска. Москва — Ижевск. С. 16–23.
25. Архив погоды в Ижевске. 2019. Данные метеостанции (2014–2019 гг.) Ижевск, Россия, (WMO ID)=28411.
http://gr5.ru/Архив_погоды_в_Ижевске
26. Кузьмина Н.М., Федоров А.В. 2018. Интродукция орехоплодных семейства Ореховые (Juglandaceae) в Среднем Предуралье. — В сб.: Труды XIV Съезда Русского ботанического общества и конференции “Ботаника в современном мире”. Геоботаника. Ботаническое ресурсосведение. Интродукция растений. Культурные растения. Махачкала. Т. 2. Махачкала. С. 278–280.
https://www.binran.ru/files/publications/Proceedings/Proceedings_RBO/XIV_RBO_Proceedings_T2.pdf
27. Рябушкин Ю.Б. 2014. Плодоводство, виноградарство: краткий курс лекций для аспирантов III курса. Направления подготовки 35.06.01. Саратов. 91 с. <http://read.sgau.ru/files/pages/14691/14327970101.pdf>
28. Балапанов И.М. 2014. Биологические аспекты в селекции Ореха грецкого. — Научный журнал КубГАУ. 101(07): 15 с. <http://ej.kubagro.ru/2014/07/pdf/52.pdf>

Results of the Initial Introduction of Some *Juglans* (Juglandaceae) Species to the Middle Urals

N. M. Kuzmina^{a, *}, A. V. Fedorov^a

^aFederal State Budgetary Institution of Science “Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences”, Department of Plant Introduction and Acclimatization, Izhevsk, Russia

*e-mail: kuzmina1956@mail.ru

Abstract—The paper presents data analysis of biological characteristics of the seedlings of several *Juglans* L. species during the initial introduction tests aimed to the selection of the most promising for the Middle Urals taxa. Seed material of nut crops was obtained from the Botanic garden of Samara State University. The examined nut crops (2013 to 2019): *Juglans nigra* L., *Juglans cinerea* L., *Juglans mandshurica* Maxim., *Juglans regia* L. were assessed for the frost damage. Better increment in height and diameter was observed in the most hardy plants. The first flowering of *J. regia* occurred in 2016 with no fruits set. Abundant flowering of *J. regia* samples No. 2 and No. 3, was observed in 2019. Twenty fruits were obtained. High quality of nuts and kernels is the most important property of the cultivar. For commercial inshell nuts, the weight of the nut must be 12–14 g and above, while in tested specimens it was 9–11g. In the first harvest from the early-maturing form of *J. regia* (sample No. 2), the biggest nut weighted 10.23g. Four (20%) out of twenty obtained fruits were considered medium-sized weighing on the average 7.06 g each. Specimens of *J. regia* planted in South agroclimatic region of the Udmurt Republic (Karakulinsky district, village of Nyrgynda), in 2018 gave two fruits. In 2019 these nuts germinated, resulting in short seedlings less than 15cm in height. For the further research 8 *Juglans* spp. plants out of 13 growing at Metallurg health resort (Izhevsk) were selected, based on the lowest 6-year aggregate frost damage score (6 to 8 points). 2 plants of early-maturing form of *J. regia* were selected at the plot of the Department of Plant Introduction and Acclimatization (Izhevsk). Positive results of the initial introduction suggest good prospects of some *Juglans* species for urban gardens and parks of the middle Cis-Urals.

Keywords: genus *Juglans*, biometric characteristic, morphology of fruits, assessment of frost damage rates, primary introduction

REFERENCES

1. Germain E. 1997. Genetic improvement of the Persian walnut (*Juglans regia* L.). — Acta Hort. 442: 21–32.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1997.442.2>
2. Loiko R.E. 1990. Apomixis of walnut. — Acta Hort. 284: 233–236.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1990.284.31>
3. Solar A., Ivančič A., Štampar F., Hudina M. 2002. Genetic resources for walnut (*J. regia* L.) improvement in Slovenia: Evaluation of the largest collection of local genotypes. — Genet. Resour. Crop. Evol. 49(5): 491–501.
4. Cosmulescu S., Botu M., Achim G. 2012. Determination of Apomictic Fruit Set Ratio in Several Romanian Walnut (*Juglans regia* L.) cultivars. — Not. Bot. Hort. Agrobi. 40(1): 229–233.
<https://doi.org/10.15835/nbha4016407>

5. Mamadjanov D.K. 2006. Walnut fruit forests and diversity of walnut tree (*Juglans regia* L.) In Kyrgyzstan. — Acta Hort. 705: 173–176.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.705.20>
6. Rezaee R., Vahdati K., Valizadeh M. J. 2009. Variability of seedling vigor in Persian walnut as influenced by the vigor and bearing habit of the mother tree. — J. Hort. Sci. Biotech. 84(2): 228–232.
<https://doi.org/10.1080/14620316.2009.11512509>
7. Breton C., Cornu D., Chriqui D., Sauvonet A., Capelli P., Germain E., Jay-Allemand C. 2004. Somatic embryogenesis micropropagation and plant regeneration of “Early Mature” walnut trees (*Juglans regia*) that flower *in vitro*. — Tree Physiol. 24(4): 425–435.
<https://doi.org/10.1093/treephys/24.4.425>
8. Vahdati K., Rezaee R., Grigorian V., Valizadeh M. 2008. Rooting ability of Persian walnut as affected by seedling vigour in response to stool layering. — J. Hort. Sci. Biotech. 83: 334–338.
<https://doi.org/10.1080/14620316.2008.11512388>
9. Syazeva O.A. 1989. [Results of the introduction of *Juglans regia* L. in Leningrad]. — Rastitelnye resursy. 25(2): 270–283. (In Russian)
10. Slavsky V.A., Nikolaev E.A. 2009. Comparative Characteristic of Black Walnuts in the Central Chernozem Area and Prospects of their Cultivating. — Lesnoy zhurnal (Russian Forestry Journal). 6: 29–34.
http://lesnoizhurnal.ru/en/archive/article_index_years.php?ELEMENT_ID=164663 (In Russian)
11. Bogdanov A.V. 2009. [Bioecological rationale for using *Juglans* L. species in arid climate]. — Agrarnyy vestnik Urala. 8(62): 80–82. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18639554> (In Russian)
12. Vasin E.A. 2012. [Winter-hardy nuts for non-black soil]. — Nastoyashchiy khozyain. 3: 48–51. (In Russian)
13. Sokolova V.V., Shvetsov A.N. 2018. Collection of nut-bearing plants in the laboratory of natural flora of N.V. Tsitsin Main Botanic Garden. — Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 32(9): 55–59.
<https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10913> (In Russian)
14. Slavsky V.A., Yevlakov P.M. 2019. Resistance of species of nuts of the genus *Juglans* to drops and sharp temperature drops in the Voronezh region. — Lesotekhnicheskij zhurnal. 2(34): 90–96.
http://lestehjournal.ru/sites/default/files/journal_pdf/90-97.pdf (In Russian)
15. Schepotiev F.L. 1985. [Walnut tree species.] Moscow. 224 p. (In Russian)
16. Rubtsov L.I. 1977. [Trees and shrubs in landscape gardening.] Kiev. 272 p. (In Russian)
17. Dayronas J.V. 2015. Comparative analysis of essential oil of walnut leaves, butternut and walnut black. — Voprosy biologicheskoy, meditsinskoy i farmatsevticheskoy khimii. 7:16–20. <https://bmpejournal.ru/en/bmfc-2015-07-03> (In Russian)
18. Vasipov V.V., Vytovtov A.A. 2016. Walnut (*Juglans regia* L.) — promising source of biologically active substances. — In: [Food, ecology, quality. Proceedings of the XIIIth international scientific and practical conference]. Krasnoyarsk. P. 223–228. <http://www.spsl.nsc.ru/FullText/konfe/XIIpek2016.pdf> (In Russian)
19. Sedov E.N. 1995. [The program and methodology of variety studies of fruit, berry and nut-bearing crops.] Orel. VNIISPK. 502 p. (In Russian)
20. Koncevoy M.G., Ezhov L.A. 1997. New crops of the Ural garden: (Recommendations for studying the biology and technology of growing new garden crops). Perm. 336 p. (In Russian)
21. Smelyanskaya L.A., Kolesnikova R.D., Tagiltsev Yu.G. 2015. Prospects for plantation cultivation and cultivation of Manchurian walnut. — Yestestvennyye i tekhnicheskiye nauki. 5(83): 29–35. (In Russian)
22. Slavsky V.A. 2018. Forecast of the expansion of area limits, suitable for the creating walnut plantations in the Voronezh region. — Lesotekhnicheskij zhurnal. 8(4): 129–136.
https://doi.org/10.12737/article_5c1a321c2832e4.03254814 (In Russian)
23. Slavsky V.A., Chernyshov M.P. 2018. Comprehensive assessment of walnut winter hardiness in the Voronezh region. — Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii. 224: 37–50.
<http://spbfu.ru/wp-content/uploads/2019/08/224-03.pdf> (In Russian)
24. Sturman V.I., Malkova I.L., Zagrebina T.A. 2002. [The climate of the city. Main parameters]. — In: [The air basin of Izhevsk.]. Moscow; Izhevsk. P. 16–23. (In Russian)
25. Weather archive in Izhevsk. 2019. Weather archive in Izhevsk. 2019. Weather station data (2014–2019 g.g.) Izhevsk, Russia, (WMO ID)=28411. https://rp5.ru/Weather_archive_in_Izhevsk
26. Kuzmina N.M., Fedorov A.V. 2018. Introduction of the nut family (Juglandaceae) in the Middle Urals. — In: [Botany in modern world. Proceedings of the XIVth Meeting of Russian Botanical Society and Conference “Botany in modern world” Vol. 2: Geobotany, botanical resource studies, plant introduction, cultivated plants]. Makhachkala. P. 278–280. https://www.binran.ru/files/publications/Proceedings/Proceedings_RBO/XIV_RBO_Proceedings_T2.pdf (In Russian)
27. Ryabushkin Yu.B. 2014. [Pomiculture, viticulture: a short course of lectures for the third-year graduate students. Training program 06.35.01: Agriculture. Specialization: pomiculture and viticulture]. Saratov. 91 p.
<http://read.sgau.ru/files/pages/14691/14327970101.pdf> (In Russian)
28. Balapanov I.M. 2014. Biological traits in Walnut breeding. — Scientific journal of KubSAU. 101(07): 15 p. Article ID 1011407052. <http://ej.kubagro.ru/2014/07/pdf/52.pdf> (In Russian)

ИНТРОДУКЦИЯ РЕСУРСНЫХ ВИДОВ

ФЕНОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ВИДОВ РОДА *ROSA* (ROSACEAE), ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ В Г. БЛАГОВЕЩЕНСК (АМУРСКАЯ ОБЛАСТЬ)

© 2020 г. Т. В. Ступникова*

Благовещенский государственный педагогический университет, г. Благовещенск, Россия

*e-mail: stupnikovat@yandex.ru

Поступила в редакцию 27.12.2019 г.

После доработки 27.02.2020 г.

Принята к публикации 20.05.2020 г.

Приведены результаты изучения ритма сезонного развития (2010–2019 гг.) 8 видов рода *Rosa* L., интродуцированных в г. Благовещенск. Степень зимостойкости видов зависит от сроков окончания их вегетации. В озеленении Благовещенска можно широко использовать зимостойкие виды *R. acicularis*, *R. amblyotis*, *R. davurica* и сравнительно зимостойкие *R. maximowicziana*, *R. rugosa*, *R. xanthina* и *R. spinosissima* в ландшафтном дизайне города следует использовать ограниченно. К неперспективным видам в агроклиматических условиях юга Амурской области относится *R. glauca*.

Ключевые слова: вегетационный период, фенологическая фаза, зимостойкость, *Rosa*

DOI: 10.31857/S0033994620030097

В последние десятилетия на планете идет активный процесс урбанизации и, как следствие, — ухудшение среды обитания человека. Оптимизация и оздоровление городской среды напрямую зависят от совершенствования системы озеленения. В этой связи перед садово-парковым строительством остро стоит задача по расширению ассортимента устойчивых декоративных древесно-кустарниковых растений. Известно, что наиболее надежным его источником являются виды аборигенной флоры как наиболее зимостойкие. Однако рассчитывать на расширение ассортимента только за счет аборигенных видов крайне сложно, целесообразным является привлечение в зеленое строительство устойчивых интродуцентов, гибридов, сортов и форм декоративных древесных растений [1].

Вопросы изучения роста и фенологического развития древесных растений были и остаются актуальными в настоящее время. Известно, что от феноритмотипа в значительной степени зависят уровень адаптированности растений к условиям местопроизрастания и оценка их перспективности для дальнейшего использования в городском озеленении [2–4]. Изучение ритмов сезонного развития растений на основе многолетних фенологических наблюдений стало актуальным в связи с наблюдающимися глобальными и локальными изменениями климата. Так, в г. Санкт-Петербурге у многих древесных видов, ранее считавшихся зимостойкими, из-за преждевременного начала ростовых процессов стали наблюдаться случаи силь-

ных обмерзаний, выпревания и вымокания древесины [5, 6]. По мнению И.В. Фадеевой [7], непрерывные наблюдения за древесными растениями-индикаторами могут стать основой изучения биоклиматической цикличности в г. Санкт-Петербурге, а оценка влияния изменений климата на их феноритмотип послужит рекомендацией для разработки перспективного ассортимента пород во вновь создаваемых городских насаждениях.

Согласно литературным данным [8], в г. Благовещенске среднегодовая температура за последние 30 лет наблюдений в среднем поднялась на 1.5–1.7 °C и составила 2 °C. В большей степени потепление климата сказалось на температурах зимних месяцев, теплее стали весна и осень, что в свою очередь отразилось на увеличении безморозного периода. В связи с этим представляется вероятным расширение ассортимента пород для озеленения за счет более теплолюбивых видов.

Большой интерес в озеленении представляет род роза, или шиповник *Rosa* L., насчитывающий 366 видов, а мировой сортимент, созданный на их основе, включает более 40 тыс. сортов, относящихся к 39 садовым группам [9, 10]. Несмотря на широкую популярность шиповников, сортимент их в уличном озеленении г. Благовещенска пока невелик. Самым распространенным видом является *R. davurica* Pall., иногда в городских посадках встречается *R. acicularis* Lindl, еще реже, преимущественно в насаждениях ограниченного пользования, — *R. rugosa* Thunb. В последнее время в скверах и парках города появилась *R. xanthi-*

na Lindl., реализацию которой осуществляет коммерческий питомник “Биопарк”. Самый редкий вид, отмеченный нами в городе, — *R. spinosissima* L., появился в результате стихийного озеленения придомовых территорий местными жителями. Помимо видовых шиповников в городских насаждениях встречаются сорта: Витаминный ВНИВИ и Воронцовский 3, а также махровые формы *R. rugosa*, парковые и плетистые розы, преимущественно канадской селекции.

В литературе имеются данные о сроках вегетации, продолжительности цветения и плодоношения у 4 видов шиповника, акклиматизированных в середине прошлого века на лесопытной станции (ЛОС) г. Свободный [11], и 5 витаминных сортов шиповника, представленных в коллекции государственного сортоиспытательного участка г. Благовещенска [12]. Сведений о ритмах сезонного развития у видовых шиповников, интродуцированных в г. Благовещенске, в литературе нет.

Настоящая работа продолжает исследование по выявлению перспективных для городского озеленения декоративных древесных представителей семейства Rosaceae. Ранее автором для озеленения города был разработан ассортимент таксонов спирей *Spiraea* L. [13]. Задача этой работы заключалась в изучении ритма сезонного развития шиповников с целью определения перспективных видов для зеленого строительства города.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в 2010–2019 гг. в искусственно созданных насаждениях города и в экспозициях Амурского филиала Ботанического сада-института, расположенного на северо-западной окраине г. Благовещенска (50°16'46" с.ш., 127°32'25" в.д.).

Объектами исследования явились 8 видов шиповника:

1. *Rosa acicularis* Lindl. Кустарник около 2 м высотой. Побеги покрыты многочисленными шипами. Цветки темно-розовые, 5–6 см в диаметре, плоды разной формы: продолговатые, эллиптические, округлые, красные, 2–3 см в диаметре. Родина — европейская часть России, Скандинавия, Урал, Сибирь, Дальний Восток, Средняя Азия, Монголия, Китай (север), Корея, Япония, Северная Америка.

2. *R. amblyotis* С.А. Меу. Кустарник высотой около 1 м. Побеги покрыты редкими прямыми или слабоизогнутыми шипами. Цветки темно-розовые, диаметром 4–5 см, плоды около 1.5 см, шаровидные, красные. Родина — Дальний Восток, Якутия, Забайкалье.

3. *R. davurica* Pall. Кустарник высотой около 1 м. Шипы прямые или слабоизогнутые, большей частью расположены по два у основания листьев и

молодых веточек. Цветки розовые, диаметром 3–4 см, плоды около 1.5 см шаровидной или продолговатой формы, красные. Родина — Приморье, Приамурье, Забайкалье, Монголия, Китай (Маньчжурия).

4. *R. glauca* Poir. Кустарник высотой около 2 м. Шипы одиночные, слабоизогнутые. Листья с голубоватым налетом. Цветки розовые, 2–3 см в диаметре, плоды шаровидные, светло-красные. Родина — Западная и Восточная Европа.

5. *R. maximowicziana* Regel. Вьющийся кустарник с дугообразно изогнутыми ветвями. Побеги покрыты густыми изогнутыми шипами с расширенным основанием. Цветки белые или кремовые, 3–5 см в диаметре, плоды яйцевидные, около 1 см длиной, красновато-коричневые. Родина — Дальний Восток (юг), Корея, Китай (северо-восток).

6. *R. rugosa* Thunb. Кустарник 1–1.5 м высотой. Побеги покрыты густыми шипами разной формы. Цветки пурпурно-карминовые, 6–10 см в диаметре, с сильным ароматом, плоды ярко красные, крупные, шаровидные. Родина — Дальний Восток, Корея, Япония, Северный Китай.

7. *R. spinosissima* L. Кустарник около 2 м высотой, покрытый тонкими прямыми шипами. Цветки с сильным ароматом, крупные до 5 см в диаметре, белые или желтовато-белые. Плоды шаровидные около 1.5 см увенчаны чашелистиками, при созревании — малиново-красные, в зрелом состоянии — черные. Родина — Центральная Европа, Центральная Азия.

8. *R. xanthina* Lindl. Кустарник высотой около 1.5 м. Побеги дуговидно-изогнутые, покрыты крупными с расширенным основанием шипами. Цветки ароматные, диаметром 4–5 см. Лепестки желтые с выемчатой верхушкой. Плоды шаровидные около 1.5 см, при созревании малиново-красные. Родина — Китай, Корея.

Климат Благовещенска резко континентальный с муссонными чертами: большая часть (92%) суммарного годового количества атмосферных осадков (576 мм) приходится на теплый период с максимумом в июле–августе. К климатическим факторам, осложняющим введение растений в культуру на юге Амурской обл., следует отнести периодически повторяющиеся катастрофические наводнения, глубокое промерзание почвы в зимний период вследствие маломощного снежного покрова и ее весеннее иссушение. По данным прошлого столетия [14], среднегодовая температура воздуха в городе составляла около 0 °С, продолжительность вегетационного периода — 170 дней, периода активных температур — 134 дня. Абсолютный минимум температуры (–45.4 °С) в г. Благовещенске зафиксирован в январе 1980 г., абсолютный максимум температуры (+39.4 °С) отмечен в июне 2010 г.

Фенологические наблюдения проводили по общепринятым методикам [15, 16]. Описание прохождения фенологических фаз растениями проводилось в соответствии с сезонами и подсезонами года, выделенными Г.В. Коротаевым на основе многолетних наблюдений климата в г. Благовещенске [14] с учетом собственных наблюдений, полученных при изучении ритмов сезонного развития спирей [13]. Естественная периодизация года основана на том, что видам местной флоры свойственна сопряженность биологических ритмов с местными сезонными природно-климатическими явлениями, выработавшаяся в процессе длительной эволюции. Фенологические сезоны представляют собой относительно обособленные этапы годичного природного цикла с определенной направленностью ритмов растений. Так, фенологическая весна характеризуется выходом древесных растений из состояния вынужденного покоя, началом вегетации и цветения североцветных древесных растений. Фенологическим летом ограничивается сезон завершения роста побегов и листьев, а также цветения остальных древесных пород. Фенологическая осень — это сезон завершения вегетации у древесных растений, созревания семян, диссеминации и вступления растений в состояние глубокого покоя. Фенологические подсезоны характеризуются большей однотипностью присущих им фенологический процессов. Начало весны (НВ) характеризует цветение местных древесных пород из родов *Alnus* Mill., *Betula* L., *Salix* L., *Populus* L., а разгар весны (РВ) — начало роста листьев у древесных пород. Летний период подразделяется на начало лета (НЛ), индикатором которого является цветение *Armeniaca mandshurica* (Maxim.) Skvortsov, разветвление листьев у *Phellodendron amurense* Rupr., *Juglans mandshurica* Maxim. и *Maackia amurensis* Rupr. et Maxim., полное лето (ПЛ) — время роста побегов и цветения летнецветущих древесных пород и спад лета (СЛ) — период созревания плодов и семян. К осенним подсезонам принадлежат начало осени (НО) — период осенней окраски листьев и завершения вегетации аборигенных древесных пород, глубокая осень (ГО), характеризующаяся массовым листопадом, и предзимье (ПЗ) — дата устойчивого перехода суточной температуры воздуха через 0° С.

