

Оригинальная статья / Original article
УДК 574.24+582.32+58.01/.07
DOI: 10.18470/1992-1098-2024-4-1



Влияние экологических факторов на содержание пигментов у эпифитных видов мхов в районе Кавказских Минеральных Вод (Ставропольский край)

Александра Ф. Мейсунова

Тверской государственный университет, Тверь, Россия

Контактное лицо

Александра Ф. Мейсунова, доктор биологических наук, доцент, заведующая кафедрой ботаники, Тверской государственный университет; 170100 Россия, г. Тверь, ул. Желябова, 33. Тел. +74822320680
Email alexandrauraz@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3885-375X>

Формат цитирования

Мейсунова А.Ф. Влияние экологических факторов на содержание пигментов у эпифитных видов мхов в районе Кавказских Минеральных Вод (Ставропольский край) // Юг России: экология, развитие. 2024. Т.19, N 4. С. 6-18. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-4-1

Получена 15 февраля 2024 г.

Прошла рецензирование 30 апреля 2024 г.

Принята 15 мая 2024 г.

Резюме

Цель – оценка воздействия экологических факторов на содержание пигментов в мхах, собранных в районе Кавказских Минеральных Вод. Материалом послужили эпифитные виды (*Anomodon viticulosus* (Hedw.) Hook. & Taylor), *Leucodon sciuroides* (Hedw.) Schwägr.), собранные в двух горных локациях – гора Железная, гора Бештау. Пигментный анализ проведен в лаборатории ЦКП Тверского госуниверситета по общепринятым методикам в 2023 г.

Изменения спектра света в условиях высокогорья приводит к росту общего содержания пигментов за счет увеличения Хл_b, эффективно поглощающего коротковолновые синие лучи, и одновременному снижению Хл_a. Горизонтальный градиент изменения концентрации пигментов у мхов зависит от экспозиции склонов, их крутизны, типа растительности и других биотопических условий.

Исследование выявило уникальные реакции мхов на местные экологические факторы, что делает их потенциально ценными биомаркерами экологических изменений.

Ключевые слова

Anomodon viticulosus, *Leucodon sciuroides*, эпифитные мхи, пигменты, экологические факторы, гора Железная, гора Бештау, Кавказские Минеральные Воды.

The influence of environmental factors on the pigment content in epiphytic moss species in the Caucasian Mineral Waters Area (Stavropol Territory)

Alexandra F. Meysurova

Tver State University, Tver, Russia

Principal contact

Alexandra F. Meysurova, PhD in Biological Sciences, Associate Professor, Head, Department of Botany, Tver State University;

33 Zhelyabova St., Tver, Russia 170100.

Tel. +74822320680

Email alexandrauraz@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3885-375X>

How to cite this article

Meysurova A.F. The influence of environmental factors on the pigment content in epiphytic moss species in the Caucasian Mineral Waters Area (Stavropol Territory). *South of Russia: ecology, development*. 2024; 19(4):6-18. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2024-4-1

Received 15 February 2024

Revised 30 April 2024

Accepted 15 May 2024

Abstract

Aim. The impact assessment of ecological factors on the pigment content in mosses collected in the Caucasian Mineral Waters Area.

The material studied consisted of epiphytic mosses (*Anomodon viticulosus* (Hedw.) Hook. & Taylor), *Leucodon sciuroides* (Hedw.) Schwägr.) collected from two mountainous locations – Mount Zheleznaya and Mount Beshtau. The pigment analysis was conducted at the laboratory of the Shared Facility Centre of Tver State University using generally accepted methodology in 2023.

Changes in the light spectrum in high mountain conditions lead to an increase in the total pigment content due to the increase in Chl b, which effectively absorbs short-wave intense rays and a simultaneous decrease in Chl a. The horizontal gradient of pigment concentration variation in mosses depends on the exposure of slopes, their steepness, plant type and other biotopic conditions.

The study revealed the unique responses of mosses to local ecological factors, making them potentially valuable biomarkers of ecological changes.

Key Words

Anomodon viticulosus, *Leucodon sciuroides*, epiphytic mosses, pigments, environmental factors, Mountain Zhelezny, Mountain Beshtau, Caucasian Mineral Waters Area.

ВВЕДЕНИЕ

Эпифитные мхи являются важными биологическими индикаторами качества окружающей среды. Они чутко реагируют на изменения в экосистемах, в том числе подверженных воздействию антропогенных факторов [1–5]. Однако особый интерес представляют исследования, которые посвящены изучению мхов в их естественной среде, так как позволяют понять, как различные экологические факторы влияют на них. Эти сведения имеют важное значение для понимания стратегий адаптации мхов к условиям окружающей среды, необходимы для разработки стратегий по их сохранению и охране.

Существенный интерес представляют исследования влияния экологических факторов на эпифитные мхи в гористых местностях, поскольку именно здесь более ярко проявляются экологические особенности. Известно, что гористая местность характеризуется значительными изменениями экологических условий на небольшой территории, такими как влажность, температура, освещение и прочее [6]. В этой связи, удобной модельной территорией для проведения подобных исследований могут быть особо-охраняемые природные территории (ООПТ) Кавказских Минеральных Вод в Ставропольском крае. Например, памятники природы (ПП) краевого значения «Гора Железная» (гора Железная) и «Гора Бештау» (гора Бештау), которые входят, как и другие охраняемые территории (ПП «Гора Развалка», «Гора Змейка», «Гора Медовая» и т.д.) в состав крупной ООПТ – государственного природного заказника краевого значения «Бештаугорский» [7–10]. На склонах этих горных массивов, известных как лакколиты или лакколитовые горы, располагаются обширные облесенные участки с богатой растительностью, которая в том числе является местом обитания эпифитных видов мхов [11–13].

