

БИОТОПИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОДЕРЖАНИЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ В ЛИСТЬЯХ ЧЕРНИКИ ОБЫКНОВЕННОЙ (*VACCINIUM MYRTILLUS* L.) В ПОДЗОНЕ ЮЖНОЙ ТАЙГИ

Н.Ю. Егорова^{1, 2✉}, А.С. Сюткина¹

¹ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б.М. Житкова», Россия, 610017, г. Киров, ул. Преображенская, д. 79

²ФГБОУ ВО «Вятский государственный агротехнологический университет», Россия, 610000, г. Киров, Октябрьский проспект, д. 133

n_chirkova@mail.ru

Представлены данные о содержании фотосинтетических пигментов в листьях черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus* L.), произрастающей в различных эколого-ценотических условиях южной подзоны тайги. Проанализированы образцы листьев, отобранные в фитоценозах с доминированием черники обыкновенной в травяно-кустарничковом ярусе, относящихся к пяти типам растительных сообществ. Показано, что содержание каротиноидов положительно коррелирует с содержанием хлорофиллов на уровне $r = 0,62$ ($p < 0,01$). Сформулировано предположение о том, что увеличение доли каротиноидов в сосняках кустарничково-зеленомошных связано с усилением их светозащитного значения в фитоценозах данного типа, тогда как в ельниках накопление пигмента обусловлено активизацией его светособирающей функции. Установлено, что содержание пигментов в листьях черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus* L.) в большей степени зависит от таких экологических факторов как освещенность и кислотность почвы.

Ключевые слова: фотосинтетические пигменты, черника обыкновенная, южная тайга, фитоценоз, хлорофиллы, каротиноиды

Ссылка для цитирования: Егорова Н.Ю., Сюткина А.С. Биотопическая изменчивость содержания фотосинтетических пигментов в листьях черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus* L.) в подзоне южной тайги // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2026. Т. 30. № 4. С. 33–46.
DOI: 10.17816/2542-1468-2026-4-33-46

Исследования объектов растительного мира на функциональном уровне необходимы для понимания приспособления растений к условиям местообитания, а также для прогнозирования динамики распространения видов в условиях климатических и экологических изменений. Как показали результаты исследований [1–5], именно содержание фотосинтетических пигментов является одним из значимых показателей реакции растений на изменения, происходящие в окружающей среде. Это позволяет применять растительные организмы в качестве объектов биоиндикации.

В настоящее время проводится достаточно много исследований [3, 6–10], направленных на выявление связей между функциональными характеристиками объектов растительного мира и экотопическими условиями в местах их обитания. Кроме климатических и биотических

факторов изучается воздействие разнообразных поллютантов и выбросов промышленных предприятий на биохимические показатели растительных клеток [11–17]. Установлены также сезонные изменения концентрации пигментов и зависимость их накопления от погодных условий вегетационного сезона [18–23].

Для понимания степени пластичности фотосинтетического аппарата и его способности адаптироваться к изменяющимся условиям среды необходимо изучать виды, характеризующиеся достаточно большим ареалом и широкой экологической амплитудой, в частности такой распространенный вид как дикорастущий ягодный кустарничек семейства Вересковые (*Ericaceae*) — черника обыкновенная (*Vaccinium myrtillus* L.).

Черника обыкновенная (*Vaccinium myrtillus* L.) представляет собой длиннокорневищный вегетативно-подвижный поликарпический симподиально нарастающий листопадный кустарничек, будучи аборигенным компонентом

бореальных лесных формаций, характеризуется большим фитоценотическим значением для этих сообществ, в том числе в части накопления органического вещества, и биологическом круговороте [24]. Черника обыкновенная — важный промысловый ресурс для многих регионов таежной зоны, а также значимый объект в кормовом рационе животных [25, 26], которые поедают не только побеги растения, но и плоды (глухарь, лось, медведь, лисица, куница). Как показали исследования [27], черника обыкновенная оказывает существенное влияние на функционирование биогеоценозов, определяя их структурные особенности, а также концентрацию и численность животных потребителей ягод.

Содержание пигментов в листьях черники обыкновенной ранее изучалось в связи с реакцией на техногенное загрязнение [12, 15, 18] и засуху [28]. Исследования влияния условий биотопа на количественные параметры пигментного комплекса листьев черники обыкновенной весьма отрывочны и не многочисленны. По этой причине изучение функциональных особенностей константных видов травяно-кустарничкового яруса бореальных хвойных лесов является актуальным направлением в области исследований лесных экосистем и их мониторинга в условиях глобальных климатических изменений и оценки состояния отдельных видов и экосистем в целом.

Цель работы

Цель работы — оценка содержания хлорофиллов и каротиноидов в листьях черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus* L.) в зависимости от экотопологических условий местообитания в южной подзоне тайги в пределах Кировской области.

Материалы и методы

Сбор растительного материала черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus* L.) производился в II–III декаду июля 2023 г., что соответствует, по международной шкале ВВСН [29, 30], фазе полного созревания (ВВСН-81). Листья отбирали у зрелых генеративных растений (g_2) с побегов текущего вегетационного периода. Всего исследованиями были охвачены 15 различных типов фитоценозов, в которых черника обыкновенная является доминантом или содоминантом в напочвенном покрове. Изученные растительные сообщества распространены в пределах территории трех муниципальных районов Кировской области — Сло-

бодского, Куменского, Оричевского и относятся к южно-таежному району таежной зоны Европейской части Российской Федерации [31].

Фотосинтетические пигменты были исследованы в свежесобранном биоматериале в 5-кратной повторности. Навеску свежих листьев (0,5 г) обрабатывали этанолом (100 %) до полного извлечения пигментов. Содержание пигментов определяли спектрофотометрическим методом. Оптическую плотность экстрактов измеряли на спектрофотометре UNICO 1201 («United Products & Instruments, Inc.», США). Количество пигментов рассчитывали по стандартной методике [32, 33].

На основе фитоиндикационного подхода с использованием точечных шкал Г. Элленберга [34] были количественно оценены экологические условия (освещенность, параметры эдафотопы) в изученных местообитаниях черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus* L.). Для этого предварительно выполняли полные геоботанические описания согласно общепринятым рекомендациям и методам [35].

Математическую обработку результатов измерений провели с помощью программного пакета STATISTICA версии 12. Полученные данные представлены в виде средних арифметических значений и их стандартных ошибок. Достоверность различий содержания фотосинтетических пигментов в различных группах растительных ассоциаций оценивали с помощью *t*-критерия Стьюдента. Оценку взаимосвязи экотопологических параметров местообитаний вида и количественных показателей пигментного комплекса листьев черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus* L.) выполняли путем регрессионно-корреляционного анализа.

Результаты и обсуждение

Черника обыкновенная (*Vaccinium myrtillus* L.) — константный, часто встречающийся вид в хвойных и смешанных лесах таежной зоны, который предпочитает средневозрастные, спелые, припевающие низко- и средне-полнотные типы насаждений [36].

Краткое описание растительных ассоциаций с участием черники обыкновенной в травяно-кустарничковом ярусе приведено ниже.

Сосняки кустарничково-зеленомошные (группа типов ассоциаций *Pineta sylvestris fruticulosо-hylocomiosa*) формирует сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), сопутствующими породами являются береза пушистая (*Betula pubescens* Ehrh.), береза повислая (*Betula pendula* Roth), осина обыкновенная (*Populus tremula* L.), реже — ель обыкно-

венная (*Picea abies* (L.) Н. Karst.). Древесный ярус имеет сомкнутость крон 0,6...0,8. В ярусе подлеска отмечены можжевельник обыкновенный (*Juniperus communis* L.), крушина ломкая (*Frangula alnus* Mill.), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.). В травяно-кустарничковом ярусе с проективным покрытием от 40 до 60 % доминируют и содоминируют брусника обыкновенная (*Vaccinium vitis-idaea* L.) и черника обыкновенная (*Vaccinium myrtillus* L.). Мохово-лишайниковый ярус формируют зеленые мхи, характерно присутствие лишайников из рода Кладония (*Cladonia*).

Сомкнутость древостоя в сосняках кустарничково-сфагновых (группа типов ассоциаций *Pineta fruticuloso-sphagnosa*) варьирует от 0,3 до 0,5; древостой состоит из сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) возрастом около 70 лет. Травяно-кустарничковый ярус (покрытие 40 %) включает преимущественно олиготрофные виды — подбел обыкновенный (*Andromeda polifolia* L.), багульник болотный (*Ledum palustre* L.), голубика обыкновенная (*Vaccinium uliginosum* L.). Проективное покрытие черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus* L.) в фитоценозах этого типа редко превышает 25...30 %. Мохово-лишайниковый ярус отличается практически сплошным покрытием (90...100 %) и преобладанием сфагновых мхов.