За начало вегетации принимали дату распускания почек (почечные чешуи разошлись, виден конус зеленых листьев), за окончание — дату листопада. Обработку данных фенологических наблюдений осуществляли по рекомендациям В.Н. Нилова [17]. Зимостойкость оценивали по шкале Н.Е. Булыгина [18]: I — вполне зимостойкие древесные растения (не повреждаются зимними морозами или при неблагоприятных условиях повреждаются незначительно, что не сказывается на их росте и развитии, цветении и плодоношении,

декоративности), II — сравнительно зимостойкие древесные растения (морозами повреждаются лишь в отдельные годы, но полученные повреждения не оказывают влияния на дальнейший рост и развитие), III — сравнительно незимостойкие древесные растения (морозами повреждаются регулярно, но даже при значительном обмерзании габитус сохраняется, IV — незимостойкие древесные растения (обмерзают ежегодно и сильно от чего жизненная форма меняется на полукустарник), V — совершенно незимостойкие (полное вымерзание растения).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты наблюдений за сезонным развитием шиповников (табл. 1) показали, что высокой зимостойкостью (I балл) характеризуются шиповники с ранним началом и ранним окончанием вегетации: *R. acicularis*, *R. amblyotis*, *R. davurica*. В эту группу входят виды, пункт интродукции которых находится в пределах естественного ареала. Вегетация у аборигенных видов шиповников начинается в третьей декаде апреля, в начале феноэтапа РВ, что соответствует переходу суточной температуры через +5 °С, а окончание вегетации — до наступления заморозков. Листопад у шиповников этой группы происходит синхронно с древесными породами местной флоры (*Fraxinus mandshurica* Rupr., *Betula davurica* Pall., *B. platyphylla* Sukacz.) во второй–третьей декадах сентября на феноэтапе НО. Относительно зимостойкие (II балла) шиповники (*R. maximowicziana*, *R. rugosa*) заканчивают вегетацию на феноэтапе ГО, поэтому обмерзают лишь в неблагоприятные годы. За период наблюдений повреждение побегов отмечалось нами трижды в вегетационные сезоны 2011, 2016 и 2017 гг. Менее перспективны (зимостойкость — III балла) шиповники с ранним началом вегетации и поздним ее окончанием: *R. spinosissima* и *R. xanthina* — виды из западных и более южных относительно пункта интродукции районов (Западная и Восточная Европа, Корея, Китай). Окончание вегетации у этих видов происходит на феноэтапе ПЗ. По нашим наблюдениям, в г. Благовещенске рост побегов *R. xanthina* и *R. spinosissima* продолжается до конца сентября, что приводит к неполному вызреванию древесины, а листопад происходит под воздействием отрицательных температур, либо весной следующего года. К незимостойким видам (зимостойкость — IV балла) следует отнести *R. glauca*, ритм сезонного развития которой сходен с *R. xanthina* и *R. spinosissima*. Однако, в отличие от этих видов, сильное обмерзание приводит к изменению жизненной формы растения.

По мнению О.В. Кузнецовой с соавт. [19], зимостойкость шиповников, интродуцированных в Сибирь, обусловлена также морфотипом. Авторы

Таблица 1. Сезонное развитие видов *Rosa* L. в Благовещенске (средние многолетние данные за 2010–2019 гг.)
Table 1. Seasonal development of some species of *Rosa* L. in City of Blagoveshchensk (the average multi-annual for 2010–2019)

Виды Species	Дата наступления фенофазы Date of growth stage							Продолжительность, дни Duration, days			Зимостойкость Winter hardness	
	начало вегетации beginning of vegetation	цветение flowering			плодоношение fruiting			цветения flowering	созревания плодов ripening of fruit	вегетации vegetation		
		начало beginning	конец end	массовое mass	начало окрашивания плодов beginning of fruit colouring	полное окрашивание full colouration of the fruit	зрелые плоды full maturity					
<i>Rosa acicularis</i>	24 IV ± 1.6	24 V ± 2.6	21 VI ± 1.2	29 V—06 VI	07 VII ± 1.7	03 VIII ± 2.0	24 VIII ± 2.0	20 IX ± 2.3	29 ± 1.3	49 ± 1.6	150 ± 1.2	I
<i>R. amblyotis</i>	28 IV ± 2.2	15 VI ± 2.8	14 VII ± 3.0	20—29 VI	23 VII ± 2.5	22 VIII ± 2.4	06 IX ± 2.3	20 IX ± 2.0	30 ± 2.0	46 ± 2.0	146 ± 2.4	I
<i>R. davurica</i>	26 IV ± 3.3	14 VI ± 2.8	19 VII ± 3.0	17—28 VI	24 VII ± 2.4	15 VIII ± 2.0	03 IX ± 1.6	20 IX ± 2.4	36 ± 2.0	42 ± 1.7	148 ± 1.2	I
<i>R. glauca</i>	05 V ± 4.2	26 VI ± 3.4	15 VII ± 3.0	There is no data	03 VIII ± 3.4	There is no data	There is no data	21 X ± 3.2	20 ± 4.6	There is no data	170 ± 4.0	IV
<i>R. maximowiczii</i>	07 V ± 2.8	22 VI ± 1.7	31 VII ± 1.3	29 VI—14 VII	29 VII ± 2.8	25 VIII ± 2.3	22 IX ± 3.4	09 X ± 2.2	40 ± 3.4	56 ± 2.6	156 ± 3.8	II
<i>R. rugosa</i>	09 V ± 1.6	19 VI ± 3.2	22 VII ± 3.0	28 VI—13 VII	20 VII ± 4.2	18 VIII ± 2.8	22 IX ± 3.0	09 X ± 3.2	34 ± 2.4	65 ± 3.2	154 ± 3.3	II
<i>R. spinosissima</i>	25 IV ± 2.9	31 V ± 2.3	02 VII ± 4.2	08—20 VI	02 VII ± 2.8	22VII ± 3.0	27 VIII ± 2.6	21 X ± 4.2	33 ± 4.6	57 ± 2.3	180 ± 4.6	III
<i>R. xanthina</i>	25 IV ± 3.6	27 V ± 2.3	17 VI ± 2.8	31V—06 VI	08 VII ± 3.3	29 VII ± 2.8	30 VIII ± 2.0	21 X ± 6.2	22 ± 4.8	54 ± 2.3	180 ± 4.2	III

отмечают, что представители зарослевого морфотипа (*R. acicularis*, *R. davurica*, *R. rugosa*, *R. spinosissima*) более зимостойки в сравнении с шиповниками парциально-кустового (*R. canina* L., *R. corymbifera* Borkh., *R. maximowicziana*) и рыхлокустового типов (*R. glauca*). Наши исследования выявленную закономерность не подтверждают.

Цветение у шиповников происходит в разные сроки — с конца мая до конца июля. Первыми на феноэтапе НЛ зацветают местный вид *R. acicularis* и инорайонные — *R. xanthina* и *R. spinosissima*. Начало цветения у инорайонных видов происходит до полного разворачивания листьев на побегах. Во второй половине июня на феноэтапе ПЛ зацветают все остальные виды. У *R. rugosa* единичное цветение наблюдается вплоть до начала октября, что обусловлено способностью развивать цветки на побегах текущего года, образовавшихся из расположенных в нижней части куста почек. Благодаря этому происходит увеличение периода цветения и плодоношения. В избыточно влажные годы (2013, 2018, 2019) у *R. spinosissima* наблюдали вторичное цветение в конце августа на побегах текущего года. *R. glauca* цветет не ежегодно, что связано с сильным обмерзанием в отдельные годы. Так, зимой 2016–2017 гг. произошло ее обмерзание до уровня почвы и в последующие 3 года цветение нами не отмечалось.

Период созревания плодов наблюдается от начала их окрашивания до размягчения. Продолжительность этого периода у разных видов колеблется от 46 до 65 дней и не связана с зимостойкостью. Так, приблизительно в одни и те же сроки на феноэтапе СЛ созревают плоды как у зимостойкого вида *R. acicularis*, так и у относительно незимостойких видов (*R. xanthina* и *R. spinosissima*). Полное созревание плодов у *R. amblyotis* и *R. davurica* происходит в первой декаде сентября на феноэтапе НО, индикатором которого является начало пожелтения листьев *Fraxinus mandshurica*. Позже, в третьей декаде сентября созревают плоды у *R. maximowicziana* и *R. rugosa*, у *R. glauca* плоды созревать не успевают. Ярко окрашенные плоды остаются на растениях до наступления сильных морозов, создавая декоративный эффект.

В сравнении с результатами многолетних исследований, проведенных во второй половине прошлого столетия [11], наступление основных фенофаз у *R. acicularis* и *R. davurica* в г. Благовещенске в среднем происходит на 7–10 дней раньше, а окончание вегетации — приблизительно в те же сроки. Более раннее начало вегетации, цветения и плодоношения шиповников, интродуциро-

ванных в г. Благовещенске, вероятно, обусловлено микроклиматическими условиями городской среды. Существенных различий в ритмах сезонного развития *R. maximowicziana* и *R. rugosa*, акклиматизированных в Благовещенске и на ЛОС г. Свободный, нами не выявлено. У инорайонных видов шиповников вегетационный период составляет около 180 дней, что наглядно свидетельствует об увеличении безморозного периода в г. Благовещенске в последние 3 десятилетия.

Сведения о зимостойкости, полученные для 4 видов шиповников, совпадают с данными, приведенными в литературе. Этот факт подтверждает распространенное в литературе мнение, что зимостойкость — довольно консервативное, наследственно закрепленное свойство растений. Данные о зимостойкости инорайонных видов носят предварительный характер: окончательное заключение о зимостойкости можно будет сделать лишь после перезимовки растений в условиях экстремальной зимы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение сезонного развития 8 видов шиповников в период 2010–2019 гг., интродуцированных в г. Благовещенске, показало, что сроки окончания вегетации видов имеют решающее значение для оценки их зимостойкости. *Rosa acicularis*, *R. amblyotis* и *R. davurica* в условиях культуры завершают вегетацию синхронно с местными древесными породами, что приводит к отсутствию обмерзания и позволяет отнести их к зимостойким видам. *R. maximowicziana* и *R. rugosa* оканчивают вегетацию несколько позже аборигенных видов шиповников, поэтому обмерзают лишь в неблагоприятные годы. *R. xanthina* и *R. spinosissima* вегетируют до наступления устойчивых отрицательных температур, вследствие чего ежегодно обмерзают. Все исследуемые виды, за исключением *R. glauca*, сохраняют жизненную форму, ежегодно цветут и плодоносят, что позволяет более широко использовать их в ландшафтном дизайне города. В состав главных пород ассортимента для зеленого строительства в Благовещенске, помимо видов, ранее рекомендованных для южной зоны Амурской обл., мы предлагаем включить также *R. amblyotis*. К второстепенным породам, характеризующимся наличием повреждений в зимний период, следует отнести *R. xanthina* и *R. spinosissima*. Использовать в озеленении *R. glauca* следует весьма ограниченно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коропачинский И.Ю., Встовская Т.Н., Томошевич М.А. 2011. Очередные задачи интродукции древесных растений в Азиатской России. — Сибирский экологический журнал. 18(2): 147–170. <https://www.sibran.ru/upload/iblock/1ff/1ffd5e8683aa00083735eccfbec86907.pdf>

2. Лапин П.И., Сиднева С.В. 1973. Оценка перспективности интродукции древесных растений по данным визуальных наблюдений. Опыт интродукции древесных растений. М. С. 7–67.
3. Денисов Н.И. 2004. Интродукция деревянистых лиан на юге Приморья. — Вестник ДВО РАН. 4: 84–94. <https://cyberleninka.ru/article/n/introduktsiya-derevyanistykh-lian-na-yuge-primorya>
4. Капелян А.И. 2015. Сезонный ритм развития интродуцированных видов рода *Rosa* (Rosaceae) в парке Ботанического сада БИН РАН (г. Санкт-Петербург). — Растительные ресурсы. 51(3): 357–365. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23700416>
5. Фадеева И.В., Фирсов Г.А., Булыгин Н.Е. 2009. Биоклиматическая цикличность в Санкт-Петербурге в конце XX в. и ее влияние на интродуцированную и местную дендрофлору. — Бот. журн. 94(9): 1351–1359. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17009210>
6. Фирсов Г.А., Волчанская А.В., Фадеева И.В. 2012. Уровни адаптированности древесных растений Красной книги России, интродуцированных в Санкт-Петербурге, в условиях изменения климата. — Вестн. Волгогр. гос. ун-та. 2(4): 16–27. <https://ns.jvolsu.com/index.php/ru/component/attachments/download/18>
7. Фадеева И.В. 2012. Фенологический анализ древесных растений садов и парков Санкт-Петербурга: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Москва. 24 с. <https://www.disscat.com/content/fenologicheskii-analiz-drevesnykh-rastenii-sadov-i-parkov-sankt-peterburga>
8. Ямковой В.А. 2014. Глобальное потепление в Амурской области. — Проблемы экологии Верхнего Приамурья. 16: 53–63. <https://elibrary.ru/item.asp?id=22512455>
9. Koropachinskiy I.Yu. 2015. North Asian Woody Plants. Vol. 1. Taxaceae — Rosaceae. Novosibirsk. P. 495–519.
10. Wissemann V. 2003. Conventional taxonomy (Wild Roses). — In: Roberts A., Debener T., Gudín S. [eds.]: Encyclopedia of rose science. London. P. 111–117.
11. Ассортимент древесно-кустарниковых пород для создания лесных культур, зеленого строительства и закладки садов в Амурской области (рекомендации производству). Благовещенск. 1987. 41 с.
12. Козлова А.Б., Захарова Е.Б., Черноситова Т.Н. 2018. Оценка развития и продуктивности перспективных сортов шиповника в условиях Благовещенска. — Дальневосточный аграрный вестник. 4(48): 93–97.
13. Ступникова Т.В., Семенко В.В. 2019. Сезонный ритм развития и зимостойкость некоторых видов рода *Spiraea* (Rosaceae) в условиях интродукции (г. Благовещенск). — Растительные ресурсы. 55(3): 389–397.
14. Коротаев Г.В. 1994. Благовещенск: Природа и экология. Благовещенск. 125 с.
15. Плотникова Л.С. 1973. Программа наблюдений за общим и сезонным развитием лиственных древесных растений при их интродукции. — В кн.: Опыт интродукции древесных растений. М. С. 80–86.
16. Булыгин Н.Е. 1979. Фенологические наблюдения над древесными растениями. Л. 97 с.
17. Нилов В.Н. 1980. К методике статистической обработки материалов фенологических наблюдений. — Бот. журн. 65(2): 282–284.
18. Булыгин Н.Е. 1987. Дендрология. Методические указания к проведению учебной практики с элементами научных исследований для студентов лесохозяйственного факультета. Л. 48 с.
19. Кузнецова О.В., Васильева О.Ю., Шауло Н.Д. 2011. Интродукция декоративных растений разных жизненных форм в условиях резко континентального климата Западной Сибири. — Вестник ИРГСХА. 44–1: 89–96.

Seasonal Phenology of *Rosa* Species (Rosaceae) Introduced to the City of Blagoveshchensk (Amur Region)

T. V. Stupnikova*

Blagoveshchensk State Pedagogical University, Blagoveshchensk, Russia

*e-mail: stupnikovat@yandex.ru

Abstract—Seasonal rhythm of the development for 8 species of the genus *Rosa* L. cultivated in the urban gardens of the City of Blagoveshchensk and in the Amur branch of Botanical Garden-Institute FEB RAS was studied in 2010–2019. It was established that the date of the end of vegetation period has a significant effect on the winter hardiness of the dog-rose. The high winter hardiness of *R. acicularis* Lindl., *R. ambliotis* C.A. Mey., and *R. davurica* Pall. is due to the fact that the end of their vegetation coincides with that of the native tree species. The hardy dog-rose species (*R. acicularis*, *R. ambliotis*, *R. davurica*) and relatively hardy species (*R. maximo-wicziana* Regel, and *R. rugosa* Thunb.) were recommended for landscaping in Blagoveshchensk. Dog-rose with insufficient winter hardiness (*R. xanthina* Lindl., *R. spinosissima* L.) has a limited landscaping value. *R. glauca* Pourr. belongs to unpromising species in the agro-climatic conditions of the south Amur Region, since winterkilling leads to a change in its life form.

Keywords: vegetation period, phenological stage, winter hardiness, *Rosa*

REFERENCES

1. *Koropachinskiy I.Yu., Vstovskaya T.N., Tomoshevich M.A.* 2011. Immediate Problems in the Introduction of Woody Plants in the Asian Part of Russia. — Contemporary problems of Ecology. 2: 147–170. <https://www.sibran.ru/upload/iblock/1ff/1ffd5e8683aa00083735eccfbec86907.pdf> (In Russian)
2. *Lapin P.I., Sidneva S.V.* 1973. [Perspectives of the introduction of woody plants according to visual observations. Experience in the introduction of woody plants]. Moscow. P. 7–67. (In Russian)
3. *Denisov N.I.* 2004. Introduction of the ligneous lianas in the south of Primorye. — Vestnik of Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences. 4: 84–94. <https://cyberleninka.ru/article/n/introduktsiya-derevyanistykh-lian-na-yuge-primorya> (In Russian)
4. *Kapelyan A.I.* 2015. The rhythm of seasonal development of introduced *Rosa* (Rosaceae) species in the park of Peter The Great Botanical Garden (St. Petersburg). — Rastitelnye resursy. 51(3): 357–365. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23700416> (In Russian)
5. *Fadeeva I.V., Firsov G.A., Bulygin N.E.* 2009. Bioclimatic cyclicity in Saint-Petersburg in the late 20th century, and its influence on introduced and native dendroflora. — Botanicheskiy Zhurnal. 94(9): 1351–1359. <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-bioklimaticheskoy-tsiklichnosti-na-drevesnye-rasteniya-v-sankt-peterburge> (In Russian)
6. *Firsov G.A., Volchanskaya A.V., Fadeeva I.V.* 2012. Levels of adaptation of woody species of Red Data Book of Russia in St-Petersburg to the age of climate change. — Bulletin of Volgograd University. 2(4): 16–27. <https://ns.jvolsu.com/index.php/ru/component/attachments/download/18> (In Russian)
7. *Fadeeva I.V.* 2012. [Phenological analysis of woody plants of St. Petersburg gardens and parks: Abstr. Dis. ... Cand. (Biology) Sci.]. Moscow. 24 p. <https://www.disscat.com/content/fenologicheskii-analiz-drevesnykh-rastenii-sadov-i-parkov-sankt-peterburga> (In Russian)
8. *Yamkovoy V.A.* 2014. Global warming on the example of the Amur Region. — Ecological problems of Upper Amur Region. 16: 53–63. <https://elibrary.ru/item.asp?id=22512455> (In Russian)
9. *Koropachinskiy I.Yu.* 2015. North Asian Woody Plants. Vol. 1. Taxaceae – Rosaceae. Novosibirsk. P. 495–519.
10. *Wisseman V.* 2003. Conventional taxonomy (Wild Roses). — In: Roberts A., Debener T., Gudin S. [eds.]: Encyclopedia of rose science. London. P. 111–117.
11. [The list of tree and shrub species for artificial forests, amenity planting, and laying down gardens in the Amur Region (production recommendations)]. Blagoveshchensk. 1987. 41 p. (In Russian)
12. *Kozlova A.B., Zakharova E.B., Chernositova T.N.* 2018. Evaluation of development and productivity of perspective wild roza varieties in the conditions of Blagoveshchensk. — Far Eastern Agrarian Bulletin. 4(48): 93–97. (In Russian)
13. *Stupnikova T.V., Semenko V.V.* 2019. Seasonal rhythm of development and winter hardiness of some *Spiraea* (Rosaceae) Species under Introduction (City of Blagoveshchensk). — Rastitelnye resursy. 55(3): 389–397. (In Russian)
14. *Korotaev G.V.* 1994. [Blagoveshchensk: Nature and ecology]. Blagoveshchensk. 125 p. (In Russian)
15. *Plotnikova L.S.* 1973. [Program for the observation of the general and seasonal development of deciduous woody plants during their introduction. In the book. Experience in introducing woody plants]. Moscow. P. 80–86. (In Russian)
16. *Bulygin N.E.* 1979. [Phenological observations of woody plants]. Leningrad. 97 p. (In Russian)
17. *Nilov V.N.* 1980. On the methods of statistical treatment of the data of phenological observations. — Botanicheskiy zhurnal. 65(2): 282–284. (In Russian)
18. *Bulygin N.E.* 1987. [Dendrology. Guidelines for conducting academic training with research for the students of the Forestry Faculty]. Leningrad. 67 p. (In Russian)
19. *Kuznetsova O.V., Vasilyeva O.Yu., Shauro N.D.* 2011. Introduction of ornamental plants of different life forms in the conditions of extreme continental climate of Western Siberia. — Vestnik IrGSHA. 44(1): 89–96. (In Russian)

КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ РЕСУРСНЫХ ВИДОВ

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ЛИСТЬЕВ *PANAX GINSENG* (ARALIACEAE) В ПРИРОДНЫХ ПОПУЛЯЦИЯХ ПРИМОРСКОГО КРАЯ

© 2020 г. Н. С. Шихова¹, О. Л. Бурундукова^{1, *}, Г. Н. Бутовец¹,
Н. В. Зарубина², Н. В. Полякова³

¹ФНЦ Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, г. Владивосток, Россия

²Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток, Россия

³Институт химии ДВО РАН, г. Владивосток, Россия

*e-mail: burundukova.olga@gmail.com

Поступила в редакцию 24.01.2020 г.

После доработки 01.03.2020 г.

Принята к публикации 10.06.2020 г.

Изучен элементный состав листьев *Panax ginseng* С.А. Меу, собранных в четырех природных популяциях Приморского края. Определено содержание в них 53 химических элементов. Самые тесные положительные корреляционные связи установлены между содержанием в листьях Са и S, Mg и Si, Fe и Sr, Mn и Ba, Ge и Y. В микроэлементном составе выделена корреляционно связанная ассоциация элементов, включающая Pb, Sb, Cd, Ni, В. Для макроэлементного состава листьев *P. ginseng* характерна достаточно высокая стабильность и слабая изменчивость в зависимости от места сбора проб. Содержание микроэлементов в листьях женьшеня подвержено большей территориальной изменчивости как в накоплении отдельных элементов, так и по сумме накапливаемых элементов растениями разных популяций. Коэффициент биологического накопления (КБН) свидетельствуют о слабом почвенном накоплении большинства элементов листьями *P. ginseng*. Лишь 4 макроэлемента (S, K, Ca, P) характеризуются сильным накоплением (КБН = 8.4–1.3), остальные элементы соответствуют элементам биологического захвата, у которых величина КБН снижается от 0.51 (Cu) до 0.002 (Al, V). Специфика элементного состава листьев *P. ginseng* выразилась в пониженном содержании Mn, Pb, V, Co и в существенном обогащении K по сравнению с количественными стандартами, рассчитанными для больших территорий.

Ключевые слова: *Panax ginseng* (женьшень настоящий), лекарственные растения, химический состав, макроэлементы, микроэлементы, КБН, природные популяции, Приморский край

DOI: 10.31857/S0033994620030073

Panax ginseng С.А. Меу. (женьшень настоящий, корень-человек) относится к сем. Araliaceae Juss. (Аралиевые). Он является реликтом третичного периода и эндемиком Маньчжурской флористической области, встречается крайне редко. Вид включен в “Красные книги” Российской Федерации и Приморского края. В “Красной книге Приморского края” *Panax ginseng* отнесен к категории I (CR), соответствующей видам, находящимся в критическом состоянии (на грани исчезновения) [1]. Его естественное произрастание ограничивается южными и центральными подрайонами Уссурийского флористического р-на Российской Дальнего Востока, что территориально соответствует части Приморского и Хабаровского административных краев. Он распространен также в Северо-Восточном Китае и на Корейском полуострове [2]. В Приморском крае ареал *P. ginseng* представлен

двумя основными популяциями: Сихотэ-Алинской и Надеждинско-Хасанской [3].