Для изучения влияния экологических факторов на данных территориях целесообразно использовать эпифитные виды мхов – *Anomodon viticulosus* (Hedw.) Hook. & Taylor) и *Leucodon sciurioides* (Hedw.) Schwägr.). Эти виды широко распространены здесь [10; 14], в то время как во многих других регионах Российской

Федерации они включены в списки редких и исчезающих видов [15–17]. При оценке влияния экологических факторов на эпифитные мхи информативными являются данные об изменениях в их пигментном составе [18–19]. Известно, что изменения в пигментном составе у эпифитных мхов могут указывать на экологические стрессы, такие как недостаток света, избыточное воздействие ультрафиолетового излучения, изменение влажности или недостаток питательных веществ, представляя информацию об изменении биологических процессов системы под воздействием указанных факторов.

Цель настоящей работы – оценка воздействия экологических факторов на содержание пигментов у двух эпифитных видов мхов (*A. viticulosus* и *L. sciurioides*), произрастающих на территориях двух ООПТ Кавказских Минеральных вод в Ставропольском крае. Для достижения цели, поставили следующие задачи: 1) определить сеть пунктов отбора (ПО) образцов двух эпифитных видов мхов в пределах ПП «Гора Железная» и ПП «Гора Бештау»; 2) провести пигментный анализ собранного материала; 3) оценить изменчивость содержания пигментов у двух эпифитных видов мхов в различных местах сбора; 4) определить экологические факторы, которые могут влиять на содержание пигментов у обоих видов мхов; 5) сравнить изменения в пигментном составе у двух видов мхов и оценить их потенциальные индикаторные возможности в отношении экологических изменений на данной территории.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования служили образцы двух эпифитных видов мхов – *A. viticulosus* и *L. sciurioides*. Местом сбора образцов служили территории ПП «Гора Железная» (851 м) и ПП «Гора Бештау» (1400 м). При определении сети пунктов отбора (ПО) материала (*A. viticulosus*, *L. sciurioides*) были учтены результаты предварительных исследований, которые показали, что тенелюбивый вид *A. viticulosus* не встречается ниже отметки 600 м в исследуемом районе [20]. В этой связи, все ПО материала для исследования были размещены на высоте 600 м и выше (табл. 1).

Таблица 1. Краткая характеристика пунктов отбора (ПО) образцов *A. viticulosus* и *L. sciurioides*, собранных в пределах горы Бештау и горы Железная

Table 1. Brief description of the sampling points (SP) of mosses *A. viticulosus* and *L. sciurioides* collected on Mount Beshtau and Mount Zhelezny

№ ПО № SP	Координаты Coordinates	Описание Description	Субстрат Substrat	Высота, м Height, m	Экспозиция склона Exposition of the slope
ПП «Гора Бештау» / Mount Beshtau					
1	44.123448, 43.027943	≈1,1 км от ж/д вокзала в г. Железноводск, подъем по дороге «Трахит» в направлении вершины Большой Тау, широколиственный лес, доминирует граб, бук Approximately 1.1 km from the railway station in the city of Zheleznovodsk, uphill along the “Trachit” road towards the summit of Bolshoi Tau, where there is a broad-leaf forest with many beech and hornbeam trees	<i>Fraxinus excelsior</i>	698	C N

2	44.113363, 43.026432	≈2,01 км на пересечении 2-х дорог – подъем на вершину Большой Тау и кольцевой, широколиственный лес, доминирует граб, бук Approximately 2.01 km at the intersection of two roads - the ascent to the summit of Bolshoi Tau and the circular road, where there is a broad-leaf forest with a huge number of beech and hornbeam trees	<i>Fagus orientalis</i>	774	C N
3	44.107372, 43.034143	≈2,8 км по кольцевой дороге в направлении движения часовой стрелки, широколиственный лес, встречаются дуб, клен, ясень, бук, граб Approximately 2.8 km along the circular road in a clockwise direction, where there is a broad-leaf forest with oak, maple, ash, beech and hornbeam trees	<i>Fagus orientalis</i>	842	C-B N-E
4	44.101393, 43.039262	≈3,9 км по кольцевой дороге, широколиственный лес, встречаются дуб, клен, ясень, бук, граб, липа Approximately 3.9 km along the circular road through a broad-leaf forest with oak, maple, ash, beech, hornbeam and lime trees	<i>Acer platanoides</i>	842	B E
5	44.092972, 43.046193	≈5,8 км по кольцевой дороге, широколиственный лес, встречаются клен, ясень, липа Approximately 5.8 km along the circular road through a broad-leaf forest, where there are maple, ash and lime trees	<i>Fraxinus excelsior</i>	846	Ю-B S-E
6	44.080963, 43.021764	≈9,3 км по кольцевой дороге, лесные сообщества более разряженные, встречаются преимущественно низкорослые деревья и кустарники (ясень, можжевельник, береза, дуб, лещина, акация), доминирует травянистая степная растительность Approximately 9.3 km along the circular road, where the forest communities are less dense, consisting of low trees and shrubs such as ash, juniper, birch, oak, hazel and acacia, with the predominance of herbaceous steppe vegetation	<i>Fraxinus excelsior</i>	848	Ю S
7	44.092552, 43.008805	≈11,1 км по кольцевой дороге, рядом Второ-Афонский Успенский мужской монастырь, лесные сообщества разряженные, встречаются ясень, клен, рябина, кизил, бузина, лещина, можжевельник, доминирует травянистая степная растительность Approximately 11.1 km along the circular road near the Second Athos Assumption Monastery, where forest communities are less dense, consisting of ash, maple, rowan, cornel, elderberry, hazel, juniper, with the predominance of herbaceous steppe vegetation	<i>Acer platanoides</i>	815	Ю-3 S-W
8	44.110348, 43.009958	≈13,3 км по кольцевой дороге, травянистые растения вытеснены деревьями, встречаются дуб, бук, ясень, граб Approximately 13.3 km along the circular road, where herbaceous plants are displaced by trees, including oak, beech, ash and hornbeam	<i>Quercus robur</i>	843	C-3 N-W