Древесный ярус в ельниках кустарничково-зеленомошных (группа типов ассоциаций *Piceeta fruticuloso-hylocomiosa*) характеризуется следующими параметрами: сомкнутость крон 0,6...0,8, возраст древостоя 55...80 лет. В древостое господствует ель обыкновенная (*Picea abies* (L.) Н. Karst.), в виде примеси встречается пихта сибирская (*Abies sibirica* Ledeb.). Сопутствующими породами здесь являются также береза пушистая (*Betula pubescens* Ehrh.), береза повислая (*Betula pendula* Roth), сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), осина обыкновенная (*Populus tremula* L.). Подлесок густой, наиболее обычна рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.), с меньшим обилием присутствуют крушина ломкая (*Frangula alnus* Mill.), волчегодник обыкновенный (*Daphne mezereum* L.), жимолость обыкновенная (*Lonicera xylosteum* L.). В живом напочвенном покрове с общим проективным покрытием 55...85 % преобладают черника обыкновенная (*Vaccinium myrtillus* L.), брусника обыкновенная (*Vaccinium vitis-idaea* L.), кислица обыкновенная (*Oxalis acetosella* L.), высокой частотой встречаемости отличаются виды бореального мелкотравья: линнея северная (*Linnaea borealis* L.), майник двулистный

(*Maianthemum bifolium* (L.) F.W. Schmidt.), ожика волосистая (*Luzula pilosa* (L.) Willd.), костяника (*Rubus saxatilis* L.), седмичник европейский (*Trientalis europaea* L.). Моховой покров сформирован зелеными мхами.

Ельники кустарничково-долгомошно-сфагновые (группа типов ассоциаций *Piceeta fruticuloso-polytrichoso-sphagnosa*) отличает доминирование в древостое ели обыкновенной (*Picea abies* (L.) Н. Karst.) с примесью сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и мелколиственных пород: березы пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.), березы повислой (*Betula pendula* Roth), осины обыкновенной (*Populus tremula* L.), ольхи серой (*Alnus incana* (L.) Moench). В ярусе подлеска отмечены рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.), можжевельник обыкновенный (*Juniperus communis* L.), крушина ломкая (*Frangula alnus* Mill.). В травяном покрове (общее проективное покрытие 25...45 %) с наибольшим обилием встречаются черника обыкновенная (*Vaccinium myrtillus* L.), брусника обыкновенная (*Vaccinium vitis-idaea* L.), хвощ лесной (*Equisetum sylvaticum* L.), осока шаровидная (*Carex globularis* L.). Моховой ярус (покрытие 90...100 %) отличается преобладанием сфагновых мхов при значительном участии зеленых мхов.

Древесный ярус в березняках и осинниках кустарничково-зеленомошных (группа типов ассоциаций *Betuleta, Populeta fruticuloso-hylocomiosa*) состоит из березы пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.) и осины обыкновенной (*Populus tremula* L.). Кроны древостоя характеризуются сомкнутостью в пределах 0,6...0,7. В фитоценозах данного типа выделяется второй ярус из ели. В подлеске наиболее часто встречаются рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.) и крушина ломкая (*Frangula alnus* Mill.). Общее покрытие травяно-кустарничкового яруса — 55...65 %. В качестве содоминантов здесь выступают черника обыкновенная (*Vaccinium myrtillus* L.), брусника обыкновенная (*Vaccinium vitis-idaea* L.), хвощ лесной (*Equisetum sylvaticum* L.), майник двулистный (*Maianthemum bifolium* (L.) F.W. Schmidt.). Покров из мхов, как правило, редко сплошной, чаще представлен в виде пятен в микропонижениях.

Флористическое разнообразие растительных сообществ различных типов ассоциаций с участием черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus* L.), заметно отличается (табл. 1). Наименьшим флористическим разнообразием характеризуются фитоценозы с повышенным увлажнением (ельники, сосняки, березняки

Т а б л и ц а 1

**Эколого-ценотическая характеристика изученных местообитаний
черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus* L.)**

**Ecological and cenotic characteristics
of the studied blueberry plantations (*Vaccinium myrtillus* L.)**

Признак	Группа типов ассоциаций				
	Сосняки кустарничково-зеленомошные (<i>Pineta sylvestris fruticoso-hylocomiosa</i>)	Сосняки кустарничково-сфагновые (<i>Pineta fruticoso-sphagnosa</i>)	Ельники кустарничково-зеленомошные (<i>Piceeta fruticoso-hylocomiosa</i>)	Ельники кустарничково-долгомошно-сфагновые (<i>Piceeta fruticoso-polytrichoso-sphagnosa</i>)	Березняки и осинники кустарничково-зеленомошные (<i>Betuleta, Populeta fruticoso-hylocomiosa</i>)
Состав древостоя	8С2Б	10С+Б	9ЕП+Ос	9ЕБ	8Б2Ос
Возраст древостоя, лет	75...85	50...70	55...80	50...70	45...65
Сомкнутость крон древостоя	0,4...0,55	0,3...0,45	0,6...0,8	0,55...0,75	0,65...0,75
Общее число видов сосудистых растений	15...24	7...19	8...38	8...13	13...24
Общее проективное покрытие, %	45...70	35...40	55...85	25...45	55...65
Проективное покрытие черники обыкновенной (<i>Vaccinium myrtillus</i> L.), %	40...50	15...25	35...55	20...30	35...40
Экологические факторы (на основании экологических шкал Элленберга)					
Освещенность	5,8...6,3	5,3...5,8	4,7...5,1	4,0...4,8	4,5...5,3
Увлажнение	5,1...5,4	5,8...7,1	5,1...5,6	5,3...6,4	5,2...6,2
Реакция субстрата	4,0...4,5	2,7...4,0	4,6...5,6	3,1...4,0	3,4...4,0
Обеспеченность субстрата азотом	3,1...4,1	2,6...2,8	4,2...4,6	3,0...4,1	2,9...4,0

кустарничково-сфагновые). Диапазон варьирования видов здесь составляет от 7 до 24. Наибольшее видовое разнообразие отмечено в ельниках и сосняках зеленомошно-кустарничковых, в которых общее число зарегистрированных видов сосудистых растений изменяется от 15 до 38. Проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса также определяется типом лесорастительных условий и составляет от 25 до 85 %, проективное покрытие черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus* L.) находится в пределах от 15 до 45 %.

В результате проведенного анализа геоботанических описаний определены балловые характеристики экологических показателей изученных местообитаний вида, а также выявлены особенности различных биотопов (см. табл. 1). В частности, по такому фактору среды, как освещенность более высокими значениями (5,3...6,3 балла) отличаются

сосняки зеленомошные и сфагновые (группы типов ассоциаций *Pineta sylvestris fruticoso-hylocomiosa*, *Pineta fruticoso-sphagnosa*), а так же фитоценозы, сформированные преимущественно теневыносливыми растениями, т. е. еловые и березовые насаждения, в которых освещенность составляет 30...40 % (4,7...5,3 балла). По фактору увлажнения растительные сообщества с черникой обыкновенной (*Vaccinium myrtillus* L.) характеризуются как средне влажные (5,1...5,6 балла) в фитоценозах, приуроченных к ельникам и соснякам кустарничково-зеленомошным (группы типов ассоциаций *Piceeta fruticoso-hylocomiosa* и *Pineta sylvestris fruticoso-hylocomiosa*) и свежие (5,8–6,2 балла) в ельниках кустарничково-сфагновых и березняках и осинниках кустарничково-зеленомошных (группы типов ассоциаций *Piceeta fruticoso-polytrichoso-sphagnosa*, *Betuleta*, *Populeta*

fruticuloso-polytrichosa) до влажных (7 баллов), распространенных в сосняках кустарничково-сфагновых (группа типов ассоциаций *Pineta fruticuloso-sphagnosa*). Местообитания черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus* L.), в соответствии со шкалой кислотно-щелочных условий почв Элленберга, варьируют от кислых — 3-я ступень (группы типов ассоциаций *Betuleta*, *Betuleta*, *Populeta fruticuloso-polytrichosa*, *Pineta sylvestris fruticuloso-hylocomiosa*) до умеренно-кислых — 5-я ступень (группы типов ассоциаций *Piceeta fruticuloso-hylocomiosa*, *Pineta fruticuloso-sphagnosa*). По обеспеченности субстрата питательными веществами сосновые леса зеленомошного и сфагнового типов относятся к бедным по общему запасу в почве таких питательных веществ как азот, калий, фосфор, магний. Более обеспечены этими элементами почвы в ельниках кустарничково-зеленомошных — 4–5-я ступень шкалы Элленберга.