Подземные органы женьшеня издавна используются как очень ценное лекарственное средство – “корень жизни”. В традиционной и официальной медицине находят применение также и надземные части растений [3]. Их биохимические особенности (особенно подземной сферы) к настоящему времени изучены достаточно детально [4–7], чего нельзя сказать об элементном составе растения. Такие исследования несомненно представляют интерес как в научном (расширение знаний об этом уникальном исчезающем виде), так и в практическом плане (новые сведения по составу нормированных и ненормированных химических элементов в лекарственном сырье *P. ginseng*). Кроме того, полученные данные позволяют определить элементы-маркеры для идентификации географиче-

ской принадлежности видов, рас и популяций редких и исчезающих растений, находящихся под охраной государства.

Ранее нами были опубликованы предварительные данные по составу 10 макро- и 6 микроэлементов в листьях *P. ginseng*, собранных на территории Хасанского и Спасского р-нов Приморского края [8]. Целью настоящих исследований являлось установление специфики элементного состава листьев *P. ginseng* на примере широкого спектра химических элементов и его соответствия принятым нормативам и стандартам.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования служили листья дикорастущих растений *P. ginseng* в возрасте 17–25 лет, собранные в конце вегетативного сезона в 11 природных лесных сообществах на территории Хасанского, Спасского, Шкотовского и Чугуевского административных р-нов Приморского края. Последние три р-на по ландшафтному районированию относятся к трем физико-географическим областям Сихотэ-Алинской среднегорно-низкогорной кедрово-широколиственной провинции: Чугуевский – к Средне-Сихотэалинской среднегорной кедрово-широколиственной; Спасский – к Уссури-Синегорской (Западно-Сихотэалинской) низкогорной, кедрово-широколиственной (в предгорьях широколиственно-дубняковой); Шкотовский – к Южноприморской среднегорной, кедрово-широколиственной, с грабом и пихтой цельнолистной [9]. Хасанский р-н принадлежит Хасанской низкогорно-равнинной широколиственной области Восточно-Маньчжурской провинции.

В связи с редкостью и ценностью изучаемого вида на анализ отбирали минимально необходимое количество листьев, которые закладывали и сушили в виде гербарных образцов. Для химического анализа были использованы навески воздушно-сухих смешанных проб из 7–10 листьев. Полученный объем фитомассы листьев позволил определить содержание макроэлементов в выборке из 11, а микро- и ультрамикроэлементов – из 8 природных местообитаний (популяций) *P. ginseng*. Анализ выполнен на содержание 53 химических элементов (ХЭ).

В ряде мест произрастания женьшеня, параллельно с растениями, были взяты образцы поверхностных горизонтов почв. Элементный анализ проб выполнен методом энерго-дисперсионной рентгенфлуоресцентной спектроскопии (РФА) на анализаторе EDX 800 HS-P (Shimadzu, Япония), оснащенном родиевым катодом, в формате количественного анализа в вакуумной среде с использованием государственных стандартных образцов сравнения (ГСО 901-76, ГСО 902-76,

ГСО 903-76, ГСО 2498-83, ГСО 2499-83, ГСО 2507-83). Содержания элементов измеряли в соответствии с методикой М-02-0604-2007 в трехкратной повторности [10]. Для определения содержания К, Са, S, Mg, P, Si, Cl в листьях навеску 0.3 г (минимально допустимую) запрессовывали в таблетку-излучатель (основа – 1.5 г борной кислоты). Спектры регистрировали по времени экспозиции 100 с в каждом энергетическом канале. Расчет концентраций производили по методу фундаментальных параметров с помощью программного комплекса спектрометра. Контроль результатов выполнен по стандартному образцу травосмеси Тр-1. Содержание остальных элементов определено методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) на спектрометре Agilent 7700 с (Agilent Technologies, США) после предварительного микроволнового разложения с HNO_3 . Элементный состав образцов определен с помощью оборудования Центров коллективного пользования: Дальневосточный центр структурных исследований ИХ ДВО РАН, Приморский центр локального элементного и изотопного анализа ДВГИ ДВО РАН.

Статистическая обработка полученных аналитических данных осуществлена с использованием пакета стандартных программ Microsoft Excel и STATISTICA 13.

Интенсивность накопления растениями химических элементов посредством корневого поглощения оценивалась с помощью коэффициента биологического накопления (КБН), который рассчитывается как отношение содержания элемента в растении к его содержанию в почве.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные данные по химическому составу листьев женьшеня, ранжированные по убыванию концентрации ХЭ, представлены в табл. 1. Ряд возглавляет Са (кальций) и завершает Lu (лютеций), уровни содержания которых соответствуют 3.7% и 0.48 мкг/кг сухого вещества листьев. Наибольшая вариабельность содержания в зависимости от условий произрастания отмечена для Cd (186%), Ni (116%), Lu (106%). Самые стабильные показатели установлены в содержании Са (19%), Sr (20%), В (21%) и Fe (23%). Обращает на себя внимание также тот факт, что большей вариабельности подвержены содержания ультрамикроэлементов, а меньшей – макроэлементов.

Корреляционный анализ элементного состава листьев *P. ginseng* был выполнен для 8 макроэлементов ($n = 11$) и 29 микроэлементов ($n = 7$). Среди макроэлементов достоверные корреляционные связи ($P < 0.05$) обнаружены между парами Са–S ($r = 0.74$), Mg–Si ($r = 0.73$), Na–Si ($r = 0.89$), Na–Mg ($r = 0.82$). Для микроэлементов анализ

Таблица 1. Содержание элементов в листьях *Panax ginseng*
Table 1. Elements content in the leaves of *Panax ginseng*

Элементы Elements	Содержание в листьях Content in leaves				Элементы Elements	Содержание в листьях Content in leaves			
	$M \pm m$	min	max	$V, \%$		$M \pm m$	min	max	$V, \%$
% сухого вещества ($n = 11$) % dry weight ($n = 11$)					As	0.11 ± 0.02	0.06	0.24	54
K	3.66 ± 0.21	2.67	4.77	19	Sn	0.10 ± 0.02	0.04	0.17	46
Ca	2.17 ± 0.17	1.09	3.37	27	Y	0.07 ± 0.01	0.04	0.16	55
Mg	0.376 ± 0.028	0.22	0.55	25	Cs	0.048 ± 0.015	0.020	0.147	86
P	0.24 ± 0.02	0.10	0.35	29	Ga	0.04 ± 0.01	0.02	0.06	31
S	0.231 ± 0.016	0.15	0.32	23	Se	0.033 ± 0.003	0.019	0.046	25
Si	0.12 ± 0.01	0.07	0.18	29	Ge	0.030 ± 0.006	0.013	0.055	55
Cl	0.11 ± 0.02	0.04	0.27	61	Be	0.028 ± 0.007	0.007	0.062	72
Na	0.007 ± 0.001	0.004	0.010	36	Sb	0.024 ± 0.004	0.015	0.047	41
мг/кг сухого вещества ($n = 8$) mg/kg dry weight ($n = 8$)					U	0.020 ± 0.004	0.004	0.036	54
Fe	154 ± 15	121.5	220.0	23	Tl	0.015 ± 0.004	0.005	0.032	65
Al	148 ± 18	68.1	214.3	33	мкг/кг сухого вещества ($n = 8$) µg/kg dry weight ($n = 8$)				
Sr	98 ± 7	56.5	117.0	20	Ce	340 ± 100	17.8	889.5	81
Ba	89 ± 9	45.7	128.9	31	La	250 ± 50	98.1	505.4	55
Mn	67 ± 8	39.8	103.5	33	Nd	140 ± 40	11.4	331.2	70
B	37 ± 3	30.2	53.6	21	Pr	50 ± 9	18.1	93.1	48
Zn	32 ± 7	16.6	67.2	63	Th	44 ± 12	11.7	112.8	75
Cu	13.1 ± 2.1	6.5	25.7	46	Sm	25 ± 7	1.69	58.78	71
Rb	10.6 ± 1.9	2.0	19.4	51	Gd	18 ± 5	1.04	40.98	67
Ni	2.4 ± 1.0	0.8	9.2	116	Dy	15 ± 4	0.97	36.68	72
Mo	0.99 ± 0.26	0.20	2.31	73	Er	7.3 ± 1.9	0.16	16.96	70
Pb	0.80 ± 0.18	0.27	1.94	65	Yb	5.6 ± 1.3	0.14	11.50	63
Cr	0.69 ± 0.08	0.36	1.02	31	Eu	5.4 ± 0.7	2.73	7.83	36
Li	0.61 ± 0.17	0.06	1.34	79	Tb	3.7 ± 0.9	1.24	7.41	61
V	0.22 ± 0.03	0.15	0.37	33	Ho	2.8 ± 0.6	1.22	6.15	55
W	0.16 ± 0.08	0.02	0.55	131	Te	2.6 ± 0.5	0.02	4.16	55
Cd	0.13 ± 0.09	0.02	0.75	186	Tm	0.94 ± 0.26	0.30	2.07	73
Co	0.12 ± 0.01	0.08	0.18	30	Lu	0.48 ± 0.19	0.02	1.56	106

Примечание. $M \pm m$ – среднее и стандартная ошибка среднего, min и max – предельные значения, V – коэффициент вариации, n – число проб.

$M \pm m$ – mean and error of the mean, min and max – limit values, V – coefficient of variation, n – number of samples.

показал наличие значимых положительных зависимостей в 29 случаях. Наиболее тесные связи установлены между следующими элементами: Fe–Sr ($r = 1.00$), Mn–Ba ($r = 1.00$), Ge–Y ($r = 0.99$), Ni–Cd ($r = 0.97$), Ni–B ($r = 0.94$), Ni–Sb ($r = 0.93$), Sb–Pb ($r = 0.93$). Максимальное же число достоверных связей зафиксировано у Pb (6) и Sb (5), а также у B, Ni, Cd, Tl (4). Ассоциация наиболее тесно корреляционно связанных элементов образована Pb, Sb, Cd, Ni, Tl, B, которые, вероятно, и составляют основной “каркас” микроэлементного состава листьев *P. ginseng*. Интересно также от-

метить, что единственная достоверная отрицательная зависимость в выборке микроэлементов установлена между содержанием в листьях As и Rb ($r = -0.79$). А вот для Cu, Mo, Sn и Li на данном уровне существенности не выявлено достоверных корреляционных связей не с одним из рассматриваемых микроэлементов.

Значимых корреляционных связей между содержанием макро- и микроэлементов в листьях *P. ginseng* оказалось не так много. Они установлены между Si ($r = 0.81$), Na ($r = 0.80$), Mg ($r = 0.79$), с одной стороны, и Co – с другой. Содержание Mg

Таблица 2. Географическая изменчивость макроэлементного состава листьев *Panax ginseng*
Table 2. Geographic variation of *Panax ginseng* leaves macroelement composition

Популяции Populations	n	Содержание макроэлементов, % сухого вещества Macroelement content, % of dry matter							
		Ca	K	S	Mg	Si	P	Cl	Na
Хасанская Khasan	2	3.2	1.6	0.40	0.22	0.22	0.14	0.07	—
Спасская Spassk	5	3.5	2.3	0.40	0.26	0.25	0.13	0.08	0.01
Шкотовская Shkotovsk	3	4.5	2.4	0.30	0.22	0.24	0.08	0.17	0.01
Чугуевская Chuguevsk	1	3.0	2.3	0.22	0.19	0.15	0.10	0.13	<0.01
Среднее Mean		3.6	2.1	0.30	0.22	0.21	0.11	0.12	0.01
V, %		19	17	27	12	21	23	40	27

Примечание. n — число местообитаний, V — коэффициент вариации.
 Note. n — number of habitats, V — coefficient of variation.

связано, кроме того, с содержанием Be ($r = 0.87$) и Cu ($r = 0.76$). Из других макроэлементов достоверные корреляционные зависимости обнаружены у Cl — с Zn ($r = 0.89$), у P — с Fe и Sr ($r = 0.77$), а также Li ($r = -0.79$). Корреляционным анализом установлена также отрицательная связь между содержанием в листьях женьшеня калия, с одной стороны, и Al ($r = -0.91$), Ge ($r = -0.80$), Cs ($r = -0.78$), Y ($r = -0.76$) — с другой.

Полученный фактический материал позволил в какой-то мере оценить и региональную изменчивость элементного состава листьев разных приморских популяций *P. ginseng*. Для этих целей был использован коэффициент относительной интенсивности накопления химических элементов — ОИН. Он рассчитывается как отношение содержания элемента в том, или ином объекте, к его среднему содержанию в выборке. Вариабельность макроэлементного состава листьев женьшеня оценивали по выборке из 4-х популяций, микроэлементов — из 3-х популяций. Несмотря на то, что ограниченный фактический материал, связанный с природоохранным статусом и редкостью объекта наших исследований, не смог обеспечить высокую репрезентативность сравниваемых выборок данных, однако некоторые закономерности региональной специфики этого вида были выявлены.

В частности, было установлено, что содержание макроэлементов в сравниваемых популяциях достаточно стабильно (табл. 2), изменяясь по величине коэффициента вариации от 12% (Mg) до 40% (Cl). Значения коэффициентов ОИН для 7 макроэлементов, обнаруженных в листьях приморских популяций женьшеня, и их суммарное

накопление представлены на рис. 1. Несколько большая доля (16–20%) в сумме накопленных макроэлементов в Хасанской популяции приходится на P и S, в Спасской — на S, Mg и Si, в Шкотовской — на Cl и Ca, в Чугуевской — на K и Cl. Разница между максимальным (Шкотовская популяция) и минимальным (Чугуевская популяция) показателем суммарного накопления макроэлементов не превышает 1.3 раза.

Межпопуляционную изменчивость микроэлементного состава листьев *P. ginseng* оценивали по аналитическим данным, полученным для Спасской ($n = 5$), Шкотовской ($n = 2$) и Чугуевской ($n = 1$) популяций. Выяснилось, что содержание микроэлементов по сравнению с макроэлементами в листьях женьшеня подвержено значительно большей территориальной вариабельности (табл. 3). Максимальные коэффициенты вариации зафиксированы в накоплении W (113%), Be (67%), Rb (66%) и Mo (65%). Самые стабильные значения (коэффициенты вариации не превышают 8–10%) присущи Se, V и Sn. Суммарные величины ОИН для 29 микроэлементов в сравниваемых региональных популяциях женьшеня представлены на рис. 2. Установлено, что суммарное значение ОИН микроэлементов в листьях женьшеня Спасской популяции в 1.5 раза выше, чем в Шкотовской. Наибольший вклад в суммарное накопление элементов при этом в Спасской популяции вносят W (ОИН = 2.3), Be (1.7), Ni и Cd (1.6), Tl (1.5), менее существенно — Cu, Mo и Ga (1.4), а также Al, Mn, Ba, Rb, Co и Y (1.3). В Шкотовской популяции более активно накапливаются Rb (ОИН = 1.5), Mo (1.4) и Cs (1.3); в Чугуевской — Zn и As (ОИН = 1.7), а также U (1.3). Спасская и Шкотовская популяции оказались идентичными по харак-

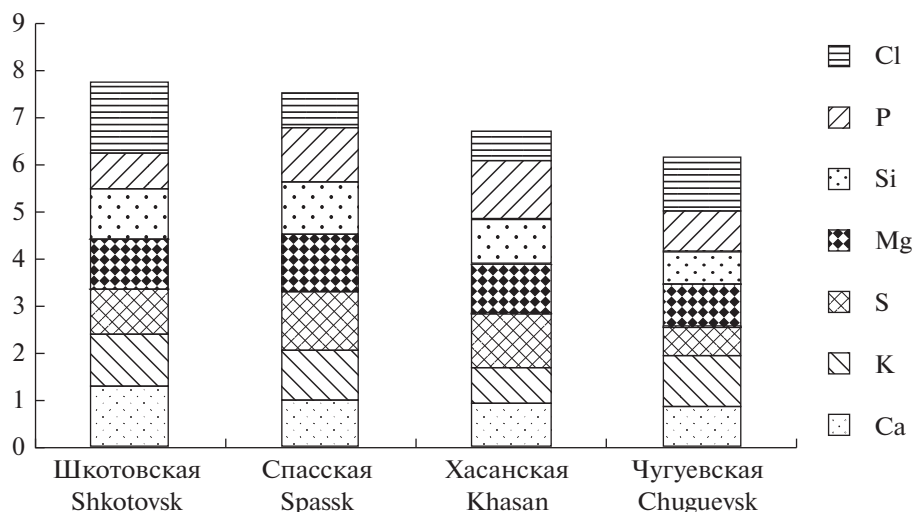


Рис. 1. Относительное накопление макроэлементов листьями *P. ginseng* в зависимости от мест произрастания. По горизонтали — региональные популяции; по вертикали — показатели относительного накопления элементов, отн. ед.
Fig. 1. Relative accumulation of major elements by leaves of *P. ginseng* from different populations. X-axis — populations; y-axis — relative accumulation of elements, arb. units.

теру накопления Rb и Mo (повышенное), Zn и As (пониженное); Спасская и Чугуевская — по Al и U (повышенное), Cs (пониженное); Шкотовская и Чугуевская — по W и Ni (пониженное). Накопление же B, V, Sn, Se было близким их средним уровням во всех сравниваемых популяциях.

Вклад почвенной составляющей в общий запас элементов в растениях и интенсивность вовлечения элементов в биологический круговорот оценивали по величине коэффициента биологического накопления (КБН). Он рассчитывался по

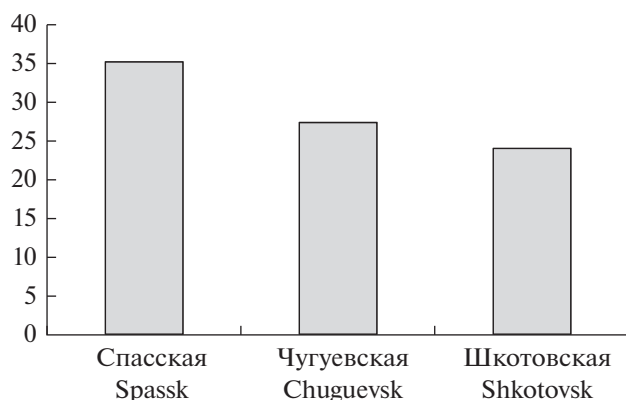


Рис. 2. Суммарное накопление микроэлементов листьями *P. ginseng* в зависимости от мест произрастания. По горизонтали — региональные популяции; по вертикали — суммарный показатель относительного накопления элементов, отн. ед.
Fig. 2. Total accumulation of trace elements by leaves of *P. ginseng* from different populations. X-axis — populations; y-axis — total accumulation of trace elements, arb. units.

средним содержаниям ХЭ в почвах и растениях Спасской, Хасанской и Шкотовской популяций женьшеня. Имеющийся фактический материал позволил определить КБН для 23 элементов, данные по некоторым из них представлены в табл. 4. Они свидетельствуют о гораздо более слабом почвенном поглощении приморских популяций *P. ginseng* всех ХЭ по сравнению с растительностью суши [11]. Максимальные отличия установлены по интенсивности накопления Co (ниже в 450 раз относительно растений суши) и Mn, Cr, Y, V, Mo (ниже в 100–200 раз). В 20–50 раз слабее приведенных литературных значений КБН поглощает женьшень из почвы также S, Fe, Ni, Si, Zn, Al, P, Rb и Na. Ранжированный ряд по интенсивности накопления ХЭ листьями *P. ginseng* возглавляет типичный макроэлемент — сера (КБН = 8.4), а заканчивают алюминий и ванадий (КБН = 0.02). Следуя концепции рядов биологического поглощения элементов А.И. Перельмана [12], средние значения КБН химических элементов листьями женьшеня позволяют выделить 4 группы элементов, отличающихся по степени их аккумуляции растениями: сильного накопления, а также среднего, слабого и очень слабого захвата (табл. 5). Лишь 4 жизненно важных макроэлемента (S, K, Ca, P) отличаются активным накоплением растениями. Большая часть рассматриваемой выборки ХЭ (83%) относится к элементам биологического захвата, для которых характерно слабое почвенное накопление листьями женьшеня. Причин такого накопления элементов растениями может быть много: физиологическая роль элементов в жизнеобеспечении растений, характер их накопления (акропетальный, базипетальный), тип на-

Таблица 3. Вариабельность микроэлементного состава листьев приморских популяций *Panax ginseng*
Table 3. Variability of microelement content in leaves of wild *Panax ginseng* populations

Элементы Elements	Содержание (мг/кг сухого вещества) Content (mg/kg dry weight)			V, %
	среднее mean (n = 3)	min	max	
Al	150	68	158	33
Fe	140	110	162	19
Sr	90	71	107	21
Mn	60	40	74	33
Ba	77	49	106	32
Zn	40	26	67	58
B	35	30	39	13
Cu	10	8	14	32
Rb	8	2	12	66
Ni	2.0	1.1	2.8	55
Mo	0.8	0.2	1.1	65
Pb	0.7	0.6	0.9	19
Cr	0.6	0.4	0.7	26
Li	0.6	0.5	0.7	19
V	0.20	0.18	0.22	9
As	0.10	0.09	0.24	60
Co	0.11	0.08	0.14	25
Sn	0.10	0.09	0.11	10
Cd	0.10	0.05	0.16	56
W	0.09	0.02	0.21	113
Y	0.06	0.04	0.08	36
Cs	0.06	0.05	0.09	30
Ga	0.04	0.03	0.05	33
Se	0.03	0.03	0.03	8
Ge	0.03	0.02	0.03	18
Be	0.02	0.01	0.03	67
Tl	0.01	0.01	0.02	44
Sb	0.002	0.002	0.003	26
U	0.002	0.001	0.002	47

Примечание. *n* – количество региональных популяций, *V* – коэффициент вариации.
 Note. *n* – number of regional populations, *V* – coefficient of variation.

копления (барьерный, безбарьерный), почвенные условия и др. Возможно, это в какой-то мере обусловлено также тем, что расчет КБН выполнен по валовым содержаниям элементов в почвах, часто малодоступным растениям.

Эколого-геохимическая специфика минерального состава растений чаще всего оценивается путем сравнения его либо с близкими видами, либо с кларковыми величинами, рассчитанными для больших территорий. Оригинальность химиче-

ского состава объекта наших исследований была установлена сопоставлением его с кларком растений суши (КРС) [11, 13], нормальным содержанием в зрелых тканях листьев (НТЛ) [14] и “референтным растением” (РР) [15]. Были использованы также рассчитанные нами по обобщенным литературным данным условно средние содержания ХЭ в листьях и надземной части лекарственных растений Российской Федерации и прилегающих территорий (РЛС) [16–30].