ПП «Гора Железная» / Mount Zhelezny

9	44.138030, 43.034428	0,2 км от начала терренкура 1, рядом каменная плита «Бородино», в смешанном лесу преобладают лиственные породы 0.2 km from the beginning of "Terrunkur 1", near the "Borodino" stone slab, where deciduous species prevail in a mixed forest	<i>Fraxinus excelsior</i>	648	Ю-B S-E
10	44.139263, 43.036139	0,4 км от начала терренкура 1, рядом каменная плита «Маскарад», в смешанном лесу преобладают лиственные породы 0.4 km from the beginning of "Terrunkur 1", near the "Masquerade" stone slab, where deciduous species prevail in a mixed forest	<i>Acer platanoides</i>	643	B E
11	44.140850, 43.036236	0,6 км м от начала терренкура 1, рядом каменная плита «Мцыри», смешанный лес 0.6 km from the beginning of "Terrunkur 1", near the "Mtsyri" stone slab in a mixed forest	<i>Acer platanoides</i>	648	C-B N-E
12	44.142422, 43.034764	≈0,9 км от начала терренкура 1, в смешанном лесу встречаются хвойные породы Approximately 0.9 km from the beginning of "Terrunkur 1", where coniferous species are found in a mixed forest	<i>Fraxinus excelsior</i>	647	C-B N-E
13	44.143429, 43.030816	≈1,3 км от начала терренкура 1, рядом деревянная скульптура «Дед»; в смешанном лесу преобладают хвойные породы Approximately 1.3 km from the beginning of "Terrunkur 1", the "Grandfather" wooden sculpture, where coniferous species prevail in a mixed forest	<i>Acer platanoides</i>	636	C N
14	44.142638, 43.028457	≈1,7 км от начала терренкура 1, в смешанном лесу встречаются хвойные породы Approximately 1.7 km from the beginning of "Terrunkur 1", where coniferous species are found in a mixed forest	<i>Quercus robur</i>	640	C-3 N-W
15	44.141459, 43.025661	≈2 км от начала терренкура 1, в смешанном лесу преобладают лиственные породы Approximately 2 km from the beginning of "Terrunkur 1", where deciduous species prevail in a mixed forest	<i>Fraxinus excelsior</i>	640	C-3 N-W
16	44.140371, 43.024881	≈2,2 км от начала терренкура 1, рядом смотровая площадка, в смешанном лесу преобладают лиственные породы Approximately 2.2 km from the beginning of "Terrunkur 1", where there is an observation deck near which deciduous species prevail in a mixed forest	<i>Acer platanoides</i>	644	3 W

В ПП «Гора Бештау» сеть ПО материала включала 2 участка, отличающиеся по высоте и протяженности: первый – крутой и извилистый подъем длиной 2 км на гору Бештау со стороны г. Железноводска на высоте 700–800 м (ПО 1–2); второй – кольцевая дорога вокруг горы Бештау, по периметру длиной 13,8 км, на высоте 815–850 м (ПО 3–8) (рис. 1). В месте расположения ПО 1–8 отмечена типичная для умеренного климата Кавказских гор растительность, встречаются смешанные и лиственные леса, с такими древесными породами, как дуб черешчатый *Quercus robur* L., бук восточный

Fagus orientalis Lipsky, граб обыкновенный *Carpinus betulus* L., ясень обыкновенный *Fraxinus excelsior* L., липа европейская *Tilia europaea* L., клен остролистный *Acer platanoides* L. [13]. В зависимости от экспозиции склона, растительность вокруг горы меняется: на южных и юго-западных склонах, где больше солнечного света и тепла отмечена более сухая и теплолюбивая растительность; на северных и восточных склонах – более влажная и тенистая растительность, включая лиственные деревья, а также мхи [21].