При дифференциации биотопов с черникой обыкновенной по четырем экологическим параметрам (см. табл. 1) методом главных компонент выявлены два значимых фактора (рис. 1), из которых наиболее сильное влияние на распространение вида оказывает обогащенность почвы питательными веществами (66,4 % общей изменчивости), в меньшей степени — кислотность почвы (19,8 % общей изменчивости).

По результатам анализа полученных данных по компонентам фотосинтетического аппарата выявлены заметные ценоотические различия в содержании зеленых пигментов в листьях черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus* L.) и зависимость их накопления от местообитания. В частности, в сосняках зеленомошно-кустарничковых содержится хлорофилла *a* — от 5,1 до 7,6 мг/г сухого вещества (в среднем $6,26 \pm 0,30$ мг/г сухого вещества), хлорофилла *b* от 3,2 до 7,5 мг/г сухого вещества (в среднем $5,6 \pm 0,50$ мг/г сухого вещества). В листьях черники обыкновенной, произрастающей в условиях сосняков заболоченных, концентрация зеленых пигментов ниже в 1,5–1,7 раза и составляет в среднем $4,13 \pm 0,20$ мг/г сухого вещества хлорофилла *a* и $3,3 \pm 0,14$ мг/г сухого вещества хлорофилла *b*. Подобная же картина наблюдается и при сравнении содержания фотосинтетических пигментов в образцах черники обыкновенной из фитоценозов, относящихся к ельникам разной степени увлажнения (ельники кустарничково-зеленомошные и зеленомошно-сфагновые) (табл. 2). Вероятно, подобные различия между накоплением пигментов обусловлены неблагоприятными гидротермическими условиями, складывающимися для вида в условиях избыточно увлажненных сосняков и ельников.



Рис. 1. Ординация биотопов с черникой обыкновенной (*Vaccinium myrtillus* L.) в системе первых двух главных компонент (PCA — Principal Components Analysis)

Fig. 1. Ordination of biotopes with *Vaccinium myrtillus* L. in the system of the first two main components (PCA — Principal Components Analysis)

Наименьшая концентрация хлорофилла обоих типов зафиксирована в образцах черники обыкновенной, отобранных в растительных сообществах березняков и осинников кустарничково-зеленомошных (группа типов ассоциаций *Betuleta*, *Populeta fruticuloso-polytrichosa*) и характеризуется значениями, близкими для фитоценозов с избыточным увлажнением — $3,28 \pm 0,14$ мг/г сухого вещества хлорофилла *a* и $1,94 \pm 0,10$ мг/г сухого вещества хлорофилла *b*.

В целом содержание пигментов в листьях черники обыкновенной находится в пределах или близко к значениям, ранее установленным для вида в условиях бореальных лесов европейского Северо-Востока России [37, 38].

Обнаружены статистически значимые отличия содержания хлорофиллов в зависимости от места произрастания (см. табл. 2). В частности, концентрация хлорофиллов обоих типов в сосняках кустарничково-зеленомошных достоверно превосходит полученные показатели в фитоценозах, относящихся к соснякам сфагнового типа и местообитаниям вида приуроченных к растительным сообществам березняков и осинников кустарничково-зеленомошных (группа типов ассоциаций *Betuleta*, *Populeta fruticuloso-polytrichosa*) с доверительной вероятностью по критерию Стьюдента 95,0...99,0 %.

Соотношение хлорофилла *a* и *b* ($K_{a/b}$) варьирует от 1,17 до 1,83. Более высокие значения данного показателя отмечаются у вида в растительных сообществах березняков и осин-

Т а б л и ц а 2

**Содержание фотосинтетических пигментов (мг/г сухого вещества)
в листьях черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus* L.)
в различных типах лесорастительных условий**

**Content of photosynthetic pigments (mg/g dry matter) in the blueberry (*Vaccinium myrtillus* L.)
leaves in different growing conditions**

Группа типов ассоциаций	Хлорофилл			Каротиноиды	Отношение суммы зеленых пигментов к сумме желтых, ($K_{(a+b)/car}$)
	<i>a</i>	<i>b</i>	соотношение форм хлорофиллов, ($K_{a/b}$)		
Сосняки кустарничково-зеленомошные (<i>Pineta sylvestris fruticoso-hylocomiosa</i>)	6,26 ± 0,30	5,61 ± 0,50	1,17	1,25 ± 0,07	11,22
Сосняки кустарничково-сфагновые (<i>Pineta fruticoso-sphagnosa</i>)	4,13 ± 0,20	3,30 ± 0,14	1,29	0,99 ± 0,07	9,88
Ельники кустарничково-зеленомошные (<i>Piceeta fruticoso-hylocomiosa</i>)	7,03 ± 0,63	5,49 ± 0,40	1,29	1,72 ± 0,10	7,40
Ельники кустарничково-долгомошно-сфагновые (<i>Piceeta fruticoso-polytrichoso-sphagnosa</i>)	4,41 ± 0,31	3,24 ± 0,11	1,36	1,08 ± 0,03	7,11
Березняки и осинники кустарничково-зеленомошные (<i>Betuleta, Populeta fruticoso-polytrichosa</i>)	3,28 ± 0,14	1,94 ± 0,10	1,83	1,09 ± 0,04	4,47

ников кустарничково-зеленомошных (группа типов ассоциаций *Betuleta, Populeta fruticoso-polytrichosa*). Наименьшим значением соотношения $K_{a/b}$ отличаются образцы кустарничка из сосняков кустарничково-зеленомошных. Отношение количества хлорофиллов к содержанию каротиноидов ($K_{(a+b)/car}$) является еще одной значимой характеристикой фотосинтетического аппарата растений. Данный критерий оценивает общее состояние пигментной системы видов в зависимости от условий обитания. Значение соотношения хлорофиллы/каротиноиды в исследуемых типах лесорастительных условий находится в пределах от 4,47 до 11,22. Содержание желтых пигментов в листьях черники обыкновенной, отобранных в растительных сообществах сосняков кустарничково-зеленомошных несколько выше ($K_{(a+b)/car} = 11,22$), чем в других местообитаниях вида, что объясняется более высокой освещенностью. Наиболее низкие значения данного критерия отмечены в условиях сообществ березняков и осинников кустарничково-зеленомошных (группа типов ассоциаций *Betuleta, Populeta fruticoso-polytrichosa*)

($K_{(a+b)/car} = 4,47$), что свидетельствует, по мнению авторов работы [3] о дисбалансе между основной и вспомогательной формами пигментов у исследуемого вида в фитоценозах данного типа.

Каротиноиды относятся к вспомогательными фотосинтетическими пигментами, их функциональная активность связана с фотохимической, структурной, светособирающей и фотопротекторной функциями. Согласно литературным данным [39], в листьях растений содержится приблизительно в 3 раза меньше желтых пигментов по сравнению с зелеными.

Количество каротиноидов в листьях исследуемого вида изменяется в зависимости от места обитания от 0,85 до 2,7 мг/г сухого вещества (см. табл. 2). Полученные данные близки к приводимым другими исследователями [40, 41]. Так, в кедровых сообществах средней тайги (Ханты-Мансийский автономный округ Югра) содержание каротиноидов у черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus* L.) составляет $0,62 \pm 0,11$ мг/г абсолютно сухой массы [40], а в условиях среднетаежных смешанных лесов

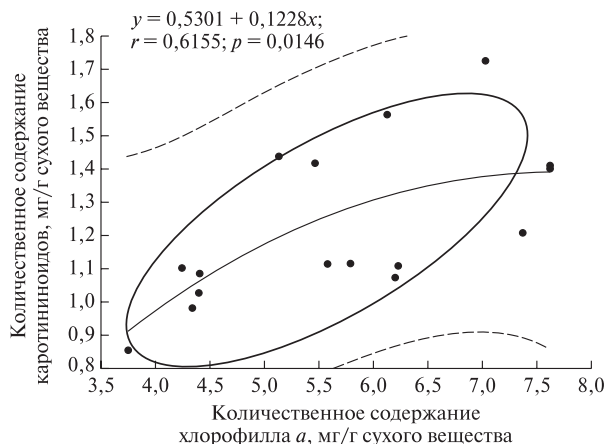


Рис. 2. Зависимость между интенсивностью накопления каротиноидов и содержанием хлорофилла *a* в листьях черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus* L.)