Таблица 4. Коэффициенты биологического накопления элементов листьями приморских популяций *Panax ginseng*
Table 4. Coefficients of biological accumulation of elements in leaves of *Panax ginseng*

Популяции Populations	Коэффициент биологического накопления Biological accumulation coefficient												
	K	P	Ca	Mg	Na	Si	Cu	Zn	Sr	Rb	Mn	Al	Fe
Спасская Spassk	4.19	2.79	0.99	0.78	0.92	0.004	0.62	0.44	0.51	0.12	0.07	0.03	0.010
Хасанская Khasan	3.97	1.41	0.92	1.08	0.45	0.007	1.46	1.15	0.30	0.33	0.05	0.02	0.008
Шкотовская Shkotovsk	4.93	3.40	0.96	0.61	1.01	0.003	1.90	0.46	0.16	0.24	0.17	0.03	0.009
Среднее Mean	4.37	2.54	0.96	0.82	0.79	0.005	1.33	0.69	0.32	0.23	0.10	0.02	0.009
Растительность суши [11] Land vegetation [11]	10.4	57.5	14.4	5.3	1.0	0.3	2.27	11.76	3.04	0.56	6.86	0.1	0.1

Таблица 5. Ряды биологического накопления химических элементов листьями *Panax ginseng*
Table 5. Rows of biological accumulation of chemical elements by *Panax ginseng* leaves

Элементы Elements	КБН BAC	Группы по интенсивности биологического накопления элементов Levels of biological accumulation of elements
S	8.4	Сильного накопления High level of accumulation
K	2.5	
Ca	1.7	
P	1.3	
Cu	0.51	Среднего захвата Moderate capture
Mg	0.47	
Zn	0.34	
Sr	0.27	
Ba	0.13	
Rb	0.09	
Ni	0.05	Слабого захвата Low capture
Mn	0.05	
Mo	0.04	
Pb	0.03	
Na	0.02	
Si	0.01	
Cr	0.01	
Ga	0.004	Очень слабого захвата Very low capture
Fe	0.004	
Co	0.003	
Y	0.003	
Al	0.002	
V	0.002	

Примечание. КБН – коэффициент биологического накопления
 Note. BAC – biological accumulation coefficient.

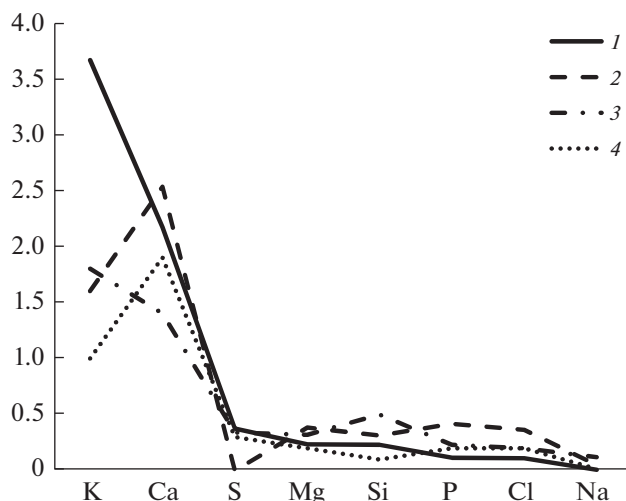


Рис. 3. Сравнительный анализ содержания макроэлементов в листьях *P. ginseng* с их кларковыми значениями и средними концентрациями в стандартных выборках растений.

По горизонтали — химические элементы; по вертикали — содержание элементов, % сухого вещества. 1 — *P. ginseng*, 2 — лекарственное растительное сырье, 3 — кларк растений суши, 4 — референтное растение.

Fig. 3. Comparative analysis of the major element content in *P. ginseng* leaves with Clarke values and average concentrations in standard plant samples.

X-axis — chemical elements; y-axis — elemental content, % d.w. 1 — *P. ginseng*, 2 — medicinal plants, 3 — Clarke value for land plants, 4 — reference plant.

Результаты сравнительного анализа листьев женьшеня со стандартными показателями представлены в виде графиков на рис. 3 и 4. Они свидетельствуют о том, что женьшень превосходит

все сравниваемые количественные стандарты лишь по содержанию К и Са. При этом содержание калия в листьях женьшеня выше РР в 3.7 раза, ЛРС — в 2.3 раза и КРС — в 2 раза. Обогащение листьев женьшеня медью менее значимо — 1.3–1.6 раз, но при этом ее концентрация соответствует норме для зрелых тканей листьев (НТЛ). Установлено также, что содержание Ni и Mo в листьях женьшеня близко среднему содержанию в лекарственных растениях; S, Zn, As, U — кларку растений суши; Ca, Fe, As — “референтному растению”. Однако для более половины ХЭ из состава листьев женьшеня наиболее типично все-таки их пониженное содержание по сравнению со сравниваемыми стандартами. Это в наибольшей степени относится к концентрации Mn, Pb, V и Co (ниже всех рассматриваемых стандартов), а также P, Cl, Na, Cr, Sn, Y, Cs и Ga (ниже уровней ЛРС, КРС и РР). В то же время содержание Mn, B, Zn, Ni, Mo, V, Cd, Co, Se в листьях женьшеня соответствует нормальному для зрелых тканей листьев (НТЛ).

Наиболее же близким по сути и актуальным по значимости для объекта настоящих исследований является все-таки минеральный состав лекарственных растений. Сравнивая содержание макро- и микроэлементов в листьях *P. ginseng* с их условно средними величинами в ЛРС, отмечается значительное обогащение листьев женьшеня Sb и Ca (2.4–2.3-кратное), в меньшей степени — Cu (1.4-кратное). Установлены близкие содержания по K, Ni, Sr, B и Mo. Накопление остальных проанализированных элементов в листьях женьшеня ниже, чем в других лекарственных растениях,

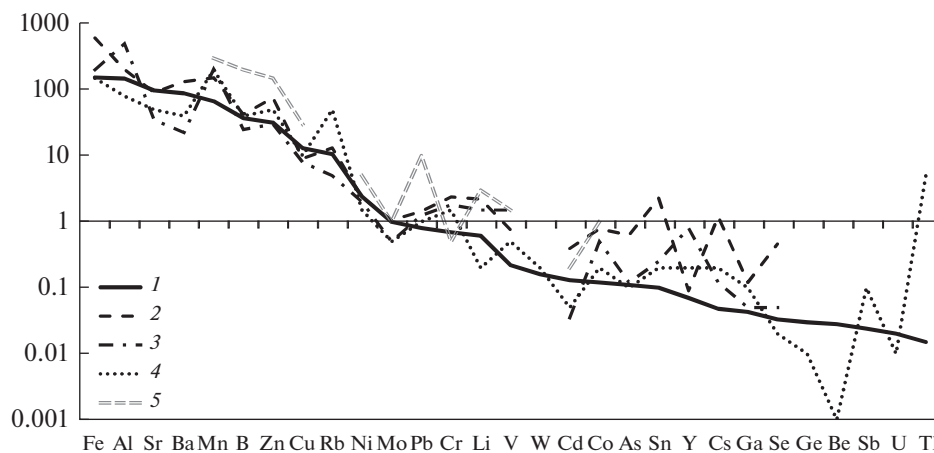


Рис. 4. Сравнительный анализ содержания микроэлементов в листьях *P. ginseng* с их кларковыми значениями и средними концентрациями в стандартных выборках растений.

По горизонтали — химические элементы; по вертикали — содержание элементов, мг/кг сухого вещества. 1 — *P. ginseng*, 2 — лекарственное растительное сырье, 3 — кларк растений суши, 4 — референтное растение, 5 — нормальное содержание в зрелых тканях листьев.

Fig. 4. Comparative analysis of the trace element content in *P. ginseng* leaves with Clarke values and average concentrations in standard plant samples.

X-axis — chemical elements; y-axis — elemental content, mg/kg dry weight. 1 — *P. ginseng*, 2 — medicinal plants, 3 — Clarke value for land plants, 4 — reference plant, 5 — normal content in mature leaf tissues.

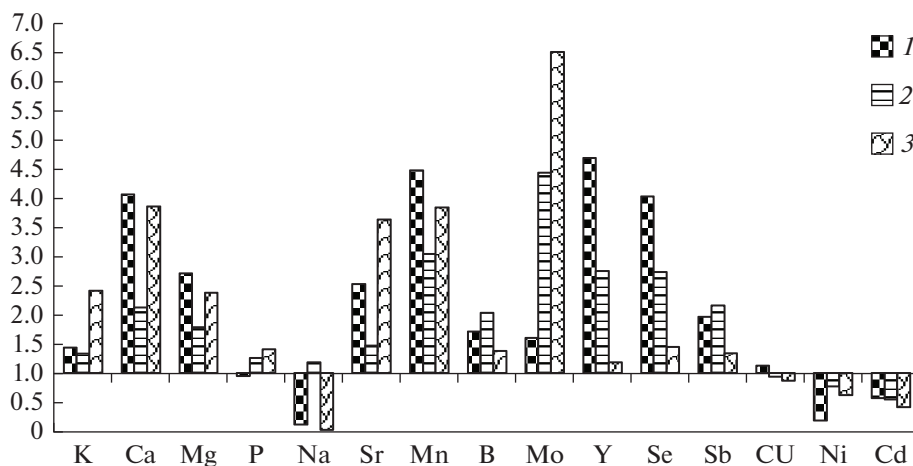


Рис. 5. Соотношение содержания химических элементов в листьях и других органах *P. ginseng*.

По горизонтали — химические элементы; по вертикали — кратность содержания элементов в листьях относительно семян (1), стеблей (2) и главного корня (3) женьшеня, раз.

Fig. 5. Ratio of elemental content in leaves and other organs of *P. ginseng*.

X-axis — chemical elements; y-axis — ratio (fold) of the element content in leaves to its content in seeds (1), stems (2) and main roots (3) of ginseng, fold.

особенно по уровню Cs (в 25 раз), Sn (23 раза), Se (14 раз), Na, Co, As (6–7 раз) и Fe, P, Cl, Li, V, Cr, Cd (3–4 раза).

Согласно современным требованиям норм безопасности для лекарственного растительного сырья (ЛРС) и лекарственных растительных препаратов, строгой регламентации подлежит содержание лишь 4 тяжелых металлов. Предельное содержание свинца в ЛРС не должно превышать 6.0 мг/кг, кадмия — 1.0 мг/кг, ртути — 0.1 мг/кг, мышьяка — 0.5 мг/кг (ОФС.1.5.3.0009.15) [31]. Судя по полученным нами данным (табл. 1), уровни содержания Pb, Cd и As в листьях *P. ginseng* существенно ниже регламентируемых пределов.

Интересными в научном плане и значимыми в практическом использовании женьшеня в качестве ЛРС являются вопросы его общего минерального состава и распределения химических элементов по органам растения. Нами была предпринята попытка в какой-то мере приблизиться к решению этой научной проблемы на основе имеющегося небольшого фактического материала. Он представлен осенними сборами семян, листьев, стеблей и подземной части *P. ginseng*, принадлежащими Спасской популяции. К сожалению, выборки были представлены не целыми растениями, а смешанными пробами из разных местообитаний в 2-х повторностях по каждой фракции растений. Полученные аналитические данные позволили сравнить содержание 5 макроэлементов (K, Ca, Mg, P, Na) и 29 микроэлементов в листьях женьшеня с их содержанием в семенах, стеблях и главном корне.

Было установлено, что содержание всех макроэлементов, за исключением Na, в листьях женьшеня выше, чем в остальных сравниваемых фракциях растения (рис. 5). Наибольшие превышения (до 4 раз) установлены в содержании Ca по отношению к семенам и подземной части. В то же время по концентрации Na листья уступают семенам в 8 раз, а корню — до 30 раз.

В содержании микроэлементов также прослеживается их преимущественное накопление в листьях по сравнению с семенами и стеблями. Они, по сравнению с семенами, накапливают в разной степени 18 элементов (64% общего состава ХЭ) и максимально обогащены Be (8 раз), Y (4.7 раз) и Mn (4.5 раз). В то же время листья беднее семян по содержанию W (20 раз), Ni (5.2 р.), Cr, Co, Zn и Cd (1.3–1.7 р.). В сравнении со стеблями листья интенсивнее аккумулируют 23 ХЭ (79% состава) и особенно активно Fe (в 6.3 раза), V (5.0 р.), Ge и Mo (4.5 р.). Однако содержание 4 элементов в листьях ниже, чем в стеблях: Ba и Cd — до 2 раз, Zn — в 1.6 раза, Ni — в 1.3 раза.

Контрастность микроэлементного состава листьев и подземной части *P. ginseng* более выражена: 41% общего состава элементов характеризуются преимущественным накоплением в листьях, 31% — в корне и 21% — их близким содержанием. Листья в большей степени обогащены Mo (6.5 раз), Li и Mn (до 4 р.), Sr (3.6 р.), Ba (2.4 р.), W (1.8 р.) и менее существенно (1.2–1.4 р.) — Y, Cr, Rb, Sb, B, Se. Подземные органы доминируют в накоплении Sn (5 раз), Al и Cs (до 3 р.), а также V, Cd, Ga, As (до 2 р.) и менее значимо — Ni, Pb, Fe, Co (1.2–1.5 р.). Концентрации же U, Tl, Zn, Cu, Be, Ge в листьях и

главном корне женьшеня оказались достаточно близкими.

В целом, анализ распределения элементов по органам *P. ginseng* показал, что в листьях проанализированной выборки женьшеня содержание К, Са, Mg, Mo, Mn, Y, Se, Sr, Sb и В стабильно выше, Cu — близко, а Ni и Cd — ниже по сравнению с остальными фракциями растения (рис. 5). Для остальных ХЭ не установлено строгой дифференциации по органам растения, но у многих из них выявлена тенденция к преимущественному накоплению в листьях. Несомненно, эти выводы носят предварительный характер и требуют дальнейших исследований на более представительном фактическом материале.

ВЫВОДЫ

Получены новые данные по элементному составу листьев *P. ginseng* природных популяций Юга Российского Дальнего Востока. Эколого-геохимическая специфика минерального состава женьшеня заключается в пониженном содержании большинства химических элементов по сравнению с кларковыми величинами и стандартными значениями для больших выборок растений. Особенно это характерно для Mn, Pb, V и Co, содержание которых ниже всех сравниваемых стандартов. В то же время их существенно превосходят концентрации в листьях К (до 3.7 раз) и в несколько меньшей степени — Cu (до 1.6 раза). Существенно ниже требуемых санитарно-гигиенических норм безопасности для лекарственного растительного сырья содержание в листьях *P. ginseng* Pb, Cd и As.

Установлены достоверно значимые положительные корреляционные связи между содержанием в листьях женьшеня Са и S, Mg и Si, Fe и Sr,

Mn и Ba, Ge и Y, а также отрицательные — между As и Rb. В микроэлементном составе листьев выделена тесно связанная ассоциация элементов, объединяющая Pb, Sb, Cd, Ni, В.

Отмечена высокая стабильность макроэлементного состава листьев женьшеня. Содержание же микроэлементов подвержено большей вариативности как по отдельным элементам (особенно W, Be, Rb, Mo), так и по сумме накапливаемых элементов растениями территориально различающихся популяций. Максимальные отличия установлены между растениями Спасской (максимальное накопление суммы ХЭ) и Шкотовской (минимальное накопление) популяций — 1.5 раза.

Оценена интенсивность почвенного накопления элементов листьями женьшеня посредством КБН. Лишь у 4 жизненно важных макроэлементов (S, К, Са, Р) отмечено сильное накопление (КБН = 8–1), в то время как основная часть рассматриваемой выборки ХЭ относится к элементам биологического захвата, которым присуще слабое почвенное накопление растениями (КБН <1).

Отмечена тенденция в преимущественном накоплении всех макроэлементов (за исключением Na) в листьях *P. ginseng* относительно его семян, стеблей и подземной части и большинства микроэлементов относительно семян и стеблей. По сравнению с подземной частью листа женьшеня существенно обогащены Mo, Li, Mn, Sr, Ba и W (в 2–6 раз), но беднее Sn, Al, Cs, V, Cd, Ga и As (в 2–5 раз).

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 19-016-00147А.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Красная книга Приморского края: Растения. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений и грибов. 2008. Владивосток. 688 с. http://redbookpk.ru/index_plants.html
2. Сосудистые растения Советского Дальнего Востока. 1987. Т. 2. Л. 446 с.
3. Журавлев Ю.Н., Коляда А.С. 1996. Araliaceae: женьшень и другие. Владивосток. 280 с.
4. Маханьков В.В., Самошина Н.Ф., Уварова Н.И., Еляков Г.Б. 1993. Анализ нейтральных гинзенозидов диких и плантационных корней *Panax ginseng*, произрастающих в Приморье. — Химия природных соединений. 2: 237–242.
5. Маханьков В.В., Бурундукова О.Л., Музарок Т.И., Уварова Н.И., Журавлев Ю.Н. 2007. Содержание гинзенозидов в листьях *P. ginseng* С.А. Меу в зависимости от возраста растений. — Растительные ресурсы. 43(3): 107–115. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9538751>
6. Svetashev V.I., Burundukova O.L., Muzarok T.I., Zhuravlev Y.N. 2016. Fatty Acid Composition of Seeds from Wild and Cultivated Ginseng (*Panax ginseng* Meyer): Occurrence of a High Level of Petroselinic Acid. — J. Am. Oil Chem. Soc. 93(9): 1319–1323. <https://doi.org/10.1007/s11746-016-2864-z>
7. Wu W., Jiao C., Li H., Ma Y., Jiao L., Liu S. 2018. LC-MS based metabolic and metabonomic studies of *Panax ginseng*. — Phytochem. Analysis. 29: 331–340. <https://doi.org/10.1002/pca.2752>

8. Бурундукова О.Л., Полякова Н.В., Шихова Н.С., Музарок Т.И. 2016. Элементный состав листьев дикорастущего женьшеня (*Panax ginseng* С.А. Меу.). — Вестник КрасГАУ. 4: 107–112.
http://www.kgau.ru/vestnik/2016_4/content/18.pdf
9. Ивашинников Ю.К. 1999. Физическая география Дальнего Востока России. Владивосток. 324 с.
10. Методика выполнения измерений массовой доли кремния, кальция, титана, ванадия, хрома, бария, марганца, железа, никеля, меди, цинка, мышьяка, стронция, свинца, циркония, молибдена в порошковых пробах почв и донных отложений рентгеноспектральным методом с применением энергодисперсионных рентгенофлуоресцентных спектрометров типа EDX фирмы Shimadzu. М-02-0604-2007. 2007. СПб. 17 с.
11. Добровольский В.В. 1998. Основы биогеохимии: Учеб. пособие. М. 413 с.
12. Перельман А.И. 1979. Геохимия: Учеб. пособие. М. 423 с.
13. Bowen H.J.M. 1966. Trace elements in biochemistry. London; New York. 240 p.
14. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. 1989. Микроэлементы в почвах и растениях. М. 439 с.
15. Markert B. 1992. Establishing of “Reference plant” for inorganic characterization of different plant species by chemical fingerprinting. — Water Air Soil Pollut. 64(3–4): 533–538.
<https://doi.org/10.1007/BF00483363>
16. Ловкова М.Я., Шелепова О.В., Соколова С.М., Сабирова Н.С., Рабинович А.М. 1993. Селен в лекарственных растениях флоры России. — Известия РАН. Серия биологическая. 6: 833–838.
17. Ловкова М.Я., Бузук Г.Н., Соколова С.М., Климентьева Н.И., Пономарева С.М., Шелепова О.В., Воротницкая И.Е. 1996. Лекарственные растения — концентраторы хрома. Роль хрома в метаболизме алкалоидов. — Известия РАН. Серия биологическая. 5: 552–564.
18. Ловкова М.Я., Соколова С.М., Бузук Г.Н., Шелепова О.В., Пономарева С.М. 1997. Избирательное накопление элементов растениями, синтезирующими сапонины. — Прикладная биохимия и микробиология. 33(6): 635–642.
19. Ловкова М.Я., Соколова С.М., Бузук Г.Н., Быховский В.Я., Пономарева С.М. 1999а. Некоторые особенности элементного состава лекарственных растений, синтезирующих фенольные соединения. — Прикладная биохимия и микробиология. 35(5): 578–589.
20. Ловкова М.Я., Соколова С.М., Пономарева С.М., Бузук Г.Н., Климентьева Н.И. 1999б. Специфичность элементного состава лекарственных растений, синтезирующих алкалоиды. — Прикладная биохимия и микробиология. 35(1): 75–84.
21. Ловкова М.Я., Соколова С.М., Бузук Г.Н. 2007. Лекарственные растения — концентраторы лития и их применение в медицине. — Доклады Академии наук. 412(5): 713–715. <https://elibrary.ru/item.asp?id=9505850>
22. Ловкова М.Я., Бузук Г.Н. 2009. Фармакологическая активность лекарственных растений-концентраторов и сверхконцентраторов меди. — Микроэлементы в медицине. 10(1–2): 63–70.
http://journal.microelements.ru/trace_elements_in_medicine/2009_1-2/63-70_2009.pdf
23. Танцорова И.Г. 2004. Эколого-фармакогностическое исследование некоторых лекарственных растений Кемеровской области: Автореф. дис. ... канд. фарм. наук. Томск. 23 с.
24. Самсонова О.Е. 2006. Биоэлементы Mn, Cu, Zn в некоторых полезных и ядовитых растениях Ставрополя. — Вестник ОГУ. 12 (Приложения): 217–219. http://vestnik.osu.ru/2006_12_1/69.pdf
25. Ключникова Н.Ф., Голубкина Н.А., Сенькевич О.А., Ключников П.Ф. 2009. Селен в лекарственных растениях Хабаровского края. — Бюллетень Ботанического сада-института ДВО РАН. 4: 37–40.
http://botsad.ru/media/oldfiles/journal/number4/number4_37-40.pdf
26. Кашин В.К. 2010. Микроэлементный состав некоторых лекарственных растений Забайкалья. — Растительные ресурсы. 46 (3): 73–85.
27. Кашин В.К. 2011. Условно необходимые микроэлементы в лекарственных растениях Забайкалья. — Химия в интересах устойчивого развития. 19(3): 259–266.
<https://sibran.ru/upload/iblock/35f/35f2739c07ddccd383c8192ade425888.pdf>
28. Федько И.В., Коломиец Н.Э., Калинкина Г.И., Барчук А.Д. 2013. Природные микроэлементы для профилактики и лечения туберкулеза легких. — Известия Самарского научного центра РАН. 15(3–6): 1976–1979.
http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2013/2013_3_1976_1979.pdf
29. Иваненко Н.В., Ковековдова Л.Т. 2014. Микроэлементный состав лекарственных растений Приморского края. — Тихоокеанский медицинский журнал. 2: 18–21. <https://elibrary.ru/item.asp?id=22002279>
30. Игамбердиева П.К., Данилова Е.А., Осинская Н.С. 2016. Исследование содержания химических элементов в лекарственных растениях Южной Ферганы и перспективы применения их при лечении заболеваний. — Микроэлементы в медицине. 17(3): 48–53.
<https://doi.org/10.19112/2413-6174-2016-17-3-48-53>
31. Государственная фармакопея Российской Федерации. 2015. 13-е изд. М. Т. 2. 1004 с.
http://193.232.7.120/feml/clinical_ref/pharmacopoeia_2_html/HTML/

Elemental Composition of the Leaves of *Panax ginseng* (Araliaceae) in Natural Populations of the Primorye Territory

N. S. Shikhova^a, O. L. Burundukova^{a, *}, G. N. Butovets^a, N. V. Zarubina^b, N. V. Polyakova^c

^aFederal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity FEB RAS, Vladivostok, Russia

^bInstitute Geology FEB RAS, Vladivostok, Russia

^cInstitute Chemistry FEB RAS, Vladivostok, Russia

*e-mail: burundukova.olga@gmail.com

Abstract—The elemental composition of the leaves of *Panax ginseng* C.A. Mey., collected in four natural populations of the Primorye Territory, was studied. The content of 53 chemical elements was determined. Groups of major, trace and ultratrace elements were distinguished. The high positive correlation between the content of Ca and S, Mg and Si, Fe and Sr, Mn and Ba, Ge and Y in the leaves was established. A correlation-related association of elements, including Pb, Sb, Cd, Ni, B, was identified in the trace element composition. A negative correlation was found between the content of As and Rb in the leaves. The major element composition of *P. ginseng* leaves is characterized by a significant stability. The maximum accumulation of chemical elements found in Shkotov population was 1.3 times higher than the minimum one in Chuguevsk population. Depending on the geographical location, the content of trace elements in ginseng leaves varies both in the accumulation of individual elements and in the sum of accumulated elements. The maximum values of the coefficient of variation were observed in the content of W (113%), Be, Rb, Mo (65–67%). For the compared ginseng populations, the border values of the total accumulation of trace elements differ by 1.5 times with maximum value for Spassk population, and the minimum one for the Shkotov population. The biological accumulation coefficient (BAC) indicates the poor accumulation of most elements by *P. ginseng* leaves. Only 4 major elements (S, K, Ca, P) are characterized by high accumulation (BAC = 8.4–1.3). The BAC of other elements decreases from 0, 51 (Cu) to 0.002 (Al, V), and reflects biological capturing of elements. The tendency of predominant accumulation of all major elements (except Na) in the *P. ginseng* leaves as opposed to seeds, stems and underground parts was observed. The specificity of *P. ginseng* leaves elemental composition was expressed in a reduced content of Mn, Pb, V, Co, and in a significant enrichment of K over standard values calculated for large areas.