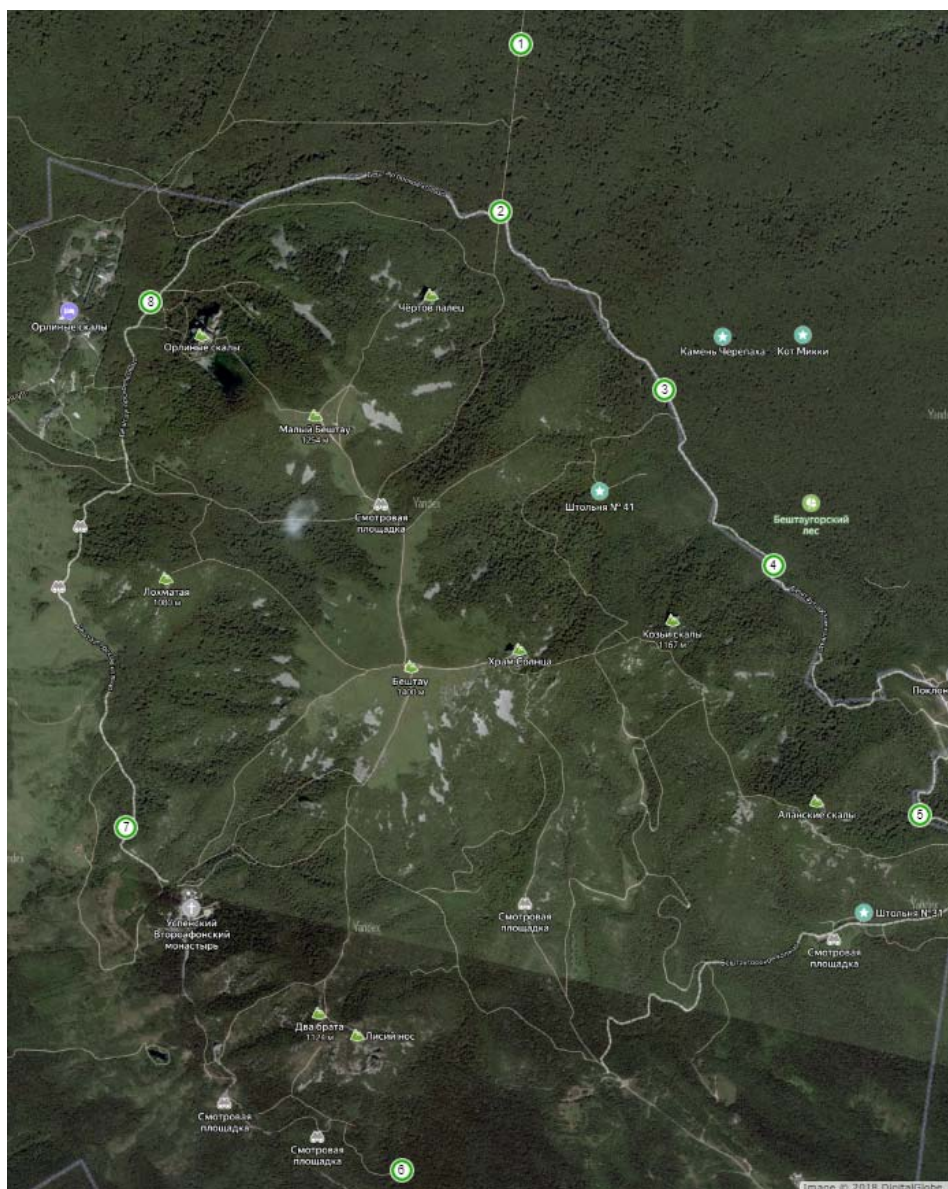


Рисунок 1. Схема расположения пунктов отбора образцов *A. viticulosus* и *L. sciuroides*, собранных в пределах горы Бештау (ПО 1–8)

Figure 1. The layout of collection points for *A. viticulosus* and *L. sciuroides* gathered on Mount Beshtau (SP 1–8)

В ПП «Гора Железная» ПО материала были установлены на участке расположенном на высоте 630–650 м (ПО 9–16). Этот участок, известный как терренкур 1 или Лермонтовский терренкур длиной 2,5 км, проходит вокруг самой горы Железная (рис. 2) [7]. Растительность на горе Железная разнообразна, включает лиственные (ясень, дуб, бук, клен) и хвойные деревья (ель *Picea* L., изредка сосна *Pinus* L.), имеется густой подлесок [13]. В зависимости от экспозиции склона растительность меняется: на южных и юго-восточных склонах горы Железная растут смешанные леса с преобладанием лиственных пород; на северной и восточной сторонах преобладают хвойные деревья [21].

В каждом ПО собирали по одному образцу каждого вида. Общее число собранных дерновин двух видов составило 40. Образцы собирали, пакетировали и доставляли в лабораторию ЦКП ТвГУ для проведения пигментного анализа. В лабораторных условиях с использованием спектрофотометрического метода определяли содержание хлорофиллов *a* и *b* (Хла, Хлб) по общепринятой методике на фотоколориметре

КФК-3-ЗОМЗ (Россия) при $\lambda=630, 647, 664$ и 750 нм [19; 22]. Для экстрагирования использовали ацетон (80 %). Концентрацию Хла рассчитали по формулам 1 и 2:

$$C_{\text{Хла}} = 2,44 \frac{D_{664} - D_{664}^k}{D_{664}} C'_{\text{Хла}} \quad (1),$$

$$C'_{\text{Хла}} = (11.85D_{664} - 1.54D_{647} - 0.08D_{630}) \frac{V_2}{V_{\text{пр}} - 1} \quad (2)$$

где: D_{630} , D_{647} , D_{664} и D_{750} – оптические плотности экстракта при $\lambda=630, 647, 664$ и 750 нм; V_2 – объем экстракта, см³; $V_{\text{пр}}$ – объем пробы, дм³; l – длина кюветы, см.