Fig. 2. The correlation between the intensity of carotenoid accumulation and the chlorophyll *a* content in *Vaccinium myrtillus* L. leaves

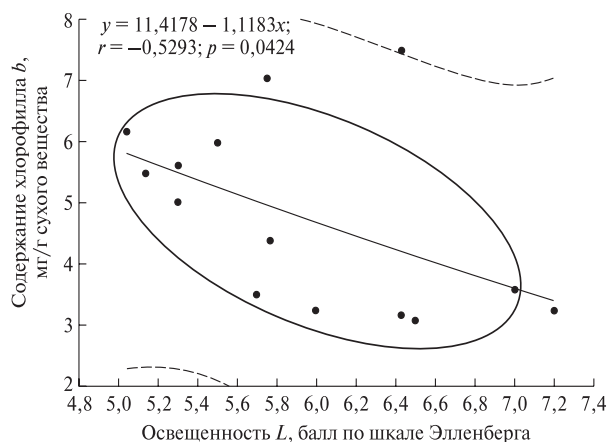


Рис. 3. Зависимость количественного содержания хлорофилла *b* в листьях черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus* L.) от интенсивности освещенности

Fig. 3. The correlation between the chlorophyll *b* content in *Vaccinium myrtillus* L. leaves and the illumination level

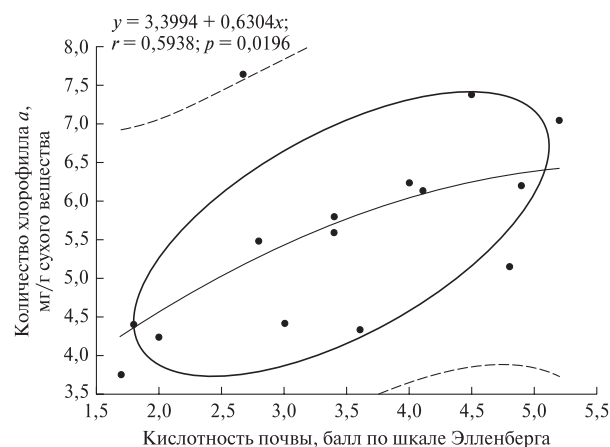


Рис. 4. Зависимость количественного содержания хлорофилла *a* в листьях черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus* L.) от кислотно-щелочных условий почвы

Fig. 4. The correlation between chlorophyll *a* content in *Vaccinium myrtillus* L. leaves and soil acidity

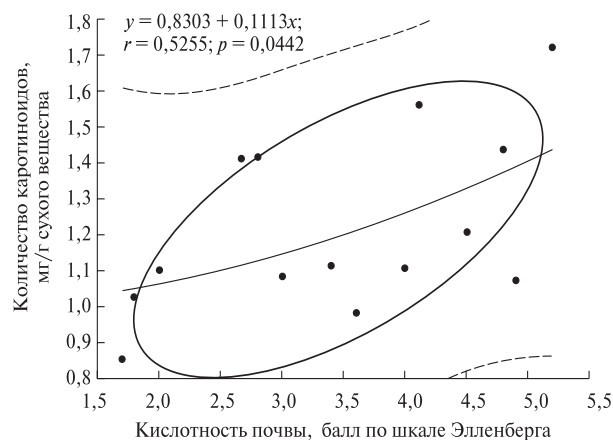


Рис. 5. Зависимость количественного содержания каротиноидов в листьях черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus* L.) от кислотно-щелочных условий почвы

Fig. 5. The correlation between the number of carotenoids in *Vaccinium myrtillus* L. leaves and soil acidity

(южная часть Туруханского района Красноярского края) оно достигает $1,51 \pm 0,23$ мг/г абсолютно сухой массы [41].

Наибольшее количество каротиноидов содержится в образцах черники обыкновенной, отобранных из растительных сообществ ельников кустарничково-зеленомошных (группа типов ассоциаций *Piceeta fruticulosohylocomiosa*) — в среднем 1,72 мг/г сухого вещества. В условиях сосняков кустарничково-зеленомошных в листьях исследуемого вида накапливается несколько меньше каро-

тиноидов, их содержание составляет 1,25 мг/г сухого вещества. В фитоценозах с избыточным увлажнением (сосняки, ельники, березняки кустарничково-зеленомошно-сфагновые) концентрация пигмента в листьях черники обыкновенной характеризуется наименьшими значениями среди изученных местообитаний вида, т. е. составляет 0,99...1,09 мг/г сухого вещества.

Более высокое содержание желтых пигментов в листьях кустарничка в ельниках кустарничково-зеленомошных может быть обусловлено адапционным повышением устойчивости

фотосинтетического аппарата к условиям затенения (фотособирающая функция каротиноидов), а также может способствовать более эффективному использованию солнечной радиации в течение вегетационного периода [41]. В сосняках кустарничково-зеленомошных (группа типов ассоциаций *Pineta sylvestris fruticuloso-hylocomiosa*), напротив, накопление каротиноидов связано с их фотозащитной функцией и адаптацией растения к повышенной освещенности биотопа.

Уровень накопления каротиноидов в листьях черники обыкновенной из всех исследованных фитоценозов характеризуется умеренной положительной корреляцией с содержанием хлорофилла ($r = 0,62, p < 0,01$) (рис. 2). Наличие тесной прямой связи этих показателей ранее отмечали и другие исследователи [41–44].

Изучение особенностей накопления зеленых пигментов в зависимости от экологических условий биотопа показало, что количество хлорофилла *b* линейно связано с уровнем освещенности (рис. 3). Концентрация данного пигмента в листьях черники обыкновенной при снижении уровня инсоляции падает.

На содержание хлорофилла *a* и каротиноидов в большей степени влияет кислотность почвы (рис. 4, 5).

В местообитаниях вида с сильно кислыми и кислыми (2–3-я ступени шкалы Элленберга) почвами, что соответствует условиям сосняков и ельников кустарничково-зеленомошно-сфагновых, пигментов в листьях содержится значительно меньше по сравнению с умеренно кислыми и слабокислыми субстратами (4–5-я ступени шкалы Элленберга) в ельниках и сосняках кустарничково-зеленомошных.

Выводы

Экологические условия местообитаний черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus* L.) в пределах исследуемого фрагмента ареала отличаются достаточно широким спектром. Показатели увлажнения находятся в границах от средне-влажных до влажных, эдафические параметры — от сильно кислых до кислых, от бедных до умеренно обеспеченных элементами минерального питания. Распространение вида в растительных сообществах южной подзоны тайги в большей степени связано с такими факторами, как кислотность и богатство почвы, которые определяют 86,2 % общей изменчивости.

В южной подзоне тайги европейского Северо-Востока России количественные показатели пигментной системы черники обыкновенной тесно связаны с типом леса. В ус-

ловиях фитоценозов с избыточным увлажнением (сосновых, еловых и березовых сообществах) в листьях черники накапливается меньше пигментов, чем в сухих и влажных сосняках и ельниках кустарничково-зеленомошных. По содержанию зеленых пигментов в листьях ягодника можно составить следующий ряд групп типов растительных ассоциаций, расположенных по убыванию количества хлорофилла: ельники кустарничково-зеленомошные (группа типов растительных ассоциаций *Piceeta fruticuloso-hylocomiosa*) > сосняки кустарничково-зеленомошные (группа типов растительных ассоциаций *Pineta sylvestris fruticuloso-hylocomiosa*) > ельники кустарничково-долгомошно-сфагновые (группа типов растительных ассоциаций *Piceeta fruticuloso-polytrichoso-sphagnosa*) > сосняки кустарничково-сфагновые (группа типов растительных ассоциаций *Pineta fruticuloso-sphagnosa*) > березняки и осинники кустарничково-зеленомошные (группа типов растительных ассоциаций *Betuleta, Populeta fruticuloso-polytrichosa*).

Содержание каротиноидов в листьях черники обыкновенной в несколько раз ниже концентрации зеленых пигментов, т. е. 0,85...2,7 мг/г сухой массы. Увеличение доли каротиноидов у растений, произрастающих в ельниках кустарничково-зеленомошных (группа типов растительных ассоциаций *Piceeta fruticuloso-hylocomiosa*), связано с их светособирающей функцией, тогда как в сосняках кустарничково-зеленомошных (группа типов растительных ассоциаций *Pineta sylvestris fruticuloso-hylocomiosa*) — фотозащитной функцией. Это, вероятно, свидетельствует об адаптации пигментного аппарата черники обыкновенной к изменению освещенности в данных местообитаниях.