Keywords: *Panax ginseng* (Asiatic ginseng), medicinal plants, chemical composition, major elements (macronutrients), trace elements (micronutrients), BAC (biological accumulation coefficient), natural populations, Primorye Territory

ACKNOWLEDGEMENTS

The reported study was funded by RFBR according to the research project № 19-016-00147A.

REFERENCES

1. [Red Data Book of the Primorsky Territory: Plants. Rare and Endangered Species of Plants and Fungi]. 2008. Vladivostok. 688 p. (In Russian)
2. [Vascular plants of the Soviet Far East]. 1987. T. 2. Leningrad. 446 p. (In Russian)
3. Zhuravlev Yu.N., Kolyada A.S. 1996. Araliaceae: ginseng and others. — Vladivostok. 280 p.
4. Makhankov V.V., Samoshina N.F., Uvarova N.I., Yelyakov G.B. 1993. Analysis of neutral ginsenosides of wild and plantation roots of *Panax ginseng* growing in maritime territory. — Chem Nat Compd. 29(2): 196–199. <https://doi.org/10.1007/BF00630114>
5. Makhankov V.V., Burundukova O.L., Muzarok T.I., Uvarova N.I., Zhuravlev YU.N. 2007. Ginsenosides content in *Panax ginseng* C.A. leaves depending on the plants age. — Rastitelnye resursy. 43(3): 107–115. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9538751> (In Russian)
6. Svetashev V.I., Burundukova O.L., Muzarok T.I., Zhuravlev Y.N. 2016. Fatty Acid Composition of Seeds from Wild and Cultivated Ginseng (*Panax ginseng* Meyer): Occurrence of a High Level of Petroselinic Acid. — J. Am. Oil Chem. Soc. 93(9): 1319–1323. <https://doi.org/10.1007/s11746-016-2864-z>
7. Wu W., Jiao C., Li H., Ma Y., Jiao L., Liu S. 2018. LC-MS based metabolic and metabonomic studies of *Panax ginseng*. — Phytochem. Analysis. 29: 331–340. <https://doi.org/10.1002/pca.2752>
8. Burundukova O.L., Polyakova N.V., Shikhova N.S., Muzarok T.I. The elemental composition of the wild ginseng leaves (*Panax ginseng* C.A. Mey.). — The Bulletin of KrasGAU. 4: 107–112. http://www.kgau.ru/vestnik/2016_4/content/18.pdf
9. Ivashinnikov Yu.K. 1999. [Physical geography of the Russian Far East]. Vladivostok. 324 p. (In Russian)

10. [Method for measuring the mass fraction of silicon, calcium, titanium, vanadium, chromium, barium, manganese, iron, nickel, copper, zinc, arsenic, strontium, lead, zirconium, molybdenum in powder samples of soils and bottom sediments by the X-ray spectral method using EDX energy dispersive X-ray fluorescence spectrometers from Shimadzu. M-02-0604-2007]. 2007. St. Petersburg. 17 p. (In Russian)
11. Dobrovolskiy V.V. 1998. [Fundamentals of Biogeochemistry: Study Guide]. Moscow. 413 p. (In Russian)
12. Perelman A.I. 1979. [Geochemistry: Study Guide]. Moscow. 423 p. (In Russian)
13. Bowen H.J.M. 1966. Trace elements in biochemistry. London; New York. 240 p.
14. Kabata-Pendias A., Pendias H. 1989. [Trace elements in soil and plants]. Transl. from English. Moscow. 439 p. (In Russian)
15. Markert B. 1992. Establishing of 'Reference plant' for inorganic characterization of different plant species by chemical fingerprinting. — Water Air Soil Pollut. 64(3–4): 533–538.
<https://doi.org/10.1007/BF00483363>
16. Lovkova M.Ya., Shelepova O.V., Sokolova S.M., Sabirova N.S., Rabinovich A.M. 1993. Selenium in medicinal plants of the Russian Flora. — Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Biological series. 6: 833–838. (In Russian)
17. Lovkova M.Ya., Buzuc G.N., Sokolova S.M., Klimet'eva N.I., Ponomareva S.M., Shelepova O.V., Vorotnitskaya I.E. 1996. Medicinal plants as chromium concentrators: Role of chromium in metabolism of alkaloids. — Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Biological series. 5: 552–564. (In Russian)
18. Lovkova M.Ja., Ponomareva S.M., Sokolova S.M., Shelepova O.V., Buzuk G.N. 1997. Selective Accumulation of Elements by Plants Synthesizing Saponin. — Appl. Biochem. Microbiol. 33(6): 567–573.
19. Lovkova M.Ya., Bykhovsky V.Ya., Ponomareva S.M., Sokolova S.M., Buzuk G.N. 1999a. Features of the Elemental Composition of Medicinal Plants, Synthesizing Phenolic Compounds. — Appl. Biochem. Microbiol. 35(5): 514–524.
20. Lovkova M.Ja., Ponomareva S.M., Klimet'eva N.I., Sokolova S.M., Buzuk G.N., 1999b. Specificity of Elemental Compositions of Medicinal Plants Synthesizing Alkaloids. — Appl. Biochem. Microbiol. 35(1): 68–75.
21. Lovkova M.Ya., Sokolova S.M., Buzuc G.N. 2007. Lithium — concentrating plant species and their pharmaceutical usage — Dokl. Biol. Sci. 412(1): 64–66. <https://link.springer.com/article/10.1134/S0012496607010218>
22. Lovkova M.Ya., Buzuc G.N. 2009. Pharmacological activity of medicinal plants — concentrators and overconcentrators of copper. — Trace Elements in Medicine. 10(1–2): 63–70.
http://journal.microelements.ru/trace_elements_in_medicine/2009_1-2/63-70_2009.pdf (In Russian)
23. Tantserova I.G. 2004. [Ecological and pharmacognostic study of some medicinal plants of the Kemerovo region: Abstract. Dis. ... Cand. (Pharm.) Sci.]. Tomsk. 23 p. (In Russian) (In Russian)
24. Samsonova O.E. 2006. [Bioelements Mn, Cu, Zn in some useful and poisonous plants of Stavropol]. — Vestnik of the Orenburg State University. 12 (Appendices): 217–219. http://vestnik.osu.ru/2006_12_1/69.pdf (In Russian)
25. Kluchnikova N.F., Golubkina N.A., Senkevich O.A., Kluchnikov P.F. 2009. Selenium in medicinal plants of Khabarovskii krai. — Bulletin of the Botanical Garden Institute. 4: 37–40.
http://botsad.ru/media/oldfiles/journal/number4/number4_37-40.pdf (In Russian)
26. Kashin V.K. 2010. Microelement composition of some medicinal plants from Transbaikalia. — Rastitelnye Resursy. 46 (3): 73–85. (In Russian)
27. Kashin V.K. 2011. Conditionally essential microelements in the medicinal herbs of Transbaikalia— Chemistry for Sustainable Development. 19(3): 237–244. <http://sibran.ru/upload/iblock/6c7/6c7415b81ea49a17ac78b2007f2a2c40.pdf>
28. Fedko I.V., Kolomiyets A.D., Kalinkina G.I., Barchuk A.D. 2013. Natural microelements for prevention and treatment of pulmonary tuberculosis. — Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 15(3–6): 1976–1979. http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2013/2013_3_1976_1979.pdf (In Russian)
29. Ivanenko N.V., Kovekovdova L.T. 2014. Trace element composition of medicinal plants of Primorsky territory. — Pacific Medical Journal. 2(56): 18–21. <https://elibrary.ru/item.asp?id=22002279> (In Russian)
30. Igamberdieva P.K., Danilova E.A., Osinskaya N.S. 2016. Study of chemical elements content in medical herbs from Southern Ferghana and possibilities of their usage in treatment of diseases. — Trace Elements in Medicine. 17(3): 48–53. <https://doi.org/10.19112/2413-6174-2016-17-3-48-53> (In Russian)
31. State Pharmacopoeia of the Russian Federation. 2015. 13 ed. Moscow. Vol. 2. 1004 p. (In Russian)

КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ РЕСУРСНЫХ ВИДОВ

КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ И АНТИМИКРОБНАЯ АКТИВНОСТЬ ЭФИРНОГО МАСЛА *ARACHIS HYPOGAEA* (FABACEAE)

© 2020 г. Н. К. Усманова¹, А. М. Каримов², Х. М. Бобакулов^{2,3},
Н. Д. Абдуллаев², Э. Х. Ботиров⁴, *

¹Наманганский государственный университет, г. Наманган, Узбекистан

²Институт химии растительных веществ им. акад. С.Ю. Юнусова АН РУз, г. Ташкент, Узбекистан

³Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, г. Ташкент, Узбекистан

⁴Сургутский государственный университет, г. Сургут, Россия

*e-mail: botirov-nepi@mail.ru

Поступила в редакцию 20.04.2020 г.

После доработки 10.05.2020 г.

Принята к публикации 10.06.2020 г.

Изучен компонентный состав эфирного масла, выделенного методом гидродистилляции из надземной части растения *Arachis hypogaea* L., произрастающего в Узбекистане. Методом хромато-масс-спектрального анализа эфирного масла идентифицировано 47 соединений, что составляет 99.0% от общего количества масла. В составе эфирного масла *A. hypogaea* преобладают окисленные монотерпены (47.8%), альдегиды и кетоны (24.7%) и спирты (18.9%). Доминирующими компонентами эфирного масла являются линалилацетат (32.6%), 2-метил-1-бутанол (12.6%), (Е)-2-гексеналь (10.5%), α-терпинеол (7.0%), (Z)-2-(3,3-диметил)-циклогексиденэтанол (5.3%) и фенилацетальдегид (5.1%). Изучена антимикробная активность эфирного масла в отношении *Bacillus subtilis*, *Salmonella enterica*, *Escherichia coli* и *Staphylococcus aureus*.

Ключевые слова: *Arachis hypogaea*, эфирное масло, ГХ-МС анализ, антимикробная активность

DOI: 10.31857/S0033994620030115

Arachis hypogaea L. земляной орех (семейство Fabaceae) — однолетнее травянистое растение высотой 25–40 см, в диком виде не встречается, но широко культивируется в тропических и субтропических странах, в Средней Азии, Закавказье [1¹, 2²]. Земляной орех является одной из главных масличных культур мира. По содержанию белка уступает только сое, ботва содержит до 12% белка и по питательности не уступает люцерне и клеверу [3, 4].

Хорошо известны лечебные свойства этого растения. Надземную часть растения и семена во Вьетнамской народной медицине используется для лечения различных заболеваний, таких как кашель, артрит, запоры [5]. В Индии семена арахиса используются для лечения заболеваний органов дыхания и в качестве источника олигомерных проантоцианидинов, обладающих антиатеросклеротическими свойствами, а также для профилактики эндометриоза и рака [6, 7].

Земляной орех является богатым источником биологически активных соединений, имеющих большое значение в пищевой, фармацевтической, масложировой, косметической промышленности. Из различных органов растения выделены липиды, белки (арахин и конарахин), углеводы, гликозиды, фитостерины, кумарин (эскулетин), хиноны, стероиды, каротиноиды (β-каротин), терпеноиды (гераниол), витамины, фосфолипиды (лецитин) [3, 4, 6, 7], аминокислоты, таннины, тритерпеновые сапонины, алкалоиды (бетаин, холин, арахин, производные индола, спермидина) флавоны, флавонолы [8, 9], стерины, катехины, проантоцианидины [10, 11], изофлавоны, фенолкарбоновые кислоты, стильбены (ресвератрол) и минеральные вещества [5, 12, 13]. Установлено, что соединения, выделенные из *A. hypogaea* обладают антиоксидантным, гиполипидемическим, противовоспалительным, анальгезирующим, антимикробным, противопаразитарным, седативным, гипотензивным и гемостатическим свойствами [3, 4, 6, 7, 11, 14]. Содержание ресвератрола в корнях, стеблях и листьях земляного ореха является достаточно высоким (270.5, 83.0 и 2.9 мг/г) и, вероятно, этим и

¹ Гончарова Т.А. 2004. Энциклопедия лекарственных растений. Лечение травами. М. Т. 1 С. 118–119.

² Куркин В.А. 2007. Фармакогнозия. Самара. С. 182–183.

обусловлена высокая антиоксидантная активность экстракта корней арахиса [5, 15].

A. hypogaea широко культивируется в различных регионах Узбекистана и ежегодно выращивается около 7500 тыс. т земляного ореха. Предметом настоящего исследования является выделение эфирного масла из надземной части растения и изучение его компонентного состава с целью выявления биологически активных веществ.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Использованная в настоящей работе надземная часть *A. hypogaea* заготовлена на территории Наманганской области Республики Узбекистан в период плодоношения (октябрь, 2019 г.).

Выделение эфирного масла из 200 г измельченной воздушно-сухой наземной части *A. hypogaea* осуществляли методом гидродистилляции при атмосферном давлении, дистиллят отбирали в течение 3 ч. Эфирное масло из дистиллята выделили жидкость–жидкостной экстракцией хлороформом. Растворитель отгоняли, эфирное масло сушили безводным сульфатом натрия. Получили светло-зеленое масло с характерным запахом с выходом 0.11%.

ГХ-МС анализ. Качественный и количественный состав эфирного масла определяли на хромато-масс-спектрометре Agilent 5975C inert MSD/7890A GC. Разделение компонентов смеси проводили на кварцевой капиллярной колонке Agilent HP-INNOWax (30 м × 250 мкм × 0.25 мкм) в температурном режиме: 50 °С (1 мин)–4 °С/мин до 200 °С (6 мин)–15 °С/мин до 250 °С (15 мин). Объем вносимой пробы составлял 1.0 мкм, скорость потока подвижной фазы (H₂) – 1.1 мл/мин. EI-MS спектры были получены в диапазоне m/z 10–550 а. е. м. Компоненты идентифицировали на основании сравнения характеристик масс-спектров с данными электронных библиотек (Wiley Registry of Mass Spectral Data-9th Ed., NIST Mass Spectral Library, 2011), и сравнения индексов удерживания (ИУ) соединений, определенного по отношению к времени удерживания *n*-алканов (C₉–C₂₄).

Определение антимикробной активности. Антибактериальную активность выделенного эфирного масла в отношении *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis* и *Salmonella enterica* определяли методом серийных разведений. Минимальные ингибирующие концентрации определяли методом макроразведения в триптиказеино-соевом бульоне. Исходный раствор получали путем растворения эфирного масла в диметилсульфоксиде до концентрации 20 мкл/мл, а затем делали серийные разведения в пределах от 10 до 0.125 мкл/мл в пробирках, содержащих 1 мл бульона. Затем к каждой пробирке добавляли 100 мкл

бактериальной суспензии, эквивалентной 0.5 единицам McFarland, и инкубировали при 35 °С в течение 20 ч. После этого определяли минимальную ингибирующую концентрацию (МИК, мкг/мл) как самую низкую концентрацию эфирного масла, при которой не наблюдалось бактериального роста. Раствор стрептомицина использовался как референс-контроль.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты хромато-масс-спектрального анализа эфирного масла *A. hypogaea* приведены в табл. 1. Всего в его составе охарактеризовано 47 соединений, что составляет 99.0% от общего количества эфирного масла. В составе эфирного масла преобладают окисленные монотерпены (47.8%), альдегиды и кетоны (24.7%), спирты (18.9%). Содержание гетероциклических соединений, окисленных сесквитерпенов и монотерпенов является низким – 2.6, 0.9 и 0.7% соответственно. Мажорными компонентами эфирного масла являются линалилацетат (32.6%), 2-метил-1-бутанол (12.6%), (Е)-2-гексеналь (10.5%), α-терпинеол (7.0%), (Z)-2-(3,3-диметил)-циклогексильденэтанол (грандлур II) (5.3%) и фенилацетальдегид (5.1%).

Следует отметить довольно высокое содержание в составе эфирного масла ациклического монотерпена линалилацетата – компонента парфюмерных композиций, отдушек для мыла и косметических изделий. 2-Метил-1-бутанол – один из компонентов аромата трюфеля. (Е)-2-Гексеналь является феромоном тревоги тараканов, а также компонентом парфюмерных композиций и пищевых эссенций [16³]. Грандлур II обнаружен в составе агрегационного феромона земляничного долгоносика *Anthonomus rubi* – основного вредителя клубники [17]. Фенилацетальдегид является цветочным аттрактором для многих видов чешуекрылых, например, капустной петлицы [18]. Следовательно, экстракты надземной части *A. hypogaea* потенциально могут быть использованы в качестве естественного источника приманок для ловушек соответствующих насекомых. Достаточно в большом количестве (7.0%) в исследуемом эфирном масле представлен α-терпинеол – моноциклический монотерпеновый спирт, содержащийся во многих эфирных маслах (померанцевое масло, камфорное масло, гераниевое масло, веролиевое масло, петигреновое масло и др.) и обладающий широким спектром фармакологической активности: антиоксидантной, противоопухолевой, противосудорожной, противоязвенной и антигипертензивной [19]. цис-Изогераниол является следовым феромоном муравьев *Leptogenys diminuta* [20].

³ Хейфиц Л.А., Дашунин В.М. 1994. Душистые вещества и другие продукты для парфюмерии: Справ. М. 256 с.

Таблица 1. Компонентный состав эфирного масла *Arachis hypogaea*, выделенного из надземной части растения
Table 1. Composition of *Arachis hypogaea* essential oil isolated from the plant aerial parts

№ No	Соединения Compounds	ИУ RI	Содержание, % Content, %	№	Соединения Compounds	ИУ RI	Содержание, % Content, %
1.	(E)-3-Пентен-2-он (E)-3-Penten-2-one	1106	1.4	27.	1-Октен-3-ол 1-Octen-3-ol	1450	1.6
2.	(E)-2-Пентеналь (E)-2-Pentenal	1109	1.6	28.	2-Метилалил ацетат 2-Methylallyl acetate	1458	0.9
3.	3-Гексеналь 3-Hexenal	1120	0.5	29.	(E,E)-2,4-Гептадиеналь (E,E)-2,4-Heptadienal	1451	0.4
4.	1-Гексанол 1-Hexanol	1131	0.3	30.	Бензальдегид Benzaldehyde	1506	0.7
5.	1-Пентен-3-ол 1-Penten-3-ol	1149	0.7	31.	Линалил ацетат Linalyl acetate	1545	32.6
6.	3-Пентен-2-ол 3-Penten-2-ol	1170	1.1	32.	(E)-6-Метил-3,5-гептадиенон (E)-6-Methyl-3,5-hepta-dienone	1561	0.4
7.	Пиридин Pyridine	1172	0.4	33.	β-Циклоцитраль β-Cyclocitral	1595	0.4
8.	2-Гептанон 2-Heptanone	1174	0.4	34.	2,4,6-Триметил-3-циклохексен-1-карбоальдегид 2,4,6-Trimethyl-3-cyclo-hexene-1-carboxaldehyde	1601	0.4
9.	Гептаналь Heptanal	1184	0.2	35.	Фенилацетальдегид Benzeneacetaldehyde	1627	5.1
10.	3-Метил-2-бутеналь 3-Methyl-2-butenal	1202	0.3	36.	α-Терпинеол α-Terpineol	1687	7.0
11.	2-Метил-1-бутанол 2-Methyl-1-butanol	1205	12.6	37.	5-Этил-2(5H)-фуранон 5-Ethyl-2(5H)-furanone	1735	0.3
12.	(E)-2-Гексеналь (E)-2-Hexenal	1210	10.5	38.	Мириценол Myrcenol	1778	0.7
13.	2-Пентилфуран 2-Pentylfuran	1222	0.7	39.	цис-Изогераниол cis-Isogeraniol	1810	1.6
14.	3,7-Диметил-1,3,6-октатриен 3,7-Dimethyl-1,3,6-octatriene	1227	0.4	40.	β-Дамасценон β-Damascenone	1815	0.2
15.	1-Пентанол 1-Pentanol	1241	0.2	41.	Грандлур II Grandlure II	1847	5.3
16.	цис-Осимен cis-Osimepe	1246	0.3	42.	(E)-Геранилацетон (E)-Geranylacetone	1851	1.1
17.	α-Терпинолен α-Terpinolen	1276	0.4	43.	Бензиловый спирт Benzyl alcohol	1856	0.9
18.	цис-2-(2-Пентенил) фуран cis-2-(2-Pentenyl)furan	1280	0.6	44.	(E)-β-Ионон (E)-β-Ionone	1923	0.5
19.	3-Метил-3-бутен-2-ол 3-Methyl-3-buten-2-ol	1285	0.9	45.	Неролидол Nerolidol	2020	0.9
20.	(E)-2-Пентенон (E)-2-Pentenol	1304	0.4	46.	Гексагидрофарнезиллацетон Hexahydrofarnesyl acetone	2130	0.9
21.	(Z)-2-Гептеналь (Z)-2-Heptenal	1313	0.2	47.	3-Метоксикарбонил ацетон 3-Methoxycarbonyl acetone	2148	0.6
22.	6-Метил-5-гептен-2-он 6-Methyl-5-hepten-2-one	1329	0.6	Оксилированные моноотерпены Oxygenated monoterpenes			
23.	(Z)-3-Гексенон Z-3-Hexenol	1360	0.2	Альдегиды и кетоны Aldehydes and ketones			
24.	Нонаналь Nonanal	1383	0.5	Спирты Alcohols			
25.	цис-Линалоол оксид cis-Linalool oxide	1425	0.2	Другие Others			
26.	Фуфурол Furfural	1448	0.9	Всего Total of identified			

Примечание: ИУ — относительный индекс удерживания.
Note: RI — relative retention indices.