Концентрацию Хлб определили по формуле 3:

$$C_{\text{Хлб}} = (21.03D_{647} - 5.43D_{664} - 2.66D_{630}) \frac{V_2}{V_{\text{пр}} - 1} \quad (3),$$

где: D_{630} , D_{647} , D_{664} и D_{750} – оптические плотности экстракта при $\lambda=630, 647, 664$ и 750 нм; V_2 – объем экстракта, см³; $V_{\text{пр}}$ – объем пробы, дм³; l – длина кюветы, см.



Рисунок 2. Схема расположения пунктов отбора образцов *A. viticulosus* и *L. sciurioides*, собранных в пределах горы Железная (ПО 9–18)

Figure 2. Layout of collection points for *A. viticulosus* and *L. sciurioides* gathered on Mount Zheleznyy (SP 9–18)

Величины оптических плотностей, используемые при расчете в формулах 1–3, выбирали с учетом поправки, равной оптической плотности при $\lambda=750$ нм. Эта поправка вычитается из значения измеренной оптической плотности. Повторность измерений каждого образца была трехкратной. Статистическая обработка данных и определение параметров (средние значения концентрации хлорофиллов, их соотношения внутри вида, коэффициенты корреляции) провели стандартными методами с использованием лицензионных программных продуктов.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Пигментный анализ показал, что средние величины суммарного содержания пигментов ($X_{\text{ла}}+X_{\text{лб}}$), соотношение концентраций хлорофиллов ($X_{\text{ла}}/X_{\text{лб}}$), а также их отдельного содержания ($X_{\text{ла}}$ и $X_{\text{лб}}$) различаются в зависимости от конкретного вида и местности на которой он растет (табл. 2). Выяснено, что средний уровень общего содержания пигментов ($X_{\text{ла}}+X_{\text{лб}}$), а также отдельные концентрации $X_{\text{ла}}$ и $X_{\text{лб}}$ у эпифитного вида мха *L. sciurioides* всегда выше, чем у *A. viticulosus* (рис. 3). Эти различия между видами вероятно обусловлены разницей в их адаптации к среде обитания. Известно, что эпифитный мох *L. sciurioides* предпочитает более открытые пространства, часто поселяясь на поверхности деревьев, преимущественно

в их верхних частях, чтобы обеспечить себе наибольший доступ к свету и воде [17]. Такая стратегия может способствовать более интенсивному фотосинтезу, и как следствие, приводит к более высоким уровням пигментов у этого вида по сравнению с *A. viticulosus*, который растет преимущественно в более затененных местах.

Основные параметры пигментного анализа изменяются в зависимости от местности на которой произрастают изученные виды. Выяснено, что общее среднее содержание пигментов ($X_{\text{ла}}+X_{\text{лб}}$) у *L. sciurioides* и *A. viticulosus* с горы Бештау оказалось выше (2,73 и 2,50 мг/г соответственно), чем с горы Железная (2,54 и 2,28 мг/г соответственно) (рис. 3). Выявлены отличия и в значениях соотношений средних концентраций хлорофиллов ($X_{\text{ла}}/X_{\text{лб}}$). Этот показатель у изученных видов с горы Бештау почти вдвое ниже (1,4 и 1,34 соответственно), чем с горы Железная (2,15 и 2,51 соответственно). Повышенные значения общего содержания пигментов ($X_{\text{ла}}+X_{\text{лб}}$) при одновременном снижении значений соотношения их концентрации ($X_{\text{ла}}/X_{\text{лб}}$) у изученных видов с горы Бештау может косвенно указывать на наличие компенсационной реакции на изменения условий произрастания по сравнению с горой Железная. Известно, что по мере поднятия в горы прослеживается тенденция к увеличению фотосинтеза [21].

Таблица 2. Валовое содержание пигментов в образцах *A. viticulosus* и *L. sciurioides*, собранных в пределах горы Бештау (ПО 1–8) горы Железная (ПО 9–16), мг/г**Table 2.** Gross pigment content in *A. viticulosus* and *L. sciurioides* collected on Mount Beshtau (SP 1–8) and Mount Zhelezny (SP 9–16), mg/g