В результате исследования выявлена тесная связь содержания зеленых и желтых пигментов, а также установлено, что количество фотосинтетических пигментов и каротиноидов напрямую зависит от условий освещенности и кислотности почв в фитоценозе.

Список литературы

- [1] Тужилкина В.В. Реакция пигментной системы хвойных на длительное азротехногенное загрязнение // Экология, 2009. № 4. С. 243–248.
- [2] Гетко Н.В. Растения в техногенной среде. Минск: Наука и техника, 1989. 206 с.
- [3] Иванова Н.А., Корчагина Л.Е. Особенности фотосинтетической активности и пигментного аппарата листьев растений в условиях нефтяного загрязнения на территории Среднего Приобья // Естественные науки, 2012. № 1 (38). С. 37–46.

- [4] Титова Н.М. Реакция пигментной системы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на загрязнение окружающей среды // Вестник КрасГАУ, 2013. № 10. С. 122–126.
- [5] Самусик Е.А., Головатый С.Е. Реакция пигментной системы древесных растений на газопылевое загрязнение // Журнал Белорусского государственного университета. Экология, 2023. № 2. С. 78–86. DOI: 10.46646/2521-683X/2023-2-78-86
- [6] Белявская Н.А., Волошина Н.Ю., Дидух Я.П. Влияние различных уровней освещенности на структурно-функциональную организацию хлоропластов листьев двух видов кленов // Физико-химические основы структурно-функциональной организации растений: тезисы докл. Междунар. науч. конф. г. Екатеринбург, 6–10 октября 2008 г. Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2008. С. 70–71.
- [7] Головки Т.К., Дальке И.В., Бочаров Д.С. Мезоструктура и активность фотосинтетического аппарата трех видов растений семейства *Grassulaceae* в холодном климате // Физиология растений, 2008. Т. 55. Вып. 5. С. 671–680.
- [8] Тужилкина В.В. Пигментный комплекс хвои сосны в лесах европейского Северо-Востока // Лесоведение, 2012. № 4. С. 16–23.
- [9] Тужилкина В.В. Фотосинтетические пигменты хвои ели сибирской в среднетаежных лесах европейского Северо-Востока России // Сибирский лесной журнал, 2017. № 1. С. 65–73.
- [10] Голубева Е.И., Червякова А.А., Шмакова Н.Ю., Зимин М.В., Тимохина Ю.И. Видовые и фитоценотические особенности пигментного состава растений Севера // Проблемы региональной экологии, 2019. № 1. С. 6–12. DOI: 10.24411/1728-323X-2019-11006
- [11] Кулагин А.Ю., Шаяхметова Р.И. Особенности содержания фотосинтетических пигментов в хвое сосны обыкновенной в условиях нефтяного загрязнения // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2016. Т. 18. № 2(2). С. 434–437.
- [12] Кизеев А.Н., Ушамова С.Ф., Константинова Л.И., Тимофеева М.Г., Манахов Д.В., Попова М.Б. Состояние черники обыкновенной в зоне действия Кольской атомной электростанции // Глобальный научный потенциал, 2017. № 4(73). С. 40–47.
- [13] Дегтярева А.П. Особенности содержания фотосинтетических пигментов в хвое сосны обыкновенной в разных экологических условиях // Научно-агрономический журнал, 2022. № 3(118). С. 70–74. DOI: 10.34736/FNC.2022.118.3.010.70-74
- [14] Стасова В.В., Скрипальщикова Л.Н., Астраханцева Н.В., Барченков А.П. Морфолого-анатомические характеристики и пигментный состав хвои сосны обыкновенной в зеленых насаждениях г. Красноярска // Сибирский лесной журнал, 2022. № 2. С. 3–10. DOI: 10.15372/SJFS20220201
- [15] Серeda Л.Н., Цветов Н.С., Дрогобужская С.В., Жиров В.К. Изменение содержания суммы флавоноидов в листьях и плодах черники *Vaccinium myrtillus* L. в градиенте техногенного загрязнения в центральной части Кольского полуострова // Экосистемы, 2023. Вып. 34. С. 163–167.
- [16] Чукина Н.В., Лукина Н.В., Филимонова Е.И., Глазырина М.А., Учаев А.П., Климова В.Н. Морфофизиологические особенности хвои *Pinus sylvestris* L., произрастающей на отвалах Анатольско-Шиловских месторождений асбеста // Лесохозяйственная информация, 2024. № 2. С. 5–18. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2024.2.01
- [17] Трифонова Т.А., Курбатов Ю.Н. Изучение физиологических особенностей растений в условиях захоронения нефтепродуктов под слоем почвы // Теоретическая и прикладная экология, 2025. № 1. С. 158–167. DOI: 10.25750/1995-4301-2024-4-158-168. URL: <https://sciup.org/143182679> (дата обращения 28.08.2025).
- [18] Czuchajska. Z., Strączek T. Seasonal changes of pigments concentration in the leaves of *Vaccinium myrtillus* and *Vaccinium vitis-idaea* and the influence of industrial emissions // Acta Societatis Botanicorum Poloniae, 2015. no. 48 (4). pp. 551–558. DOI: 10.5586/asbp.1979.046
- [19] Иванов Л.А., Ронжина Д.А., Юдина П.К., Золотарева Н.В., Калашникова И.В., Иванова Л.А. Сезонная динамика содержания хлорофиллов и каротиноидов в листьях степных и лесных растений на уровне вида и сообщества // Физиология растений, 2020. Т. 67. № 3. С. 278–288. DOI: 10.31857/S0015330320030112
- [20] Старикова Е.А., Воскресенская О.Л. Сезонная динамика содержания фотосинтетических пигментов у хвойных растений в условиях городской среды // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки, 2020. № 2 (30). С. 32–42. DOI: 10.21685/2307-9150-2020-2-4
- [21] Моисеева Е.А., Кравченко И.В., Шепелева Л.Ф., Бордей Р.Х. Накопление фотосинтетических пигментов и вторичных метаболитов в листьях галеги (*Galega orientalis* Lam.) сорта Гале в зависимости от возраста травостоя и агротехнологии при интродукции в зоне средней тайги Западной Сибири // Сельскохозяйственная биология, 2022. Т. 57. № 1. С. 44–65. DOI: 10.15389/agrobiology.2022.1.44rus
- [22] Калмыкова Е.В., Мельник К.А., Кузьмин П.А. Видовые различия в содержании фотосинтетических пигментов у растений аридных территорий юга России // Аграрный вестник Урала, 2023. № 03 (232). С. 32–42. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-232-03-32-42.
- [23] Фомина Т.И. Сезонная динамика фотосинтетических пигментов в побеге очитков (*Sedoideae*) // Аграрный вестник Урала, 2024. Т. 24. № 12. С. 1705–1713. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-12-1705-1713>
- [24] Nestby R., Martinussen I., Krogstad T., Uleberg E. Effect of fertilization, tiller cutting and environment on plant growth and yield of European blueberry (*Vaccinium myrtillus* L.) in Norwegian forest fields // J. of Berry Research, 2014, no. 4, pp. 79–95. <http://dx.doi.org/10.3233/JBR-140070>
- [25] Нечаев В.А., Нечаев А.А. Дикорастущие ягодные растения и птицы-карпофаги в таежной зоне юга Дальнего Востока России // Сибирский экологический журнал, 2012. № 1. С. 97–106. DOI: 10.1134/S1995425512010092.
- [26] Nestby R., Percival D., Martinussen I., Opstad N., Rohloff J. The European Blueberry (*Vaccinium myrtillus* L.) and the Potential for Cultivation. A Review // The European J. of Plant Science and Biotechnology 5 (Special Issue 1), 2011, pp. 5–16.