Таблица 2. Минимальная концентрация ингибирования (МИС) эфирного масла *A. hypogaea* в отношении четырех бактериальных штаммов**Table 2.** Minimum inhibitory concentration (MIC) of *A. hypogaea* essential oil against four bacterial strains

Samples	MIC (μM)			
	<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>	<i>B. subtilis</i>	<i>S. enterica</i>
Стрептомицин Streptomycin	25.8	3.1	25.8	25.8
Эфирное масло <i>A. hypogaea</i> Essential oil of <i>Arachis hypogaea</i>	342.3	492.6	216.0	411.4

Известно, что многие эфирные масла из различных растений проявляют антимикробную активность против широкого спектра бактерий и грибов [21, 22]. Антимикробная активность *in vitro* эфирного масла *A. hypogaea* по сравнению со стрептомицином показана в табл. 2. Эфирное масло проявило значительные антимикробные свойства в отношении *Bacillus subtilis* и умеренную активность в отношении *Salmonella enterica*, *Escherichia coli* и *Staphylococcus aureus*.

Мы склонны считать, что антимикробная активность эфирного масла *A. hypogaea* обусловлена наличием в его составе линалилацетата и α-терпинеола, которые, как было указано, обладают вышеуказанной активностью [23, 24]. Китайские исследователи обнаружили, что экстракты стебля и листьев *A. hypogaea* оказывают седативное и снотворное действие. Согласно их данным, основными компонентами эфирного масла являются линалоол, *n*-гексадекановая кислота и 1-октен-3-ол [14]. Главными компонентами эфирного масла листьев *A. hypogaea*, произрастающего в Северной Каролине (США), являются 1-октен-3-ол, геникозан, нонаналь, 4-винилгваякол и фитол [25]. В составе изученного нами эфирного масла

вышеуказанные соединения, за исключением нонанала (0.5%) и 1-октен-3-ола (1.6%) не обнаружены. Значительное различие в составе эфирных масел *A. hypogaea*, произрастающих в Китае, США и Узбекистане, возможно, обусловлено различиями почвенно-климатических условий и вегетационного периода растения.

ВЫВОДЫ

Методом хромато-масс-спектрального анализа эфирного масла из надземной части *Arachis hypogaea* идентифицировано 47 соединений, относящихся к окисленным монотерпенам, альдегидам и кетонам, спиртам и другим классам. Доминирующими компонентами эфирного масла являются линалилацетат, 2-метил-1-бутанол, (Е)-2-гексеналь, α-терпинеол, грандлур II и фенилацетальдегид. Изучена антимикробная активность эфирного масла и установлено, что оно проявляет значительное антимикробное действие в отношении *Bacillus subtilis* и умеренную активность в отношении *Salmonella enterica*, *Escherichia coli* и *Staphylococcus aureus*.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

См. REFERENCES

Component Composition and Antimicrobial Activity of *Arachis hypogaea* (Fabaceae) Essential Oil

N. K. Usmanova^a, A. M. Karimov^b, Kh. M. Bobakulov^{b, c}, N. D. Abdullaev^b, E. Kh. Botirov^{d, *}

^aNamangan State University, Namangan, Uzbekistan

^bAcad. S. Yu. Yunusov Institute of the Chemistry of Plant Substances, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

^cTashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers, Tashkent, Uzbekistan

^dSurgut State University, Surgut, Russia

*e-mail: botirov-nepi@mail.ru

Abstract—The component composition of the essential oil isolated by the hydrodistillation from the aerial parts of *Arachis hypogaea* L., growing in Uzbekistan, was studied. In total 47 compounds constituting 99.0% of the oils were identified using gas chromatography-mass spectrometry analysis. The composition of *A. hypogaea* essential oil is dominated by oxygenated monoterpenes (47.8%), aldehydes and ketones (24.7%) and alcohols (18.9%).

The dominant components of the essential oil are linalyl acetate (32.6%), 2-methyl-1-butanol (12.6%), (E)-2-hexenal (10.5%), α -terpineol (7.0%), (Z)-2-(3,3-dimethylcyclohexylidene)ethanol (5.3%) and phenylacetaldehyde (5.1%). The antimicrobial activity of essential oil against *Bacillus subtilis*, *Salmonella enterica*, *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* was screened.

Keywords: *Arachis hypogaea*, essential oil, GC-MS analysis, antimicrobial activity

REFERENCES

1. Goncharova T.A. 2004. [Encyclopedia of medicinal plants. Phytotherapy]. T. 1. Moscow: P. 118–119. (In Russian)
2. Kurkin V.A. 2007. [Pharmacognosy]. Samara. P. 182–183. (In Russian)
3. Geetha K., Ramarao N., Kiran R.S., Srilatha K., Mamatha P., Umamaheswar Rao V. 2013. An overview on *Arachis hypogaea* plant. – Int. J. Pharm. Sci. Res. 4(12): 4508–4518.
[https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.4\(12\).4508-18](https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.4(12).4508-18)
4. Marka R., Talari S., Panchala S., Rudroju Sh., Swamy Nanna R. 2013. Preliminary Phytochemical Analysis of Leaf, Stem, Root and Seed Extracts of *Arachis hypogaea* L. – Int. J. Pharm. Sci. Rev. Res. 20 (1): 134–139.
<http://globalresearchonline.net/journalcontents/v20-1/22.pdf>
5. Nguyen Kim T.P., Vo Thi N., Tran Van P., Ngo Diem P.Q., Thi Thuy D.N., Ton That Q., Kim Phi P.N. 2013. Phytochemical Constituents and Determination of Resveratrol from the Roots of *Arachis hypogaea* L. – Am. J. Plant Sci. 4(12): 2351–2358.
<https://doi.org/10.4236/ajps.2013.412291>
6. Al-Snafi A.E. 2014. Chemical Constituents and Pharmacological Activities of *Arachis hypogaea*. A Review. – Int. J. Pharm. Res. Scholars (IJPRS). 3 (1): 615–623. Manuscript No: IJPRS/V3/I1/00116
7. Lopes R.M., Agostini-Costa T.D.S., Gimenès M.A., Silveira, D. 2011. Chemical composition and biological activities of *Arachis* species. – J. Agric. Food Chem. 59(9): 4321–4330.
<https://doi.org/10.1021/jf104663z>
8. Sobolev V.S., Sy A.A., Gloer J.B. 2008. Spermidine and flavonoid conjugates from peanut (*Arachis hypogaea*) flowers. – J. Agric. Food Chem. 56(9): 2960–2969.
<https://doi.org/10.1021/jf703652a>
9. Lou H., Yuan H., Yamazaki Y., Sasaki T., Oka S. 2001. Alkaloids and flavonoids from peanut skins. – Planta Med. 67(4): 345–349.
<https://doi.org/10.1055/s-2001-14319>
10. Zhou W., Branch W.D., Gilliam L., Marshall J.A. 2019. Phytosterol Composition of *Arachis hypogaea* Seeds from Different Maturity Classes. – Molecules. 24: 106–115.
<https://doi.org/10.3390/molecules24010106>
11. Tatsuno T., Jinno M., Arima Y., Kawabata T., Hasegawa T., Yahagi N., Ohta T. 2011. Anti-inflammatory and anti-melanogenic proanthocyanidin oligomers from peanut skin. – Biol. Pharm. Bull. 35(6): 909–916.
<https://doi.org/10.1248/bpb.35.909>
12. Toomer O.T. 2018. Nutritional chemistry of the peanut (*Arachis hypogaea*). – Crit. Rev. Food. Sci. Nutr. 58(17): 3042–3053.
<https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1339015>
13. Sobolev V.S., Khan S. I., Tabanca N., Wedge D. E., Manly S. P., Cutler S. J., Gloer J. B. 2011. Biological Activity of Peanut (*Arachis hypogaea*) Phytoalexins and Selected Natural and Synthetic Stilbenoids. – J. Agric. Food Chem. 59(5): 1673–1682.
<https://doi.org/10.1021/jf104742n>
14. Zu X., Zhang Zh., Xiong G., Liao T., Qiao Y., Li Y., Geng Sh., Li X. 2013. Sedative effects of *Arachis hypogaea* L. stem and leaf extracts on sleep-deprived rats. – Exp. Ther. Med. 6: 601–605.
<https://doi.org/10.3892/etm.2013.1182>
15. Lou H., Yuan H., Ma B., Ren D., Ji M., Oka S. 2004. Polyphenols from peanut skins and their free radical-scavenging effects. – Phytochemistry. 65: 2391–2399.
<https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2004.06.026>
16. Kheifits L.A., Dashunin V.M. 1994. [Aromatic materials and other products for perfumery]. Moscow. 256 p. (In Russian)
17. Innocenzi P.J., Hall D.R., Cross J.V. 2001. Components of Male Aggregation Pheromone of Strawberry Blossom Weevil, *Anthonomus rubi* Herbst. (Coleoptera: Curculionidae). – J. Chem. Ecol. 27 (6): 1203–1218.
<https://doi.org/10.1023/A:1010320130073>
18. Heath R.R., Landolt P.J., Dueben B., Lenczewski B. 1992. Identification of Floral Compounds of Night-Blooming Jessamine Attractive to Cabbage Looper Moths. – Environ. Entomol. 21: 854–859.
<https://doi.org/10.1093/ee/21.4.854>
19. Khaleel Ch., Tabanca N., Buchbauer G. 2018. α -Terpineol, a natural monoterpene: A review of its biological properties. – Open Chem. 16: 349–361.
<https://doi.org/10.1515/chem-2018-0040>

20. Attygalle A.B., Steghaus-Kovac S., Ahmad V.U., Maschwitz U., Vostrowsky O., Bestmann H.J. 1991. *cis*-Isogeraniol, a recruitment pheromone of ant *Leptogenys diminuta*. — *Naturwissenschaften*. 78(2): 90–92.
<https://doi.org/10.1007/BF01206267>
21. Akthar M.S., Degaga B., Azam T. 2014. Antimicrobial activity of essential oils extracted from medicinal plants against the pathogenic microorganisms: A review. — *Issues Biol. Sci. Pharm. Res.* 2(1): 01–07.
<https://journalissues.org/wp-content/uploads/2014/07/Akthar-et-al.pdf>
22. Nazzaro F., Fratianni F., De Martino L., Coppola R., De Feo V. 2013. Effect of essential oils on pathogenic bacteria. — *Pharmaceuticals*. 6:1451–1474.
<https://doi.org/10.3390/ph6121451>
23. Park S.N., Lim Y.K., Freire M.O., Cho E., Jin D., Kook J.K. 2012. Antimicrobial effect of linalool and α -terpineol against periodontopathic and cariogenic bacteria. — *Anaerobe*. 18: 369–372.
<https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2012.04.001>
24. Trombetta D., Castelli F., Sarpietro M.G., Venuti V., Cristani M., Daniele C., Saija A., Mazzanti G., Bisignano G. 2005. Mechanisms of Antibacterial Action of Three Monoterpenes. — *Antimicrob. Agents Chemother.* 49: 2474–2478.
<https://doi.org/10.1128/AAC.49.6.2474-2478.2005>
25. Constanza K., Tallury Sh., Whaley J., Sanders T., Dean L. 2015. Chemical Composition of the Essential Oils from Leaves of Edible (*Arachis hypogaea* L.) and Perennial (*Arachis glabrata* Benth.) Peanut Plants. — *J. Essent. Oil Bear. Pl.* 18(3): 605–612.
<https://doi.org/10.1080/0972060X.2014.961039>

КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ РЕСУРСНЫХ ВИДОВ

ФИТОХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СЫРЬЯ *ALCEA FLAVOVIRENS* (MALVACEAE) В РЕСПУБЛИКЕ АЗЕРБАЙДЖАН

© 2020 г. И. С. Мовсумов¹, Э. Э. Гараев², Э. А. Гараев¹, *,
Т. А. Сулейманов¹, Дж. Ю. Юсифова¹

¹Азербайджанский медицинский университет, г. Баку, Республика Азербайджан

²Neuro-sys SAS, Gardanne, France

*e-mail: eldargar@mail.ru

Поступила в редакцию 09.10.2019 г.

После доработки 08.06.2020 г.

Принята к публикации 10.06.2020 г.

Изучен компонентный и макро- и микроэлементный состав цветков *Alcea flavovirens* (Boiss. et Buhse) Iljin, сем. Malvaceae. Впервые в исследованном растительном сырье выделены и идентифицированы флавоноиды апигенин, гербацетин, *trans*-тирилозид, астрагалин и гербацетин-3-*O*- β -D-глюкопиранозид. Установлено содержание 22 макро- и микроэлементов. Результаты исследования показывают, что сырье является перспективным источником биологически активных веществ.

Ключевые слова: *Alcea flavovirens*, флавоноиды, апигенин, гербацетин, астрагалин, *trans*-тирилозид, макро- и микроэлементный состав

DOI: 10.31857/S003399462003005X

Виды рода *Alcea* L. (шток роза) сем. Malvaceae (Мальвовые), содержащие полисахариды, широко используются в народной медицине различных стран [1–3]. Из 60 видов растений данного рода, распространенных главным образом в восточной части Средиземноморья, на Кавказе встречается около 17 видов, в Азербайджане – 8 видов, при этом три из них являются эндемичными, а один вид встречается в культуре [2]. Ранее из цветков некоторых представителей *Alcea* были выделены флавоноиды [4, 5], однако компонентный и минеральный состав *A. flavovirens* не был изучен.

Цель настоящей работы – изучение компонентного и минерального состава цветков *Alcea flavovirens* (Boiss. et Buhse) Iljin, произрастающей в Республике Азербайджан.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Заготовку сырья проводили в начале июня 2016 г. в окр. г. Исмаиллы Республики Азербайджан. Для выделения флавоноидов пробу (0.8 кг) измельчали до размера частиц 1 мм и высушивали на воздухе. Пробу дважды экстрагировали 80%-ным этанолом в соотношении 1 : 8 и 1 : 6. Экстракты упаривали на роторном испарителе до водного остатка (150 мл), который далее последовательно обрабатывали хлороформом, смесью этилацетат–гексан и этилацетатом.

Из экстракта смесью этилацетат–гексан методом многократной дробной кристаллизации выделили вещества 1 (0.202 г), 2 (0.160 г) и 3 (0.203 г), из этилацетатного экстракта – вещества 4 (0.266 г) и 5 (0.306 г).

Для проведения ацетилирования вещества 2 к навеске 0.1 г добавляли уксусный ангидрид (2 мл) и пиридин (1 мл) и оставляли при комнатной температуре на 24 ч, затем смесь выливали в ледяную воду и оставляли на 2 ч. После этого смесь отфильтровывали, осадок промывали и просушивали. Осадок представляет собой пентаацетат гербацетина.

Кислотный гидролиз вещества 5 (навеска 0.15 г) проводили в 4 мл 5%-ной серной кислоты в течение 5 ч при температуре кипения реакционной смеси. Последнюю охлаждали, отфильтровывали, осадок промывали водой до нейтральной реакции и просушивали. После нейтрализации фильтрата карбонатом бария, с помощью метода бумажной хроматографии (бумага: Filtrak FN 11; система растворителей: бутанол–бензол–пиридин–вода, 5 : 1 : 3 : 3; проявление анилин–фталатным реактивом) была выделена D-глюкоза. Осадок (агликон) представляет собой гербацетин (около 63%).

УФ-спектры веществ регистрировали на приборе марки Agilent Cary 60 UV-Vis Agilent Technologies, ИК-спектры – на приборе Agilent Cary 600 FTIR (США), который позволяет использовать образ-

Таблица 1. Элементный состав (мг/кг, отклонение прибора ± 0.03) цветков *Alcea flavovirens*
 Table 1. Elemental composition (mg/kg, instrument deviation ± 0.03) of flowers of *Alcea flavovirens*

Элемент Element	Количество, мг/кг Quantity, mg/kg		Элемент Element	Количество, мг/кг Quantity, mg/kg	
	найдено determined	ПДК* MAC*		найдено determined	ПДК* MAC*
Na	84.5	не более 80.0 80.0 max от 0.01 до 0.1 from 0.01 to 0.1	As	0.01	от 0.1 до 0.3 from 0.1 to 0.3
Mg	113		Pb	0.09	от 0.1 до 1.0 from 0.1 to 1.0
Al	12.1		Cr	0.09	
K	314		V	0.12	
Ca	215		Li	0.11	
Mn	9.1		Be	0.16	
Fe	25.3		Co	0.08	
Sr	5.3		Ni	0.08	
Zn	1.25		Ga	0.01	
Cu	0.03		Ba	1.25	
Cd	0.01		Ag	0.01	

Примечание. ПДК* – Предельно допустимая концентрация.
 Note. MAC* – Maximum Allowable Concentration.

цы в порошкообразном виде, без дополнительной подготовки проб. Температуру плавления определяли на приборе Stuart SMP 20, удельное вращение – Rudolf Research Analytical Autopal. Для бумажной хроматографии использовали бумагу Filtrak N5, в качестве системы растворителей применяли БУВ (4 : 1 : 5). Упаривание проводили на роторном испарителе марки İKA RV 8.

Макро- и микроэлементный состав цветков *A. flavovirens* изучен методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на приборе марки Agilent Technologies ICP MS 7700e. В навеску 5.0 г образца измельченных и высушенных цветков добавляли 14 мл смеси концентрированных кислот (10 мл HF + 2 мл H₂SO₄ + 2 мл HNO₃). Автоклав с пробой во вкладыше помещали в микроволновую печь марки Sineo MBES-86 и при температуре 1500–1800 °C разлагали пробу. После разложения пробу разбавляли водой и удаляли остатки кислот. Далее определили содержание 22 макро- и микроэлементов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изучение выделенных из цветков *A. flavovirens* веществ и их идентификация показали следующее.

Вещество 1 – C₁₅H₁₀O₅, желтое кристаллическое вещество с температурой плавления 350–352 °C (метанол–хлороформ), *R_f* 0.96. УФ-спектр: $\lambda_{\text{max}}^{\text{метанол}}$ 272, 333 нм. Согласно данным УФ- и ИК-спектров, оно соответствует апигенину (5,7,4'-тригидроксифлавонон) [6].

Вещество 2 – C₁₅H₁₀O₇, лимонно-желтые кристаллы, температура плавления 280–282 °C (этанол), *R_f* 0.87. УФ-спектр: $\lambda_{\text{max}}^{\text{метанол}}$ 364, 262 нм. Согласно данным УФ- и ИК-спектров, оно соответствует гербацетину (3,5,7,8,4'-пентагидроксифлавонон). Для подтверждения подлинности провели ацетилирование вещества 2. В результате получили пентаацетат гербацетина с температурой плавления 190–192 °C (гексан–хлороформ) [6].

Вещество 3 – C₃₀H₂₆O₁₃, кристаллы светло-желтого цвета с температурой плавления 253–260 °C, $[\alpha]_D^{20}$ –70° (с 0.8; метанол), *R_f* 0.86. УФ-спектр: $\lambda_{\text{max}}^{\text{метанол}}$ 268, 320 нм. При кислотном гидролизе (4% H₂SO₄, 5 ч) обнаруживается кемпферол, D-глюкоза и *n*-кумаровая кислота. УФ- и ИК-спектры вещества 3 идентичны спектрам *trans*-тирилозида (6"-*O*-*p*-кумароил-астрагалин) [7–10].

Вещество 4 — $C_{21}H_{20}O_{11}$, температура плавления 175–176 °С, $[\alpha]_D^{20}$ –56° (с 0.1; метанол), R_f 0.76. УФ-спектр: $\lambda_{\text{метанол макс.}}$ 375, 270 нм; +AlCl₃: 304, 351 и 279 нм; +AlCl₃/HCl: 396, 346 и 302 нм. При кислотном гидролизе дает эквимольное количество кемпферола (64.7%) и D-глюкозу. УФ- и ИК-спектры вещества 4 соответствуют спектрам кемпферол-3-*O*-β-D-глюкопиранозид (астрагалин) [5].

Гликозиды кемпферола ранее были выделены из цветков *A. indiflora* [5].

Вещество 5 — $C_{21}H_{20}O_{12}$, температура плавления 197–198 °С, $[\alpha]_D^{20}$ –86° (с 0.1; метанол), R_f 0.57. При кислотном гидролизе расщепляется на гербацетин (64%) и D-глюкозу. Физико-химические и спектральные данные (УФ- и ИК-) соответствуют гербацетин-3-*O*-β-D-глюкопиранозиду [11].