ПО SP	<i>L. sciurioides</i>				<i>A. viticulosus</i>			
	С _{вал} Хла C _v Chla	С _{вал} Хлб C _v Chlb	С _{вал} Хл(a/b) C _v Chl(a/b)	С _{вал} Хл(a+b) C _v Chl(a+b)	С _{вал} Хла C _v Chla	С _{вал} Хлб C _v Chlb	С _{вал} Хл(a/b) C _v Chl(a/b)	С _{вал} Хл(a+b) C _v Chl(a+b)
1	1,66±0,04	0,77±0,01	2,17	2,43	1,56±0,02	1,35±0,03	1,15	2,91
2	1,74±0,05	0,90±0,01	1,94	2,64	1,67±0,11	0,96±0,03	1,73	2,63
3	1,76±0,09	1,31±0,04	1,35	3,07	1,56±0,27	0,76±0,01	2,05	2,32
4	1,74±0,09	0,84±0,03	2,07	2,58	1,58±0,07	0,75±0,03	2,10	2,33
5	1,68±0,12	1,06±0,03	1,58	2,74	1,76±0,03	0,81±0,03	2,17	2,57
6	1,37±0,06	1,55±0,04	0,89	2,92	1,49±0,17	0,80±0,10	1,87	2,29
7	1,26±0,10	1,48±0,08	0,85	2,75	0,67±0,28	2,19±0,01	0,30	2,86
8	1,53±0,12	1,20±0,04	1,27	2,73	1,15±0,23	0,92±0,02	1,25	2,07
9	1,93±0,09	0,96±0,04	2,01	2,90	1,75±0,02	0,75±0,02	2,33	2,50
10	1,79±0,05	0,72±0,01	2,50	2,51	1,58±0,07	0,58±0,01	2,73	2,16
11	1,70±0,18	0,88±0,04	1,93	2,58	1,55±0,01	0,54±0,02	2,88	2,08
12	1,76±0,13	0,73±0,01	2,40	2,49	1,66±0,09	0,75±0,01	2,23	2,41
13	1,38±0,12	0,64±0,02	2,17	2,01	1,43±0,13	0,50±0,01	2,85	1,93
14	1,80±0,18	1,02±0,08	1,76	2,83	1,62±0,09	0,71±0,05	2,29	2,33
15	1,66±0,20	0,82±0,08	2,03	2,47	1,76±0,09	0,77±0,03	2,28	2,53
16	1,80±0,09	0,74±0,04	2,44	2,53	1,63±0,03	0,67±0,03	2,45	2,30

Исследование значений отдельного содержания пигментов (Хла и Хлб) показало, что средний уровень содержания Хла выше у обоих видов мхов на горе Железная по сравнению с горой Бештау, а средний уровень содержания Хлб, напротив, с горы Бештау превышает уровень с горы Железная. Сходные различия в содержании хлорофиллов у изученных видов связаны с адаптацией к меняющимся условиям обусловленным различной высотой гор, где произрастают эти виды. С увеличением высотности, меняются микроклиматические условия – увеличивается освещение, меняется спектральный состав света, уменьшается влажность, снижается температура и т.д. [6; 21]. С ростом высоты в горах красные лучи света (630–700 нм), которые активно поглощаются Хла становятся менее яркими, вызывая снижение его концентрации у изученных видов. Вместе с тем, синий (425–460 нм) и ультрафиолетовый свет, наоборот, становятся более интенсивными из-за рассеивания света в атмосфере, что вызывает увеличение содержания Хлб, который эффективно поглощает свет в этом диапазоне длин волн у изученных видов. В свою очередь, уменьшение влажности и снижение температуры может дополнительно стимулировать увеличение Хлб, поскольку он более эффективен в условиях пониженных температур и сухости воздуха.

Анализ валовых концентраций пигментов изученных видов мхов на двух сравниваемых горах показал, что виды демонстрируют различную степень изменчивости этих показателей. На горе Бештау, вид *A. viticulosus* демонстрирует широкую амплитуду вариаций валовых концентраций пигментов (Хла –

от 0,67 до 1,75 мг/г; Хлб – от 0,75 до 2,19 мг/г), тогда как у *L. sciurioides* встречаются более ограниченные колебания уровней хлорофиллов (Хла – от 1,26 до 1,76 мг/г; по Хлб – от 0,77 до 1,55 мг/г) (рис. 4; табл. 2). В контрасте с этим, на склонах горы Железная, вид *L. sciurioides* показывает более широкий диапазон изменения концентраций пигментов (Хла от 1,38 до 1,93 мг/г; Хлб – от 0,64 до 1,02 мг/г), в то время как для *A. viticulosus* характерен более узкий диапазон вариаций этих же показателей (Хла от 1,43 до 1,76 мг/г; Хлб – от 0,50 до 0,77 мг/г). Эти различия в концентрациях пигментов могут обусловлены множеством факторов, в том числе экспозицией склонов, их крутизной и типом растительного покрова. В сложном взаимодействии этих факторов в различных экологических условиях складываются уникальные адаптационные стратегии мхов горных экосистемах.

В научной литературе отмечено, что экспозиция склона и его крутизна в горных условиях оказывает существенное влияние на формирование разных типов растительности за счет различий в угле падения солнечных лучей [21]. На южных склонах солнечные лучи падают почти перпендикулярно, обеспечивая более сильный прогрев почвы и воздуха, ускоряя испарение и оказывая влияние на режим увлажнения. Напротив, на северных склонах угол падения лучей более пологий (острый), в результате свет становится более рассеянным. Разные типы растительности создают специфические микроклиматические условия в биотопах, окружающих гору, что отражается на значениях валовых концентраций пигментов (Хла и Хлб) у изученных видов мхов.