- [27] Егошина Т.Л., Егорова Н.Ю., Лугинина Е.А., Оботнин С.И., Ярославцев А.В., Гудовских Ю.В., Кислицына А.В., Капустина Н.В., Сулейманова В.Н. Значение дикорастущих ягодников в питании охотничьих животных // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2017. Т. 19. № 2–2. С. 255–260.
- [28] Taulavuori E., Tahkokorpi M., Laine K., Taulavuori K. Drought tolerance of juvenile and mature leaves of a deciduous dwarf shrub *Vaccinium myrtillus* L. in a boreal environment // *Protoplasma*, 2010, v. 241, pp. 19–27. <https://doi.org/10.1007/s00709-009-0096-x>
- [29] Meier U. The BBCH system to coding the phenological growth stages of plants — history and publications // *J. für Kulturpflanzen*, 2009, v. 61, pp. 41–52.
- [30] Meier U. Growth stages of mono- and dicotyledonous plants BBCH. Quedlinburg, 2018, 204 p.
- [31] Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации Перечня лесных районов РФ: приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 18.08.2014 № 367. URL: <https://minjust.consultant.ru/files/11733> (дата обращения: 15.05.2025).
- [32] Lichtenthaler H.K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes // *Methods in Enzymology*, 1987, v. 148, pp. 350–382.
- [33] Lichtenthaler H.K., Babani F. Light Adaptation and Senescence of the Photosynthetic Apparatus. Changes in Pigment Composition, Chlorophyll Fluorescence Parameters and Photosynthetic Activity / Eds. Papageorgiou, G.C., Govindjee. *Chlorophyll a Fluorescence. Advances in Photosynthesis and Respiration*, v. 19. Dordrecht: Springer, 2004, pp. 713–736. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-3218-9_28
- [34] Ellenberg H. *Zeigerwerte der Gefasspflanzen Mitteleuropas*. Göttingen, 1974, 97 p.
- [35] Ипатов В.С. Методы описания фитоценоза. СПб.: Изд-во СПб. ун-та, 2000. 53 с.
- [36] Егорова Н.Ю., Егошина Т.Л., Ярославцев А.В. *Vaccinium myrtillus* L. в Кировской области (южно-таежная подзона): фитоценотическая приуроченность, экологические предпочтения // Вестник Томского государственного университета. Биология, 2021. № 53. С. 68–88. DOI: 10.17223/19988591/4
- [37] Головки Т.К., Далько И.В., Дымова О.В., Захожий И.Г., Табаленкова Г.Н. Пигментный комплекс растений природной флоры европейского Северо-Востока // Известия Коми Научного Центра Уральского отделения Российской академии наук, 2010. № 1(1). С. 39–46.
- [38] Тужилкина В.В., Бобкова К.С. Хлорофилльный индекс в фитоценозах коренных ельников европейского северо-востока // ИзВУЗ Лесной журнал, 2010. № 2. С. 17–23.
- [39] Титова М.С. Содержание фотосинтетических пигментов в хвое *Picea abies* и *Picea koraiensis* // Вестник Оренбургского гос. ун-та, 2010. № 12. С. 9–12.
- [40] Устинова М.В., Кравченко И.В., Русак С.Н., Ядгарова Д.А. Баланс пулов фотосинтетических пигментов и фенольных соединений у кустарничков в условиях слабонарушенной территории // Самарский научный вестник, 2019. Т. 8. № 3 (28). С. 84–89.
- [41] Полосухина Д.А., Трусов Д.В., Титов С.В., Прокушкин А.С. Фракционный состав фитомассы и фотосинтетические пигменты кустарничкового яруса смешанного леса в подзоне средней тайги // Сибирский лесной журнал, 2024. № 4. С. 23–37. DOI: 10.15372/SJFS20240403
- [42] Кутафина Н.В., Краснопивцева А.Н. Физиологические основы адаптации растительных организмов в условиях урбанизированной среды // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности, 2017. Т. 25. № 1. С. 21–28.
- [43] Дымова О.В., Головки Т.К. Фотосинтетические пигменты в растениях природной флоры таежной зоны европейского Северо-Востока России // Физиология растений, 2019. Т. 66. № 3. С. 198–206. DOI: 10.1134/S0015330319030035
- [44] Дымова О.В., Головки Т.К. Фотосинтетические пигменты: функционирование, экология, биологическая активность // Известия Уфимского научного центра РАН, 2018. № 3(4). С. 5–16.

Сведения об авторах

Егорова Наталья Юрьевна✉ — канд. биол. наук, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б.М. Житкова»; ФГБОУ ВО «Вятский государственный агротехнологический университет», n_chirkova@mail.ru

Сюткина Анна Сергеевна — канд. биол. наук, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б.М. Житкова», annasiutkina@yandex.ru

Поступила в редакцию 16.09.2025.

Одобрено после рецензирования 15.01.2026.

Принята к публикации 19.03.2026.

BIOTOPIC VARIABILITY OF PHOTOSYNTHETIC PIGMENT CONTENT IN BLUEBERRY (*VACCINIUM MYRTILLUS* L.) LEAVES IN SOUTHERN TAIGA SUBZONE

N.Yu. Yegorova^{1, 2✉}, A.S. Syutkina¹

¹Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, 79, Preobrazhenskaya St., 610000, Kirov, Russia

²Vyatsky State Agrotechnological University, 133, Oktyabrsky Prospekt, 610017, Kirov, Russia

n_chirkova@mail.ru

The composition, content and ratio of pigments are important characteristics of the functional state of plants. Changes in the pigment system of plants are a significant criterion for assessing the influence of environmental factors on them. The paper presents data on the content of photosynthetic pigments in the leaves of *Vaccinium myrtillus* L., growing in various ecological and cenotic conditions of the Southern Taiga subzone. Leaf samples collected in phytocenoses dominated by *Vaccinium myrtillus* L. in the grass-shrub layer, belonging to 5 types of plant communities, were analyzed. Chlorophyll *a* and *b*, carotenoid concentrations were determined in freshly collected raw materials using a spectrophotometric method. Among the types of habitats studied, the largest pigment stock, which provides a high intensity of photosynthesis, is characteristic of *Vaccinium myrtillus* L. growing in conditions of pine and spruce shrub-green moss (11,87 and 12,52 mg/g of dry mass, respectively). The lowest concentration of chlorophylls (5,22...7,65 mg/g of dry weight) was detected in phytocenoses with excessive moisture (pine forests, spruce forests, birch forests of shrub-green moss-sphagnum). As a result of the study, it was found that the ratio of chlorophylls *a* and *b* ($K_{a/b}$) varies from 1,17 to 1,83, and the value of the ratio of chlorophylls/carotenoids in the studied types of forest growing conditions ranges from 4,47 to 11,22. Carotenoids in the leaves of the species under study are contained, depending on the habitat, from 0,85 to 2,7 mg/g of dry matter. It was shown that the content of carotenoids positively correlates with the content of chlorophylls at the level of $r = 0.62$ ($p < 0,01$). The obtained results on the accumulation of carotenoids suggest that an increase in their proportion in shrub-green-moss pine trees is associated with an increase in the light-protective role of carotenoids in phytocenoses of this type. Whereas in spruce forests, the accumulation of pigment is due to the activation of its light-collecting function. It has been established that the pigment content in blueberry leaves depends on environmental factors (illumination, soil acidity).

Keywords: photosynthetic pigments, blueberries, Southern Taiga, phytocenosis, chlorophylls, carotenoids

Suggested citation: Yegorova N.Yu., Syutkina A.S. *Biotopicheskaya izmenchivost' sodержaniya fotosinteticheskikh pigmentov v list'yakh cherniki obyknovnoy (Vaccinium myrtillus L.) v podzone yuzhnoy taygi* [Biotopic variability of photosynthetic pigment content in blueberry (*Vaccinium myrtillus* L.) leaves in Southern Taiga subzone]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2026, vol. 30, no. 4, pp. 33–46. DOI: 10.17816/2542-1468-2026-4-33-46

References

- [1] Tuzhilkina V.V. *Reaktsiya pigmentnoy sistemy khvoynykh na dlitel'noe aerotekhnogennoe zagryaznenie* [Response of the pigment system of conifers to long-term industrial air pollution]. *Ekologiya* [Russian J. Ecology], 2009, v. 40, no. 4, pp. 227–232.
- [2] Getko N.V. *Rasteniya v tekhnogennoi srede* [Plants in technogenic environment]. Minsk: Nauka i tekhnika, 1989, 208 p.
- [3] Ivanova N.A., Korchagina L.E. *Osobennosti fotosinteticheskoy aktivnosti i pigmentnogo apparata list'ev rasteniy v usloviyakh neftyanogo zagryazneniya na territorii Srednego Priob'ya* [Features of leaves photosynthetic activity and pigment apparatus in the conditions of oil contamination in the Middle Ob]. *Estestvennye nauki* [Natural sciences], 2012, no. 1 (38), pp. 37–46.
- [4] Titova N.M. *Reaktsiya pigmentnoy sistemy sosny obyknovnoy (Pinus sylvestris L.) na zagryaznenie okruzhayushchey sredy* [The reaction of the pigment system of the common pine (*Pinus sylvestris* L.) on environmental pollution]. *Vestnik KrasGAU* [The Bulletin of KrasGAU], 2013, no. 10, pp. 122–126.
- [5] Samusik E.A., Golovaty S.E. *Reaktsiya pigmentnoy sistemy drevesnykh rasteniy na gazopylevoe zagryaznenie* [Reaction of the pigment system woody plants for gas and dust pollution]. *Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya* [J. of the Belarusian State University. Ecology], 2023, no. 2, pp. 78–86. DOI: 10.46646/2521-683X/2023-2-78-86