Определение макро- и микроэлементного состава цветков *A. flavovirens* показало (табл.), что растение содержит в достаточном количестве

макроэлементы; концентрация токсических элементов, согласно “Гигиеническим требованиям к продовольственному сырью или пищевым продуктам” [12–14], не превышает норму.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые из цветков *A. flavovirens* произрастающей в Республике Азербайджан выделены и идентифицированы флавоноиды: апигенин, гербацетин, *trans*-тирилозид (6"-*O*-*p*-кумароил-астрагалин), кемпферол-3-*O*-β-D-глюкопиранозид (астрагалин), гербацетин-3-*O*-β-D-глюкопиранозид. Определено содержание 22 макро- и микроэлементов. В цветках обнаружено довольно высокое содержание калия, кальция, магния и натрия. Очень низкое содержание тяжелых металлов говорит о хорошем качестве растительного сырья, которое может служить источником биологически активных веществ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Растительные ресурсы СССР*. Цветковые растения, их химический состав, использование. Семейство Раевниaceae — Thymelaceae. 1986. СПб. 181 с.
2. Кулиев А.М. 1955. Семейство Мальвовые — Malvaceae Juss. — В кн.: Флора Азербайджана. Т. IV. Баку. С. 226–231.
3. Зайцева Н.Е., Козина И.С. 1980. Полисахариды из сердцевин стеблей *Alcea flavovirens*. — Химия природ. соединений. 1: 29–33.
4. Пакудина З.П., Садыков А.С., Зупаров А. 1970. Гликозиды кемпферола из цветков *Alcea nudiflora*. — Химия природ. соединений. 5: 628–629.
5. Пакудина З.П. 1977. Флавоноиды некоторых видов Алцей и Алтей. В кн.: Вопросы химии. Ташкент. С. 12–16.
6. Mabry T., Markham K.R., Thomas M.B. The Systematic Identification of Flavonoids. 1970. Berlin, Heidelberg. 354 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-88458-0>
7. Zapesochная G.G., Ivanova S.Z., Sheichenko V.I., Tyukavkina N.A., Medvedeva S.A. 1980. O-acylated flavonoid glycosides from the needles of *Picea obovata* II. 3'- and 6'-isomers of *p*-coumaroylastragalin — Chem Nat Compd 16(2): 141–145. <https://doi.org/10.1007/BF00638772>
8. Chari W.W., Jordan M., Wagner H. 1978. Structure Elucidation and Synthesis of Naturally Occurring Acylglycosides—II. — Planta Med. 34(5): 93–96. <https://doi.org/10.1055/s-0028-1097420>
9. Itoh T., Ninomiya M., Yasuda M., Koshikawa K., Deyashiki Y., Nozawa Y., Akao Y., Koketsu M. 2009. Inhibitory effects of flavonoids isolated from *Fragaria ananassa* Duch on IgE-mediated degranulation in rat basophilic leukemia RBL-2H3. — Bioorgan Med Chem. 17(15): 5374–5379. <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2009.06.050>
10. Azimova S.S., Vinogradova V.I. (eds.) 2013. Natural Compounds: Flavonoids. New York. P. 201–205. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-0535-1>
11. Braunberger Ch., Zehl M., Conrad J., Fisher S., Adhami H.-R., Beifuss U., Krenn L. 2013. LC-NMR, NMR, and LC-MS Identification and LC-DAD Quantification of Flavonoids and Ellagic Acid Derivatives in *Drosera peltata*. — J. Chromatogr. (932): 111–116. <https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2013.06.015>
12. Степанова И.В. 2010. Санитария и гигиена питания: Учебное пособие. СПб. 224 с.
13. Петрушевский В.В., Гладких В.Г., Винокурова Е.В. 1992. Биологически активные вещества пищевых продуктов: Справочник. Киев. 192 с.
14. Дроздов И.Л., Денисова Н.Н. 2013. Элементный состав травы короставника полевого *Knautia arvensis* (L.) Coult. — Химия растительного сырья. 4: 135–139. <https://doi.org/10.14258/jcprm.1304135>

Phytochemical Study of the Flowers *Alcea flavovirens* (Malvaceae) from the Republic of Azerbaijan

I. S. Movsumov^a, E. E. Garayev^b, E. A. Garayev^{a,*}, T. A. Suleymanov^a, D. Y. Yusifova^a

^aAzerbaijan Medical University, Baku, Republic of Azerbaijan

^bNeuro-sys SAS, Gardanne, France

*e-mail: eldargar@mail.ru

Abstract— Flowers of *Alcea flavovirens* (Boiss. et Buhse) Iljin, Malvaceae family, were tested for flavonoid, major and trace element content. Flavonoids apigenin, herbacetin, *trans*-tryloside, astragalin and herbacetin-3-*O*-β-D-glucopyranoside have been isolated and identified for the first time. The conducted research of elemental composition has shown that *A. flavovirens* raw materials are a promising source of major and trace elements.

Keywords: *Alcea flavovirens*, flavonoids, apigenin, herbacetin, *trans*-tyriloside, macro- and microelements

REFERENCES

1. [Plant resources of the USSR. Flowering plants, their chemical composition and use. Family Paeoniaceae – Thymelaeaceae]. St. Petersburg. 181 p. (In Russian)
2. Kuliev A.M. 1955. [Family Malvaceae Juss.]. — In: [Flora of Azerbaijan. IV.] Baku. P. 226–231. (In Russian)
3. Zaitseva N.E., Kozhina I.S. 1980. Polysaccharide from the pith of *Alcea flavovirens* — Chem Natural Compd. 16(1): 22–25. <https://doi.org/10.1007/BF00564869>
4. Pakudina Z.P., Sadykov A.C., Zuparov A. 1970. Kaempferol glycosides from the flowers of *Alcea nudiflora*] — Chem Natural Compd. 6(5): 643–644. <https://doi.org/10.1007/BF00563465>
5. Pakudina Z.P. 1977. [Flavonoids of some Alcea and Althaea species]. — In: [Problems of Chemistry]. Tashkent. P. 12–16. (In Russian)
6. Mabry T., Markham K.R., Thomas M.B. The Systematic Identification of Flavonoids. 1970. Berlin, Heidelberg. 354 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-88458-0>
7. Zapesochная G.G., Ivanova S.Z., Sheichenko V.I., Tyukavkina N.A., Medvedeva S.A. 1980. O-acylated flavonoid glycosides from the needles of *Picea obovata* II. 3'- and 6'-isomers of p-coumaroylastragalin — Chem Nat Compd 16(2): 141–145. <https://doi.org/10.1007/BF00638772>
8. Chari W.W., Jordan M., Wagner H. 1978. Structure Elucidation and Synthesis of Naturally Occurring Acylglycosides—II. — Planta Med. 34(5): 93–96. <https://doi.org/10.1055/s-0028-1097420>
9. Itoh T., Ninomiya M., Yasuda M., Koshikawa K., Deyashiki Y., Nozawa Y. Akao Y. Koketsu M. 2009. Inhibitory effects of flavonoids isolated from *Fragaria ananassa* Duch on IgE-mediated degranulation in rat basophilic leukemia RBL-2H3. — Bioorgan Med Chem. 17(15): 5374–5379. <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2009.06.050>
10. Azimova S.S., Vinogradova V.I. (eds.) 2013. Natural Compounds: Flavonoids. New York. P. 201–205. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-0535-1>
11. Braunberger Ch., Zehl M., Conrad J., Fisher S., Adhami H.-R., Beifuss U., Krenn L. 2013. LC-NMR, NMR, and LC-MS Identification and LC-DAD Quantification of Flavonoids and Ellagic Acid Derivatives in *Drosera peltata*. — J. Chromatogr. (932): 111–116. <https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2013.06.015>
12. Stepanova I.V. 2010. [Sanitary and hygiene of food: course book]. St. Petersburg. 224 p.
13. Petrushevskiy V.V., Gladkikh V.G., Vinokurova E.V. 1992. [Directory of biologically active substances in food]. Kiev. P. 192. (In Russian)
14. Drozdov I.L., Denisova N.N. 2013. Elemental composition of the herb of *Knautia arvensis* (L.) Coult.] — Khimija Rastitel'nogo Syr'ya. 4: 135–139. <https://doi.org/10.14258/jcprm.1304135> (In Russian)

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ
РАСТЕНИЙ

BIOLOGICALLY ACTIVE COMPOUNDS AND BIOLOGICAL ACTIVITY
OF *PHYSALIS ALKEKENGI* (SOLANACEAE)

© 2020 E. N. Novruzov*

¹Institute of Botany of Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan

*e-mail: eldar_novruzov@yahoo.co.uk

Received July 16, 2019

Revised November 20, 2019

Accepted March 18, 2020

Physalis alkekengi L. was well known as a medicinal plant in Ancient China. Fruits, calyx, and plant roots have been used to treat a number of ailments, including sore throat, cough, eczema, hepatitis, and tumours. In the Unani system of medicine, Kaknaj, the dried fruits of *P. alkekengi* are valued primarily as a source of vitamin C and used as a diuretic, antiseptic and sedative. Modern medical research has shown that *P. alkekengi* is effective in therapy of the disorders of immune system, thyroid hormones, liver enzymes, reproductive sex hormones, against cancer. The plant owes its beneficial properties to the presence of biologically active compounds, such as alkaloids, flavonoids, steroids, vitamin C, etc. The purpose of this study is to summarize literature data on the results of experimental studies of the component composition and biological activity of *P. alkekengi*. The results of the chemical study of *P. alkekengi* shows that fresh fruits, calyx, roots and leaves are rich in various biologically active substances such as flavonoids, steroids, alkaloids, etc. Chemical composition of various organs of *P. alkekengi* as well as antimycobacterial, immunomodulating, antitumour, anti-inflammatory and other properties of groups of substances and individual compounds isolated from *P. alkekengi* extracts were studied. The studied literature data allows to consider *P. alkekengi* as a promising source of substances for medicinal products.

Ключевые слова: *Physalis alkekengi*, biologically active compounds, biological activity

DOI: 10.31857/S0033994620020077

The genus *Physalis* L. from the *Solanaceae* L. family has from 75 to 120 species in the world flora, widely distributed throughout South and North America, as well as in the temperate regions of Europe and Asia [1–4]. In Azerbaijan, the genus is represented by 2 species. One of them is wild-growing – *Physalis alkekengi* L. is widely distributed in almost all botanical and geographical regions of Azerbaijan, the second is *Physalis ixocarpa* Brot ex Hornem. found only in culture [3]. Among the species belonging to the genus *Physalis* L., *P. alkekengi* is the most popular food, ornamental and medicinal plant.

P. alkekengi was well known as a medicinal plant in Ancient China. Fruits, calyx, and plant roots have been used to treat a number of ailments, including sore throat, cough, eczema, hepatitis, and tumours [2]. In the Unani system of medicine, Kaknaj, the dried fruits of *Physalis alkekengi* are valued primarily as a source of vitamin C and used as a diuretic, antiseptic and sedative remedies [1]. For centuries, infusion of fruits has been used as an abortive and contraceptive remedy in Iranian traditional medicine [4]. Modern medical research has shown that *P. alkekengi* is effective in therapy of the disorders of immune system, thyroid hor-

mones, liver enzymes, reproductive sex hormones, against cancer. The plant owes its beneficial properties to the presence of biologically active compounds, such as alkaloids, flavonoids, steroids, vitamin C, etc. [5]. The juice from *P. alkekengi* fruit has an antiseptic effect, therefore it is used externally to treat septic wounds and ulcers [6].

The purpose of this study is to summarize literature data on the results of experimental studies of the component composition and biological activity of *P. alkekengi*.

BIOLOGICALLY ACTIVE COMPOUNDS
OF *PHYSALIS ALKEKENGI* L.

About nineteen flavonoids have been isolated and identified from various parts of the *P. alkekengi* in the form of flavones and flavonols. Isolated flavonoids include luteolin and their glycosides, quercetin derivatives and kampferol glycosides, which are widely distributed in medicinal plants [7–13]. In addition, four flavone analogs, apigenin-O- β -D-glucopyranoside, diosmetin-O- β -D-diglucopyranoside, chrysoriol and its glucopyranoside, as well as three flavonol analogs, 3', 4' dimethoxymyrtilsetin, ombine and 5,4', 5'-trihy-

droxy-7,3'-dimethoxyflavonol were obtained from sepals [8–10, 14, 15]. These isolated flavonoids were best known for their antioxidant and anti-inflammatory properties [16–18].

As a result of a study conducted by Prokopenko and co-authors, 46 lipophilic compounds were found in the aboveground part of *P. alkekengi*, of which 29 compounds were identified and estimated, including organic acids, phytosterols, hydrocarbons, terpene compounds, etc. Among identified compounds, palmitic and linolenic acids were found [6].

Linoleic acid has a high biological activity and is not produced in the human body. Owing to the high content of linoleic acid, the aboveground parts of *P. alkekengi* are used as raw material for the production of dietary supplements.

In early studies it was reported that only 10 carotenoids are present in the fruits and calyx of *P. alkekengi* [19–21]. The study of 2017 allowed to isolate 69 different carotenoids and carotenoid esters in the fruits and calyx of *P. alkekengi*, of which 45 were identified. Zeaxanthin esters with various fatty acids were the most common carotenoids, accounting for 51–63% of the total carotenoids. The fruits and calyx of plant have been reported to be rich sources of xanthophylls, mainly zeaxanthin esters (6.39 mg zeaxanthin/100 g fresh fruit, 54.89 mg zeaxanthin/100 g fresh sepal), followed by β -cryptoxanthin esters (no data on fruits, 3.92 mg/g of dry sepal). Esters of carotenoids accounted for 94–96% of the total amount of carotenoids in *P. alkekengi* the fruits. Zeaxanthin esters (56–63% of the total amount of carotenoids) were the most common in the fruit, followed by β -cryptoxanthin (18–24%), anterxanthine (4–6%) and violaxanthin esters (2–4%). Small amount of lutein, lutoxanthin, mutatoxanthin, neoxanthin, auroxanthin and zeinoxanthin esters were identified. In addition to carotenoids, a small amount of chlorophyll b, chlorophyll a and pheophytin was also identified in *P. alkekengi* fruits [22]. According to the content as the sum of carotenoids and xanthophylls, the fruits of *P. alkekengi* exceeds fruits of all other plants rich in carotenoids.

Pintea and others showed that *P. alkekengi* calyx contain zeaxanthin and beta-cryptoxanthin esters, which are widely used as nutritional supplements [20].

Physalins have been extensively studied over the past 20 years and are reported to have anti-mycobacterial, immunomodulatory, anti-tumour, and anti-inflammatory effects [23, 24].

Physalins are the main steroid components of *P. alkekengi* and their rare 13,14-seco-16,24-cycloergostane skeletons were first established by x-ray structural analysis [25–27]. Physalin A, isolated from the leaves of *P. alkekengi* in 1969, was the first steroid of this group [28]. Subsequently, a series of physalins

with a complex and diverse structure were obtained from various species of the genus *Physalis*. So far, phytochemical studies of *P. alkekengi* have led to isolation of fifty physalins, most of which were first found while studying this species. The structural diversity of physalins is determined by cyclization, changes in the degree of unsaturation, and changes in the ring substitution structure. For example, W, X, Y, and Z physalins, as well as 3-O-methylphysaline X and isophysalin G, are 3-hydroxyl and/or 3-methoxy-substituted physalins, while fizalin C and 5 α , 6 β -dihydroxyphysaline R are components 5,6-dihydroxyl group [24]. Physalin P was the first neofizalin, isolated from the aboveground part of *P. alkekengi* in 1993 [29]. In 2013, a group of Chinese researches isolated three new physalins from *P. alkekengi* sepals and named them physalin III, physalin IV, 3-O-methylphysalin X [30]. In 2016, another 6 new physalins 7 β -methoxylisophysalin B, 7 β -methoxyphysaline C, fizalin V, fizalin VI, fizalin VII, isophiline I [31] were determined.

The chemical study of *P. alkekengi* (Table 1) shows that fresh fruits, as well as other parts (calyx, roots, leaves) are rich in various biologically active substances (flavonoids, steroids, alkaloids, etc.).

ANTIMICROBIAL AND ANTIFUNGAL ACTIVITY

Species of the genus *Physalis*, including *Physalis alkekengi*, are rich sources of physalins, steroids of the cycloergosteroid class, common only in this genus. Chemical composition of various organs of *P. alkekengi* as well as antimycobacterial, immunomodulating, antitumour, anti-inflammatory and other properties of groups of substances and individual compounds isolated from *P. alkekengi* extracts were studied.

Eight phenylpropanoids, consisting of four phenylpropanoic acid derivatives and four lignans, were isolated from *P. alkekengi* var. *franchetii* calyx. The isolated phenylpropanoic acid derivatives are chemical compounds, including ferulic acid methyl ester, 3-caffeoylquinic acid and syringalide, which express antibacterial, antiviral, and anti-inflammatory properties. All isolated lignans possess a tetrahydrofuran-type skeleton and exist in the form of glycosides containing syringaresinol, (+) – pinioresinol-di-O- β -D-glucopyranoside and (+) – medioresinol-di-O- β -D-glucopyranoside [14, 15].

Numerous studies of the antimicrobial and antifungal activities of *P. alkekengi* extracts have been conducted. Thus, the methanol extract from the aboveground parts and the dichloromethane extract from the *P. alkekengi* calyx were tested against five gram-positive and five gram-negative bacteria and five *Candida* species. According to the results of the experiments, the

Table 1. Chemical compounds isolated from various parts of *P. alkekengi* L.

Chemical group	Chemical component	Structure	Part of the plant	References
Flavonoids	Luteolin	$R_1=R_2=R_3=H$	Calyx	[8–10, 13]
	Luteolin-7- <i>O</i> - β -D-glucopyranoside	$R_1=\text{Glu}; R_2=R_3=H$	Calyx	[7–10, 13]
	Luteolin-4'- <i>O</i> - β -D-glucopyranoside	$R_1=R_3=H; R_2=\text{Glu}$	Calyx	[7, 8]
	Luteolin-7,4'-di- <i>O</i> - β -D-glucopyranoside	$R_1=R_2=\text{Glu}; R_3=H$	Calyx	[8]
	Luteolin-7,3'-di- <i>O</i> - β -D-glucopyranoside	$R_1=R_3=\text{Glu}; R_2=H$	Calyx	[7, 8]
	3',7-Dimethylquercetin	$R_1=R_2=\text{CH}_3; R_3=R_4=H$	Calyx	[12]
	3',4',7-Trimethylquercetin	$R_1=R_2=R_3=\text{CH}_3; R_4=H$	Calyx	[12]
	3',4'-Dimethylquercetin	$R_1=R_4=H; R_2=R_3=\text{CH}_3$	Calyx	[11]
	Quercetin-3- <i>O</i> - β -D-glucopyranoside	$R_1=R_2=R_3=H; R_4=\text{Glu}$	Calyx	[7, 8]
	Quercetin-3,7-di- <i>O</i> - β -D-glucopyranoside	$R_1=R_4=\text{Glu}; R_2=R_3=H$	Calyx	[7, 8]
	Kaempferol-3- <i>O</i> - β -D-Glucose	$R_1=H; R_2=\text{Glu}$	Calyx	[11]
Steroids	Physalin A		Calyx	[8, 9, 11, 13, 14, 28, 31, 46–48]

Table 1. (Contd.)

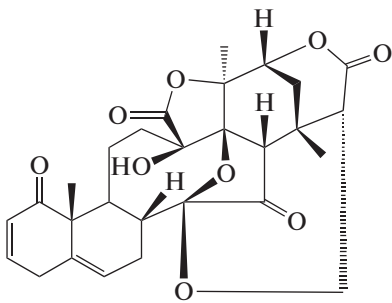
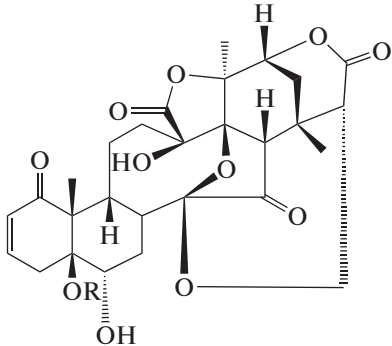
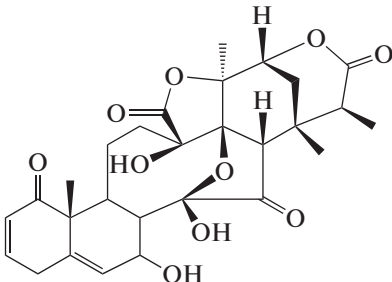
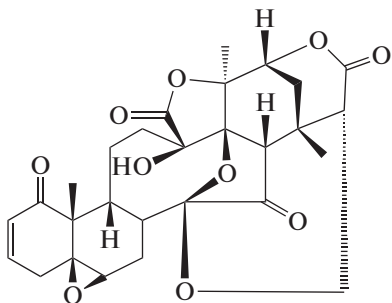
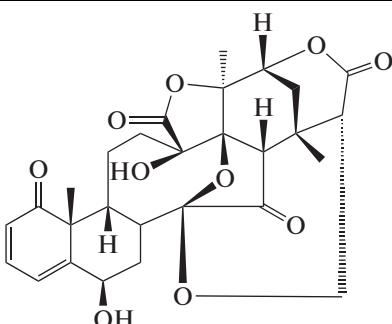
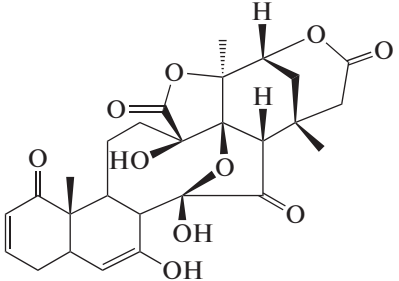
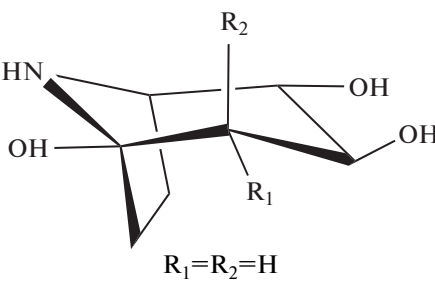
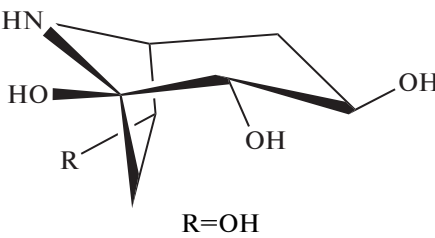
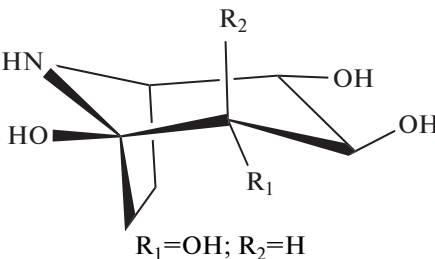
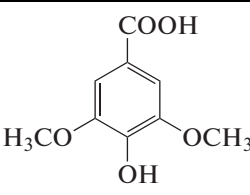
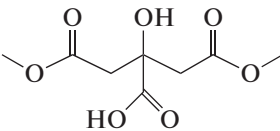
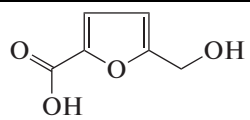
Chemical group	Chemical component	Structure	Part of the plant	References
	Physalin B		Calyx	[8, 9, 11, 12, 14, 31, 46, 47]
	Physalin D		Calyx	[8, 10, 13, 14, 31, 47, 49]
	Physalin O		Calyx	[8, 9, 13, 31, 50]
	Physalin F		Calyx	[8, 11, 31]
	Physalin G		Calyx	[14, 31]

Table 1. (Contd.)