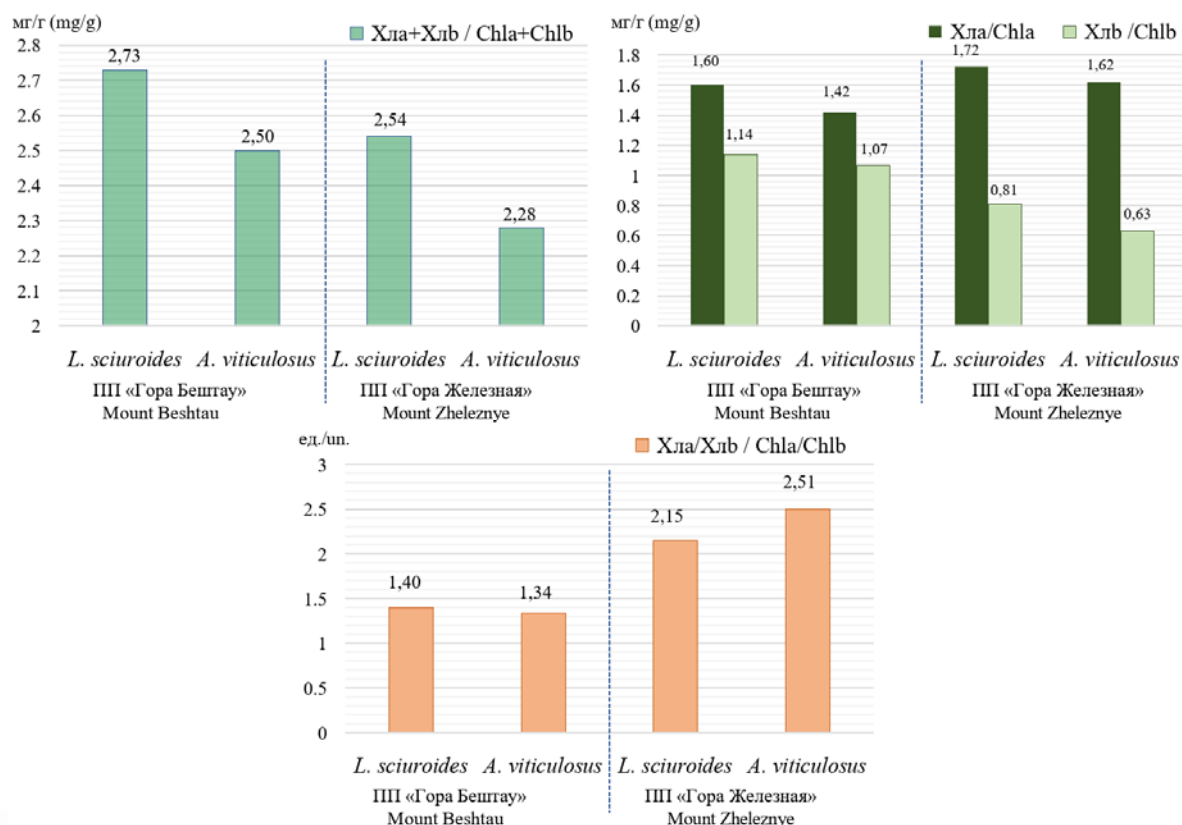


Рисунок 3. Средние значения основных параметров пигментного анализа у *A. viticulosus* и *L. sciuroides* собранных в пределах горы Бештау и горы Железная

Figure 3. Average values of the main parameters of pigment analysis in *A. viticulosus* and *L. sciuroides* collected on Mount Beshtau and Mount Zhelezny

Анализ данных выявил, что валовые концентрации Хла и Хлб в образцах изученных видов меняются в зависимости от экспозиции горных склонов (табл. 2). В образцах *L. sciuroides* и *A. viticulosus* собранных с западных, юго-западных и северо-западных склонов горы Бештау зафиксировано сниженное содержания Хла и одновременно повышенное содержание Хлб. Минимальные величины валовых концентраций Хла были зарегистрированы в образцах с западного склона горы (ПО 7): у *L. sciuroides* – 1,26 мг/г, у *A. viticulosus* – 0,67 мг/г (рис. 4). Эта особенность согласуется с характеристиками местности, где интенсивное солнечное освещение и высокие температуры формируют условия для возникновения разреженной растительности, представленной преимущественно низкорослыми деревьями и кустарниками (можжевельником, березой, дубом и лещиной) [6; 13; 21]. Повышенная проникновенность света на этих высотах, обогащенного синими лучами способствует адаптации баланса фотосинтетических пигментов, что характеризуется снижением концентрации Хла и одновременное увеличение концентрации Хлб. Такие изменения отражают пластичность фотосинтетической системы, позволяя адаптироваться к естественным световым условиям своих экологических ниш. Способность к адаптации у изученных видов выражается в разной степени. Выяснилось, что на западном склоне горы Бештау (ПО 7) наибольшие различия в содержании хлорофиллов было обнаружено у *A. viticulosus*. В образцах этого вида валовая концентрация Хлб оказалась в 3,3 раза выше, чем концентрация Хла, и составила 2,20 мг/г. У другого вида

(*L. sciuroides*), встреченного в данной точке сбора, это различие составляет всего 1,2 раза. Такая разница в амплитуде изменений концентраций хлорофиллов между видами, произрастающими в одном и том же месте, свидетельствует о видоспецифических особенностях механизмов адаптации к условиям освещенности и температурного режима.