- [6] Belyavskaya N.A., Voloshina N.Yu., Didukh Ya.P. *Vliyaniye razlichnykh urovney osveshchennosti na strukturno-funktsional'nyuyu organizatsiyu khloroplastov list'ev dvukh vidov klenov* [The influence of different illumination levels on the structural and functional organization of chloroplasts in leaves of two maple species]. *Fiziko-khimicheskie osnovy strukturno-funktsional'noy organizatsii rasteniy: Tez. dokl. mezhdunar. nauch. konf. [Physicochemical bases of structural and functional organization of plants: abstracts of doc. int. scientific conf.]*. Ekaterinburg, 6–10 oktyabrya 2008. Ekaterinburg: Izd-vo Ural. un-ta, 2008, pp. 70–71.
- [7] Golovko T.K., Dalke I.V., Bacharov D.S. *Mezostруктура i aktivnost' fotosinteticheskogo apparata trekh vidov rasteniy semeystva Grassulaceae v kholodnom klimate* [Mesostructure and activity of photosynthetic apparatus for three *Crassulacean* species grown in cold climate]. *Fiziologiya rasteniy [Russian Journal of Plant Physiology]*, 2008, v. 55, no. 5, pp. 603–612. DOI: 10.1134/S1021443708050038
- [8] Tuzhilkina V.V. *Pigmentnyy kompleks khvoi sosny v lesakh evropeyskogo Severo-Vostoka* [Pigment complex of pine needles in the forests of the European North-East]. *Lesovedenie [Russian J. of Forest Science]*, 2012, no. 4, pp. 16–23.
- [9] Tuzhilkina V.V. *Фотосинтетические пигменты хвои ели сибирской в среднетаежных лесах европейского Севера-Востока России* [Photosynthetic Pigments of the Siberian Spruce Needles in the Middle Taiga Forests of the European North-East Russia]. *Siberian J. of Forest Science*, 2017, no. 1, pp. 65–73. DOI: 10.15372/sjfs20170107
- [10] Golubeva E.I., Chervyakova A.A., Shmakova N.Y., Zimin M.V., Timokhina Y.I. *Vidovye i fitotsenoticheskie osobennosti pigmentnogo sostava rasteniy Severa* [Specific and phytocenotic peculiarities of the pigment structure of the plants of the North]. *Problemy regional'noy ekologii [Regional Environmental Issues]*, 2019, no. 1, pp. 6–12. DOI: 10.24411/1728-323X-2019-11006
- [11] Kulagin A.Yu., Shayakhmetova R.I. *Osobennosti soderzhaniya fotosinteticheskikh pigmentov v khvoye sosny obyknovnoy v usloviyakh nefyanogo zagryazneniya* [Peculiarities of photosynthetic pigments content in the *Pinus sylvestris* (L.) needles in conditions of oil pollution]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk [Proceedings of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]*, 2016, v. 18, no. 2–2, pp. 434–437.
- [12] Kizeev A.N., Ushamova S.F., Konstantinova L.I., Timofeeva M.G., Manakhov D.V., Popova M.B. *Sostoyaniye cherniki obyknovnoy v zone deystviya Kol'skoy atomnoy elektrostantsii* [The state of blueberries in the area of the Kola nuclear power plant]. *Global'nyy nauchnyy potentsial [Global Scientific Potential]*, 2017, no. 4(73), pp. 40–47.
- [13] Degtyareva A.P. *Osobennosti soderzhaniya fotosinteticheskikh pigmentov v khvoe sosny obyknovnoy v raznykh ekologicheskikh usloviyakh* [Features of Photosynthetic Pigments Content in the Pine Needles of the Scots Pine in Different Environmental Conditions]. *Nauchno-agronomicheskii zhurnal [Scientific Agronomy J.]*, 2022, no. 3(118), pp. 70–74. DOI: 10.34736/FNC.2022.118.3.010.70-74
- [14] Stasova V.V., Skripal'shchikova L.N., Astrakhantseva N.V., Barchenkov A.P. *Morfologo-anatomicheskie kharakteristiki i pigmentnyy sostav khvoi sosny obyknovnoy v zelenykh nasazhdeniyakh g. Krasnoyarska* [Morphological and anatomical characteristics and pigment composition of Scotch pine needles in green stands of Krasnoyarsk city]. *Siberian J. of Forest Science*, 2022, no. 2, pp. 3–10. DOI: 10.15372/SJFS20220201
- [15] Sereda L. N., Tsvetov N. S., Drogobuzhskaya S. V., Zhiron V. K. *Izmeneniye soderzhaniya summy flavonoidov v list'yakh i plodakh cherniki Vaccinium myrtillus L. v gradiente tekhnogennogo zagryazneniya v tsentral'noy chasti Kol'skogo poluoostrova* [Changes in the content of the total flavonoids in the leaves and fruits of *Vaccinium myrtillus* L. blueberries in the gradient of technogenic pollution in the central part of the Kola Peninsula]. *Ekosistemy [Ecosystems]*, 2023, v. 34, pp. 163–167.
- [16] Chukina N., Lukina N., Filimonova E., Glazyrina M., Uchaev A., Klimova V. *Morfofiziologicheskie osobennosti khvoi Pinus sylvestris L., proizrastayushchey na otvalakh Anatol'sko-Shilovskikh mestorozhdeniy asbesta* [Morphophysiological features of *Pinus sylvestris* L. needles growing on the dumps of the Anatol-Shilov asbestos deposit]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya [Forestry Information]*, 2024, no. 2, pp. 5–18. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2024.2.01. Available at: <https://sciup.org/143182679> (accessed 28.08.2025).
- [17] Trifonova T.A., Kurbatov Yu.N. *Izuchenie fiziologicheskikh osobennostey rasteniy v usloviyakh zakhoroneniya nefteproduktov pod sloem pochvy* [The study of the physiological characteristics of plants in the conditions of petroleum products disposal under the soil layer]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya [Theoretical and Applied Ecology]*, 2025, no. 1, pp. 158–167.
- [18] Czuchajnska Z., Strączek T. Seasonal changes of pigments concentration in the leaves of *Vaccinium myrtillus* and *Vaccinium vitis-idaea* and the influence of industrial emissions. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 2015, v. 48 (4), pp. 551–558. DOI:10.5586/asbp.1979.046
- [19] Ivanov L.A., Ronzhina D.A., Yudina P.K., Zolotareva N.V., Kalashnikova I.V., Ivanova L.A. *Sezonnaya dinamika soderzhaniya khlorofillov i karotinoidov v list'yakh stepnykh i lesnykh rasteniy na urovne vida i soobshchestva* [Seasonal dynamics of the chlorophyll and carotenoid content in the leaves of steppe and forest plants on species and community level]. *Fiziologiya rasteniy [Russian Journal of Plant Physiology]*, 2020, v. 67, no. 3, pp. 453–462. DOI: 10.1134/S1021443720030115
- [20] Starikova E.A., Voskresenskaya O.L. *Sezonnaya dinamika soderzhaniya fotosinteticheskikh pigmentov u khvoynykh rasteniy v usloviyakh gorodskoy sredy* [Seasonal dynamics of the content of photosynthetic pigments in coniferous plants under the conditions of the urban environment]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki [University proceedings. Volga region]*, 2020, no. 2 (30), pp. 32–42. DOI 10.21685/2307-9150-2020-2-4
- [21] Moiseeva E.A., Kravchenko I.V., Shepeleva L.F., Bordey R.Kh. *Nakopleniye fotosinteticheskikh pigmentov i vtorichnykh metabolitov v list'yakh galegi (Galega orientalis Lam.) sorta Gale v zavisimosti ot vozrasta travostoya i agrotekhnologii pri introduksii v zone sredney taygi Zapadnoy Sibiri* [Accumulation of photosynthetic pigments leaves and secondary