Chemical group	Chemical component	Structure	Part of the plant	References
	Physalin L		Calyx	[8, 9, 13, 23, 31, 46, 47]
Alkaloids	Calystegin A5	 $R_1=R_2=H$	Roots	[14]
	Calystegin B1	 $R=OH$	Roots	[14]
	Calystegin B2	 $R_1=OH; R_2=H$	Roots	[51]
Organic acids	Syringic acid		Calyx	[52]
	1,5-Dimethyl citrate		Calyx	[53]
	5-Hydroxymethylfuroic acid		Calyx	[53]

methanol extract showed moderate antifungal activity with minimum inhibitory concentration (MIC) from 128 to 512 µg/ml, dichloromethane extract and fizalin D had low antifungal activity with MIC from 256 to 512 µg/ml [32]. Chlorogenic acid isolated from the aerial parts of *P. alkekengi* showed high antibacterial activity against *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pneumoniae*, *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli* and *Shigella dysenteriae* with MIC values ranging from 20 to 80 µg/ml. Physalins B, D, F and G showed an antimalarial effect against *Plasmodium falciparum* *in vitro* with IR 50 values ranging from 2.2 to 55 µM, where physalin F showed the highest effect (IC₅₀ = 2.2 µM and LC₅₀ = 13.3 µM) [33].

Six physalins isolated from the plant: 7β-methoxyphysalin B, 7β-methoxyphysalin C, physalin V, physalin VI, physalin VII, isophysalin I were tested for antibacterial activity and cytotoxicity against human HL-60, SMMC-7721, A-549, MCF-7 and SW-480. The results showed that these compounds exhibit strong cytotoxicity (IC₅₀ < 5 µM) *in vitro*. Antibacterial analysis showed that physalins exhibit high antibacterial activity against *Bacillus subtilis* and *Escherichia coli* [31]. Aqueous, ethanolic, and methanol fruit extracts were used against 3 types of fungi: *Microsporum canis*, *Candida albicans*, *Trichophyton mentagrophytes*. The aqueous extract had a limited spectrum of antifungal effect compared to the other two extracts. Ethanol extract had the strongest effect at MIC = 15.62 against all fungi tested [34].

ANTITUMOUR ACTIVITY

Several authors [35–38] provide information on the antitumour activity of *P. alkekengi*. Taken together, physalins, flavonoids and phenylpropanoids may be considered as the main antitumour substances. Physalins A and B, being representative compounds for the genus *Physalis*, were tested for their antitumor properties using cell analysis. [35, 38]. When studying physalin B, its antiproliferative effect was established. Physalin B was particularly active against human melanoma A375 and A2058 cells (IC₅₀ < 4.6 µg/ml) and had lower cytotoxicity on H9c2 rat cells and T/G HA-VSMC

and CCD-966SK human cells. These results have shown that these two physalins A and B may be promising therapeutic agents for the treatment of cancer, especially melanoma.

The antitumour properties of the flavonoids isolated from *P. alkekengi*, including luteolin, quercetin and their analogues, have been thoroughly investigated [39, 40]. It has been found that these flavonoids can induce apoptosis of cancer cells, stop the cancer cell cycle and inhibit metastasis and angiogenesis.

ANTI-DIABETIC ACTIVITY

Several studies [41, 44] have found that *P. alkekengi* has the potential to reduce serum glucose concentration in alloxan-induced diabetic rats. The reduced glucose levels and activity may be associated with chemical compounds contained in fruits, mainly physalin, flavonoids, citric acid and vitamin C.

Antidiabetic activity of ferulic and chlorogenic acids isolated from *P. alkekengi* was studied. Using various diabetes models *in vivo*, it was found that these two compounds can reduce blood glucose levels, stimulate insulin secretion, improve glucose tolerance and insulin resistance, inhibit lipid absorption and stimulate lipid metabolism *in vivo* [42, 43].

Asano et al. established the antidiabetic potential of polysaccharides (calystegines) isolated from *P. alkekengi* fruits. Administration of isolated polysaccharides (50 and 100 mg/kg) reduced the blood glucose level. Calystegines are a group of structural analogues of glucose and galactose, and, thus, they can block the process of carbohydrate metabolism by competitive inhibition of key glucosidases and galactosidases. It was found that calystegin B2 isolated from *P. alkekengi* is a potent competitive inhibitor of almond β-glucosidase (K_i = 1.2 µM) and coffee bean α-galactosidase (K_i = 0.86 µM) [45].

Despite using *Physalis alkekengi* for medical purposes, the reasons for its high biological activity have not been fully identified. The analysis of literature data allows to consider *P. alkekengi* as a promising source of substances for medicinal products.

REFERENCES

1. *Flora of China*. 1978. Chinese Academy of Sciences. Science press, Beijing, China. Vol. 67. P. 50.
2. Martinez M. 1998. Revision of *Physalis* section *Epetiorhiza* (Solanaceae). – *Anales Inst. Biol. Univ. Nac. Auton. Mexico, Bot.* 69(2): 71–117.
[http://www.ibiologia.unam.mx/BIBLIO68/fulltext/art-bota/692\(1\)bota.pdf](http://www.ibiologia.unam.mx/BIBLIO68/fulltext/art-bota/692(1)bota.pdf).
3. Maggie W.P.S.M. 2005. Untangling *Physalis* (Solanaceae) from the Physaloids: A Two-Gene Phylogeny of the Physali-nae. – *Systematic Botany*. 30(1): 216–230.
<https://doi.org/10.1600/0363644053661841>
4. Wei J.L., Hu X.R., Yang J.J., Yang, W.C. 2012. Identification of Single-Copy Orthologous Genes between *Physalis* and *Solanum lycopersicum* and Analysis of Genetic Diversity in *Physalis* Using Molecular Markers. – *PLoS One*. 7(11): e50164.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0050164>

5. *Flora of Azerbaijan*. 1961. The Solanaceae. Volume 7: 400.
6. Prokopenko Yu.S., Georgiyants V.A., Mishchenko V.A. 2014. Lipophilic compounds of the aerial part of *Physalis alkekengi*. — Chem. Nat. Compd. 50(6): 1094–1095.
<https://doi.org/10.1007/s10600-014-1167-6>
7. Qiu L., Jiang Z., Liu H., Chen L., Qu G., Qiu F. 2007. Flavonoid glycosides of the calyx *Physalis*. — Journal of Shenyang Pharm. Uni. 24(12): 744–747. (In Chinese)
8. Qiu L., Zhao F., Jiang Z.-H., Chen L.-X., Zhao Q., Liu H.X., Yao X.S., Qiu F. 2008. Steroids and flavonoids from *Physalis alkekengi* var. *franchetii* and their inhibitory effects on nitric oxide production. — J. Nat. Prod. 71(4): 642–646.
<https://doi.org/10.1021/np700713r>
9. Xu D., Wang B., Zhou L., Kang T. 2009. Chemical constituents of *Physalis alkekengi* var. *franchetii*. — Zhong Cao Yao (Chinese Traditional and Herbal Drugs). 2: 175–178. (In Chinese)
10. Cai Q., Liu Y., Ma Z. 2009. Isolation and identification of chemical constituents from the fruit and calyx of *Physalis alkekengi* L. var. *franchetii* (Mast.) Makino. — Shenyang Yao Ke Da Xue Xue Bao (Journal of Shenyang Pharmaceutical University). 10: 807–810, 817. (In Chinese)
11. Xing F., Jiang J. 2013. Chemical constituents in the calyx of *Physalis alkekengi* var. *franchetii*. — Xian Dai Yao Wu Yu Lin Chuang (Pharmaceutical and Clinical Research). 4: 344–346. (In Chinese)
12. Han A.R., Shim I., Seo E.K. 2015. Chemical constituents of *Physalis alkekengi* var. *franchetii*. — Chem. Nat. Compd. 51(6): 1160–1161.
<https://doi.org/10.1007/s10600-015-1517-z>
13. Lin F., Wang J. 2011. Chemical constituents of physalins from dried calyx of *Physalis alkekengi* var. *franchetii*. — Xiandai Yaowu Yu Linchuang (Drugs and Clinic). 26(6): 469–472.
<http://www.tiprpress.com/xdywc/article/abstract/201106012> (In Chinese)
14. Chen L.X., Xia G.Y., Liu Q.Y., Xie Y.Y., Qiu F. 2014. Chemical constituents from the calyces of *Physalis alkekengi* var. *franchetii*. Biochem. — Syst. Ecol. 54: 31–35.
<https://doi.org/10.1016/j.bse.2013.12.030>
15. Shu Z., Xu B., Xing N., Li X., Wang Q., Yang B., Kuang H. 2014. Chemical constituents of *Physalis* Calyx Seu Fructus. — Zhong Guo Shi Yan Fang Ji Xue Za Zhi (Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae). 21: 99–102. (In Chinese)
16. Birt D.F., Hendrich S., Wang W. 2001. Dietary agents in cancer prevention: flavonoids and isoflavonoids. — Pharmacol. Ther. 90: 157–177.
[https://doi.org/10.1016/S0163-7258\(01\)00137-1](https://doi.org/10.1016/S0163-7258(01)00137-1)
17. Nijveldt R.J., Van Nood E., Van Hoorn D.E., Boelen, P.G., Van Norren K., Van Leeuwen P.A. 2001. Flavonoids: a review of probable mechanisms of action and potential applications. — Am. J. Clin. Nutr. 74(2): 418–425.
<https://doi.org/10.1093/ajcn/74.4.418>
18. Yao L.H., Jiang Y., Shi J., Tomas-Barberan F., Datta N., Singanusong R., Chen S. 2004. Flavonoids in food and their health benefits. — Plant Foods Hum. Nutr. 59(3): 113–122.
<https://doi.org/10.1007/s11130-004-0049-7>
19. Weller P., Breithaupt D.E. 2003. Identification and quantification of zeaxanthin esters in plants using liquid chromatography-mass spectrometry. — J. Agric. Food Chem. 51(24): 7044–7049.
<https://doi.org/10.1021/jf034803s>
20. Pintea A., Varga A., Stepnowski P., Socaciu C., Culea M., Diehl H. 2005. Chromatographic analysis of carotenol fatty acid esters in *Physalis alkekengi* and *Hippophae rhamnoides*. — Phytochem. Anal. 16(3): 188–195.
<https://doi.org/10.1002/pca.844>
21. Deineka V.I., Sorokopudov V.N., Deineka L.A., Tretyakov M.Y., Fesenko V.V. 2008. Studies of *Physalis alkekengi* L. fruits as a source of xanthophylls. — Pharm. Chem. J. 42(2): 87–88.
<https://doi.org/10.1007/s11094-008-0065-2>
22. Wen X., Hempel J., Schweiggert R.M., Ni Y., Carle R. 2017. Carotenoids and Carotenoid Esters of Red and Yellow *Physalis* (*Physalis alkekengi* L. and *P. pubescens* L.) Fruits and Calyces. — J. Agric. Food Chem. 65(30): 6140–6151.
<https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b02514>
23. Kawai M., Matsuura T., Kyuno S., Matsuki H., Takenaka M., Katsuoka T., Butsugan Y., Saito K. 1987. A new physalin from *Physalis alkekengi*. Structure of physalin L. — Phytochemistry. 26(12): 3313–3317.
[https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)82495-4](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)82495-4)
24. Li X., Zhang C., Wu D., Tang L., Cao X., Xin Y. 2012. *In vitro* effects on intestinal bacterium of physalins from *Physalis alkekengi* var. *franchetii*. — Fitoterapia 83(8), 1460–1465.
<https://doi.org/10.1016/j.fitote.2012.08.011>
25. *Pharmacopoeia of People's Republic of China*. 2010. Volume 1. Chemical Industry Press. P. 337–338.

26. Wu H.Y., Suo Q.L., Li J. 2007. Research and Development on *Physalis alkekengi* of Pharmacology Activity in Clinical Function Plant. — Neimenggu Shiyou Huagong (Inner Mongolia Petrochemical Industry). 2: 5–8. (In Chinese)
27. Zhang N., Bie Z.M., Qing W.J., Zhang Y., Ge H.J., Shu C., Shi H.G., Ma H.B. 2008. The chemical composition and physiological effect of *Physalis alkekengi* L. var. *franchetii* (Mast.) Makino. — Journal of Jilin Medical College. 2: 104–107. (In Chinese)
28. Matsuura T., Kawai M., Nakashima R., Butsugan Y. 1969. Bitter principles of *Physalis alkekengi* var *franchetii*: structure of physalin A. — Tetrahedron Lett. 10(14): 1083–1086.
[https://doi.org/10.1016/S0040-4039\(01\)97745-7](https://doi.org/10.1016/S0040-4039(01)97745-7)
29. Kawai M., Matsumoto A., Makino B., Mori H., Ogura T., Butsugan Y., Ogawa K., Hayashi M. 1993. The Structure of Physalin P, a Neophysalin from *Physalis alkekengi*. — Bull. Chem. Soc. Jpn. 66 (4): 1299–1300.
<https://doi.org/10.1246/bcsj.66.1299>
30. Xu W., Chen J., Liu J. et al. 2013. Three new physalins from *Physalis alkekengi* var. *franchetii*. — Nat. Prod. Bioprospect. 3(3): 103–106.
<https://doi.org/10.1007/s13659-013-0021-z>
31. Yang Y.K., Xie S.D., Xu W.X., Nian Y., Liu X.L., Peng X.R., Ding Z.T., Qiu M.H. 2016. Six new physalins from *Physalis alkekengi* var. *franchetii* and their cytotoxicity and antibacterial activity. — Fitoterapia. 112: 144–152.
<https://doi.org/10.1016/j.fitote.2016.05.010>
32. Helvacı S., Kökdil G., Kawai M., Duran N., Duran G., Güvenç A. 2010. Antimicrobial activity of the extracts and physalin D from *Physalis alkekengi* and evaluation of antioxidant potential of physalin D. — Pharm. Biol. 48(2): 142–150.
<https://doi.org/10.3109/13880200903062606>
33. Sa M.S., de Menezes M.N., Krettli A.U., Ribeiro I.M., Tomassini T.C., dos Santos R.R., de Azevedo Jr W.F., Soares M.B. 2011. Antimalarial activity of physalins B, D, F, and G. J. — Nat. Prod. 74(10): 2269–2272.
<https://doi.org/10.1021/np200260f>
34. Torabzadeh P., Panahi P. 2011. Evaluation of Antifungal Activity of *Physalis alkekengi* L. Extracts on *Microsporum canis*, *Candida albicans*, *Trichophyton mentagrophytes* and *Nocardia asteroides*. — American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci. 11 (6): 863–866.
[https://www.idosi.org/aejaes/jaes11\(6\)11/16.pdf](https://www.idosi.org/aejaes/jaes11(6)11/16.pdf)
35. Vandenberghe I., Créancier L., Vispé S., Annereau J.P., Barret J.M., Pouny I., Samson A., Aussagues Y., Massiot G., Ausseil F., Bailly C., Kruczyński A. 2008. Physalin B, a novel inhibitor of the ubiquitin-proteasome pathway, triggers NOXA-associated apoptosis. Biochem. — Pharmacol. 76(4): 453–462.
<https://doi.org/10.1016/j.bcp.2008.05.031>
36. Kang N., Jian J.F., Cao S.J., Zhang Q., Mao Y.W., Huang Y.Y., Peng Y.F., Qiu F., Gao X.M. 2016. Physalin A induces G2/M phase cell cycle arrest in human non-small cell lung cancer cells: involvement of the p38 MAPK/ROS pathway. — Mol. Cell. Biochem. 415: 145–155.
<https://doi.org/10.1007/s11010-016-2686-1>
37. Zhu F., Dai C., Fu Y., Loo J.F., Xia D., Gao S.P., Ma Z., Chen Z. 2016. Physalin A exerts anti-tumor activity in non-small cell lung cancer cell lines by suppressing JAK/STAT3 signaling. — Oncotarget. 7: 9462–9476.
<https://doi.org/10.18632/oncotarget.7051>
38. He H., Zang L.-H., Feng Y.-S., Chen L.-X., Kang N., Tashiro S.-I., Onodera S., Qui F., Ikejima T. 2013. Physalin A induces apoptosis via p53-Noxa-mediated ROS generation, and autophagy plays a protective role against apoptosis through p38-NF-κB survival pathway in A375-S2 cells. — Journal of Ethnopharmacology. 148(2): 544–555.
<https://doi.org/10.1016/j.jep.2013.04.051>
39. Lin Y., Shi R., Wang X., Shen H.M. 2008. Luteolin, a flavonoid with potential for cancer prevention and therapy. — Curr. Cancer Drug Targets. 8(7): 634–646.
<https://doi.org/10.2174/156800908786241050>
40. Murakami A., Ashida H., Terao J. 2008. Multitargeted cancer prevention by quercetin. — Cancer Lett. 269(2): 315–325.
<https://doi.org/10.1016/j.canlet.2008.03.046>
41. Sanchooli N. 2011. Antidiabetic properties of *Physalis alkekengi* extract in alloxan-induced diabetic rats. — Res. J. Pharm., Biol. Chem. Sci. 2(3): 168.
[https://www.rjpbcs.com/pdf/2011_2\(3\)/21.pdf](https://www.rjpbcs.com/pdf/2011_2(3)/21.pdf)
42. Meng S., Cao J., Feng Q., Peng J., Hu Y. 2013. Role of chlorogenic acid on regulating glucose and lipids metabolism: a review. Evid. Based Complement. — Alternat. Med. Special Issue. Article ID 801457.
<https://doi.org/10.1155/2013/801457>
43. Mancuso C., Santangelo R. 2014. Ferulic acid: pharmacological and toxicological aspects. — Food Chem. Toxicol. 65: 185–195.
<https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.12.024>

44. Mirheydar H. 2003. Herbal information: usage of plants in prevention and treatment of disease. Islamic Culture Publishing Center, Tehran. P. 39–42.
45. Asano N., Kato A., Miyauchi M., Kizu H., Tomimori T., Matsui K., Nash R.J., Molyneux, R.J. 1997. Specific α -Galactosidase Inhibitors, N-Methylcalystegines Structure/Activity Relationships of Calystegines from *Lycium chinense*. Eur. J. Biochem., 248(2): 296–303.
<https://doi.org/10.1111/j.1432-1033.1997.00296.x>
46. Li J., Li J., Li D. 2002. Studies on the chemical constituents of *Physalis alkekengi* L. var. *francheti* (Mast.) Makino (II). – Zhong Cao Yao (Chinese Traditional and Herbal Drugs). 9: 788–789. (In Chinese)
47. Li X., Zhao J., Yang M., Liu Y., Li Z., Li R., Li X., Li N., Xu Q., Khan I. A., Yang S. 2014. Physalins and withanolides from the fruits of *Physalis alkekengi* L. var. *francheti* (Mast.) Makino and the inhibitory activities against human tumor cells. – Phytochem. Lett. 10: 95–100.
<https://doi.org/10.1016/j.phytol.2014.08.004>
48. Sunayama R., Kuroyanagi M., Umehara K., Ueno A. 1993. Physalin and neophysalins from *Physalis alkekengi* var. *francheti* and their differentiation inducing activity. – Phytochemistry. 34(2):529–533.
[https://doi.org/10.1016/0031-9422\(93\)80040-Y](https://doi.org/10.1016/0031-9422(93)80040-Y)
49. Li K., Diao Y., Wang M., Yang S., Zhang H., Huang S., Yang H. 2010. Chemical constituents of the fruits of *Physalis alkekengi* L. var. *francheti* (Mast.) Makino. – Chinese Journal of Organic Chemistry. 30(1): 128–131. (In Chinese)
50. Kawai M., Ogura T., Butsugan Y., Taga T., Hayashi M. 1991. Benzilic acid rearrangement-type reaction of physalins to neophysalins. Structural revision of one of the dehydration products of physalin A. – Tetrahedron. 47(12-13): 2103–2110.
[https://doi.org/10.1016/S0040-4020\(01\)96121-6](https://doi.org/10.1016/S0040-4020(01)96121-6)
51. Basey K., McGaw B.A., Woolley J.G. 1992. Phygrine, an alkaloid from *Physalis* species. – Phytochemistry. 31(12): 4173–4176.
[https://doi.org/10.1016/0031-9422\(92\)80437-J](https://doi.org/10.1016/0031-9422(92)80437-J)
52. Asano N., Kato A., Oseki K., Kizu H., Matsui K. 1995. Calystegins of *Physalis alkekengi* var. *francheti* (Solanaceae). – Eur. J. Biochem. 229(2): 369–376.
<https://doi.org/10.1111/j.1432-1033.1995.0369k.x>
53. Asano N., Kato A., Kizu H., Matsui K. 1996. 1 β -amino-2 α ,3 β ,5 β -trihydroxycycloheptane from *Physalis alkekengi* var. *francheti*. – Phytochemistry. 42(3): 719–721.
[https://doi.org/10.1016/0031-9422\(96\)00034-9](https://doi.org/10.1016/0031-9422(96)00034-9)

БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ *PHYSALIS ALKEKENGI* (SOLANACEAE)

Э. Н. Новрузов*

¹Институт Ботаники НАН Азербайджана, Баку, Республика Азербайджан

*e-mail: eldar_novruzov@yahoo.co.uk

Physalis alkekengi L. хорошо знали как лекарственное растение еще в Древнем Китае. Плоды, чашечку и корни растения использовали при лечении ряда заболеваний, включая боль в горле, кашель, экзему, гепатит и опухоли. В системе медицины Унани сухие плоды растения, называемые Какпај ценятся прежде всего как источники витамина С и используются в качестве мочегонного, антисептического и седативного средства. Современные медицинские исследования показали, что *P. alkekengi* эффективен при нарушениях функций иммунной системы, уровня гормонов щитовидной железы, ферментов печени, половых и репродуктивных гормонов, против рака. Полезными свойствами растение обязано присутствием в его составе биологически активных соединений, таких как алкалоиды, флавоноиды, стероиды, витамин С и др. Цель данной работы – проведение анализа приведенных в литературе результатов экспериментальных исследований, касающихся компонентного состава и биологической активности *P. alkekengi*. Результаты химического изучения растения показывали, что свежие плоды, а также остальные части растения (чашечка, корни, листья) богаты различными биологически активными веществами (флавоноиды, стероиды, алкалоиды и др.). Наряду с изучением химического состава различных органов *P. alkekengi* были широко исследованы антибактериальные, противогрибковые, иммуномодулирующие, противоопухолевые, противовоспалительные и др. свойства группы веществ и индивидуальных компонентов, выделенных из экстрактов данного растения. Результаты анализа литературных данных позволяют рассматривать данное растение в качестве перспективного источника веществ для создания лекарственных средств.

Keywords: *Physalis alkekengi*, биологически активные компоненты, биологическая активность