- metabolites in leaves of *Galega* (*Galega orientalis* Lam.) cv. Gale depending on stand age and agrotechnologies during introduction in the middle taiga of Western Siberia]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* [Agricultural Biology], 2022, v. 57, no. 1, pp. 44–65. DOI: 10.15389/agrobiology.2022.1.44rus
- [22] Kalmykova E.V., Melnik K.A., Kuzmin P.A. *Vidovye razlichiya v sodержanii fotosinteticheskikh pigmentov u rasteniy aridnykh territoriy yuga Rossii* [Species differences in the content of photosynthetic pigments in plants of arid territories of the South of Russia]. *Agrarnyy vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], 2023, no. 3, pp. 32–42. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-232-03-32-42
- [23] Fomina T.I. *Sezonnaya dinamika fotosinteticheskikh pigmentov v pobegakh ochitkov (Sedoideae)* [Seasonal dynamics of photosynthetic pigments in the shoots of the stonecrops (Sedoideae)]. *Agrarnyy vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], 2024, v. 24, no. 12, pp. 1705–1713. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-12-1705-1713>
- [24] Nestby R., Martinussen I., Krogstad T., Uleberg E. Effect of fertilization, tiller cutting and environment on plant growth and yield of European blueberry (*Vaccinium myrtillus* L.) in Norwegian forest fields. *J. of Berry Research*, 2014, no. 4, pp. 79–95. DOI: 10.3233/JBR-140070
- [25] Nechaev V.A., Nechaev A.A. *Dikorastushchie yagodnye rasteniya i ptitsy-karpofagi v taezhnoy zone yuga Dal'nego Vostoka Rossii* [Wild berry plants and berry eating birds in the taiga zone of the Russian Far East]. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal* [Contemp Prob Ecol.], 2012, no. 1, pp. 97–106. DOI: 10.1134/S1995425512010092
- [26] Nestby R., Percival D., Martinussen I., Opstad N., Rohloff J. The European Blueberry (*Vaccinium myrtillus* L.) and the Potential for Cultivation. A Review. *The European J. of Plant Science and Biotechnology* 5 (Special Issue 1), 2011, pp. 5–16.
- [27] Egoshina T.L., Egorova N.Yu., Luginina E.A., Obotnin S.I., Yaroslavl'tsev A.V., Gudovskikh Yu. Kislitsina A.V., Kapustina N.V., Suleimanova V.N. *Znachenie dikorastushchikh yagodnikov v pitanii okhotnich'ikh zhivotnykh* [Importance of wild-growing berries in the delivery of hunting animals]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossiyskoy akademii nauk* [Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2017, v. 19, no. (2–2), pp. 255–260.
- [28] Taulavuori E., Tahkokorpi M., Laine K., Taulavuori K. Drought tolerance of juvenile and mature leaves of a deciduous dwarf shrub *Vaccinium myrtillus* L. in a boreal environment. *Protoplasma*, 2010, v. 241, pp. 19–27. <https://doi.org/10.1007/s00709-009-0096-x>
- [29] Meier U. The BBCH system to coding the phenological growth stages of plants — history and publications. *Journal fur Kulturpflanzen*, 2009, v. 61, pp. 41–52.
- [30] Meier U. Growth stages of mono- and dicotyledonous plants BBCH. Quedlinburg, 2018, 204 p.
- [31] Order No. 367 of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation «On Approval of the List of Forest Zones of the Russian Federation of the List of Forest Regions of the Russian Federation» dated August 18, 2014. Available at: <https://minjust.consultant.ru/files/11733> (accessed 15.05.2025).
- [32] Lichtenthaler H.K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, 1987, v. 148, pp. 350–382.
- [33] Lichtenthaler H.K., Babani F. Light Adaptation and Senescence of the Photosynthetic Apparatus. Changes in Pigment Composition, Chlorophyll Fluorescence Parameters and Photosynthetic Activity. Eds. Papageorgiou, G.C., Govindjee. *Chlorophyll a Fluorescence. Advances in Photosynthesis and Respiration*, v. 19. Dordrecht: Springer, 2004, pp. 713–736. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-3218-9_28
- [34] Ellenberg H. *Zeigerwerte der Gefasspflanzen Mitteleuropas*. Gottingen, 1974, 97 p.
- [35] Ipatov V.S. *Metody opisaniya fitotsenoza* [Methods for describing phytocenosis]. St. Petersburg: St. Petersburg un-t, 2000, 53 p.
- [36] Egorova N.Yu., Egoshina T.L., Yaroslavl'tsev A.V. *Vaccinium myrtillus* L. v Kirovskoy oblasti (yuzhno-tayezhnaya podzona): fitotsenoticheskaya priurochennost', ekologicheskiye predpochteniya [*Vaccinium myrtillus* L. in Kirov region (southern taiga subzone): phytocenotic confinement and ecological preferences]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya* [Tomsk State University J. of Biology], 2021, no. 53, pp. 68–88. DOI: 0.17223/19988591/53/4
- [37] Golovko T.K., Dal'ke I.V., Dymova O.V., Zakhodiy I.G., Tabalenkova G.N. *Pigmentnyy kompleks rasteniy prirodnoy flory evropeyskogo severo-vostoka* [Pigment complex of plants of the natural flora of the European north-east]. *Izvestiya Komi Nauchnogo Tsentra UrO RAN* [Izvestia of Komi Scientific Center of the Ural Branch Russian Academy of Sciences], 2010, no. 1(1), pp. 39–46.
- [38] Tuzhilkina V.V., Bobkova K.S. *Khlorofil'nyy indeks v fitotsenozakh korennykh el'nikov evropeyskogo severo-vostoka* [Chlorophyll index in phytocenoses of native spruce forests of the European north-east]. *Russian Forestry J.*, 2010, no. 2, pp. 17–23.
- [39] Titova M.S. *Soderzhanie fotosinteticheskikh pigmentov v khvoe Picea abies i Picea koraiensis* [Content of photosynthetic pigments in the needles of *Picea abies* and *Picea koraiensis*]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta* [Vestnik of the Orenburg State University], 2010, no. 12, pp. 9–12.
- [40] Ustinova M.V., Kravchenko I.V., Rusak S.N., Yadgarova D.A. *Balans pulov fotosinteticheskikh pigmentov i fenol'nykh soedineniy u kustarnichkov v usloviyakh slabonarushennoy territorii* [The balance of photosynthetic pigments pools and phenolic compounds in dwarf shrubs on the weakly disrupted territory]. *Samarskiy nauchnyy vestnik* [Samara Journal of Science], 2019, v. 8, no. 3, pp. 84–89. DOI: 10.17816/snv201983114
- [41] Polosukhina D.A., Trusov D.V., Titov S.V., Prokushkin A.S. *Fraktsionnyy sostav fitomassy i fotosinteticheskie pigmenty kustarnichkovogo yarusy smeshannogo lesa v podzone sredney taygi* [Fractional composition of phytomass and photosynthetic pigments of the shrub layer of the mixed forest in the middle taiga subzone]. *Siberian J. of Forest Science*, 2024, no. 4, pp. 23–37.

- [42] Kutafina N.V., Krasnopivceva A.N. *Fiziologicheskie osnovy adaptatsii rastitel'nykh organizmov v usloviyakh urbanizirovannoy sredy* [The physiological basis of adaptation of a plant species in urbanized environment]. Vestnik Rossiyskogo universiteta družby narodov. Seriya: Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti [RUDN Journal of Ecology and Life Safety], 2017, v. 25, no. 1, pp. 21–28.
- [43] Dymova O.V., Golovko T.K. *Fotosinteticheskie pigmenty v rasteniyakh prirodnoy flory taezhnoy zony evropeyskogo severo-vostoka Rossii* [Photosynthetic pigments in native plants of the taiga zone at the European Northeast Russia]. Fiziologiya rasteniy [Russian J. of Plant Physiology], 2019, v. 66, no. 3, pp. 384–392. DOI: 10.1134/S1021443719030038
- [44] Dymova O.V., Golovko T.K. *Fotosinteticheskie pigmenty: funktsionirovanie, ekologiya, biologicheskaya aktivnost'* [Photosynthetic pigments: functioning, ecology, biological activity]. Izvestia Ufmskogo Nauchnogo Tsentra RAN [Proceedings of the RAS Ufa Scientific Centre], 2018, no. 3(4), pp. 5–16.

Authors' information

Yegorova Natal'ya Yur'yevna ✉ — Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher of the Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, n_chirkova@mail.ru

Syutkina Anna Sergeyevna — Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, of the Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, annasiutkina@yandex.ru

Received 16.09.2025.

Approved after review 15.01.2026.

Accepted for publication 19.03.2026.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article

The authors declare that there is no conflict of interest