На склонах горы Бештау, обращенных на север и восток, где условия характеризуются меньшей освещенностью и более плотной растительностью, выявлены более высокие валовые концентрации Хла у изученных видов (табл. 2). Эти данные отражают адаптацию мхов к спектральному составу света и температурному режиму, что подчеркивает их способность к фотосинтетической пластичности и выживанию в экологически разнообразных условиях. Известно, что крона деревьев ограничивает доступ прямого солнечного света, создавая менее яркую и более тенистую среду, способствующую увлажненным условиям. Кроме того, в лиственных лесах меняется структура света, увеличивается доля участия красных лучей при снижении вклада синих [23]. Максимальные величины валовых концентраций Хла в образцах изученных видов не совпадают в одной точке сбора, но все они расположены на северных и восточных склонах горы Бештау, что, связано видимо с локальными особенностями микрорельефа, создающими оптимальные условия для каждого из видов. Максимальная валовая концентрация Хла у *L. sciuroides* выявлена в образцах из ПО 3 (1,76 мг/г); *A. viticulosus* – ПО 2 и 5 (1,66 и 1,76 мг/г).

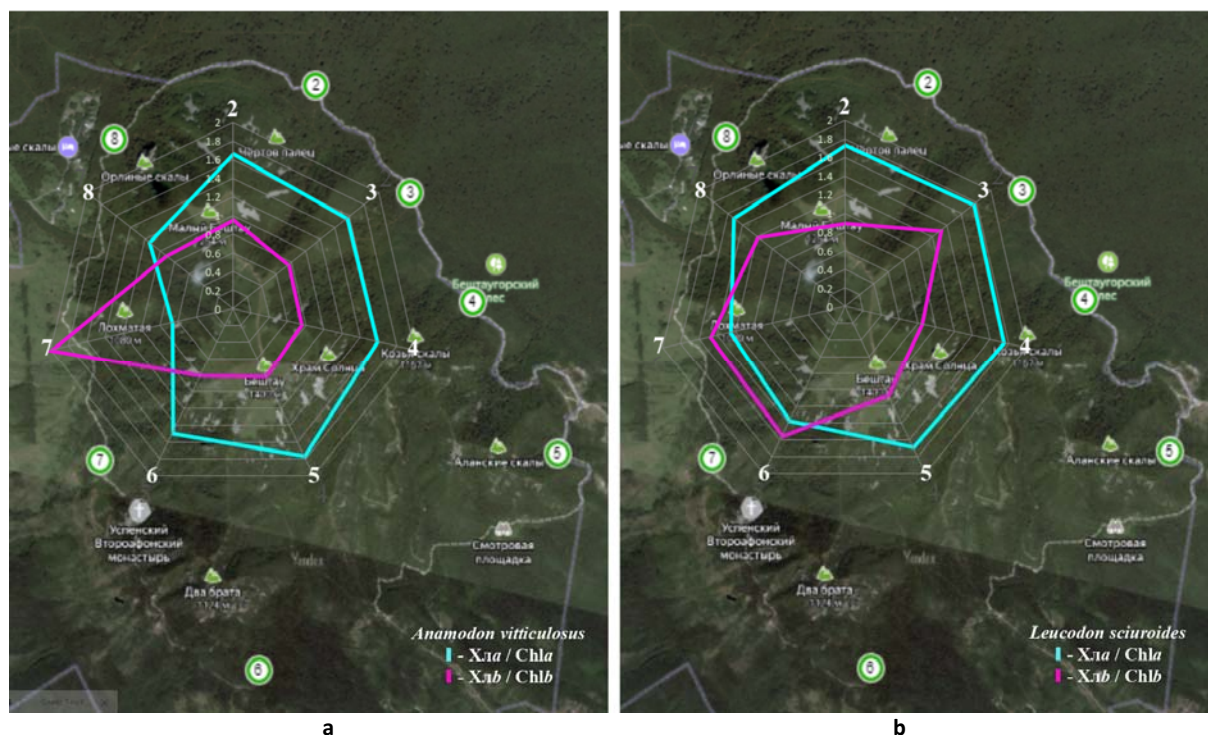


Рисунок 4. Изменение валовых концентраций пигментов в образцах *A. viticulosus* (a) и *L. sciurioides* (b) с горы Бештау (ПО 2–8)

Figure 4. Changes in gross pigment concentrations in *A. viticulosus* (a) and *L. sciurioides* (b) from Mount Beshtau (SP 2–8)

В отличие от северного склона горы Бештау, покрытого дубово-буково-грабовыми лесами, где отмечены высокие валовые концентрации Хла в мхах, гора Железная демонстрирует другую картину. Несмотря на схожие световые условия, содержание Хла и Хлб в образцах мхов с северного склона оказалось низким. Минимальные валовые концентрации Хла и Хлб зафиксированы в образцах мхов из ПО 13, где преобладают хвойные породы: *L. sciurioides* – 1,38 и 0,64 мг/г соответственно; *A. viticulosus* – 1,43 и 0,50 мг/г соответственно (табл. 2). Известно, что хвойные леса меньше всего пропускают света, в отличие от лиственных лесов, структура света в нем не подвергается существенным изменениям, микроклиматические условия более холодные и сухие [23–24]. В этих условиях мхи адаптируются, прежде всего, к условиям освещения связанного с его интенсивностью, а не спектральному составу, как на горе Бештау, оптимизируя фотосинтетические процессы таким образом, чтобы эффективно использовать доступный свет. В таких условиях может происходить снижение содержания фотосинтетических пигментов, так как их избыточное количество не приносит дополнительных преимуществ в тенистых условиях. По мере перемещения от северного склона к западным и восточным, где начинают преобладать лиственные породы, условия меняются, что объясняет возрастание содержания хлорофиллов у изученных видов мхов. Наибольшие валовые концентрации хлорофиллов выявлены в образцах мхов, собранных в ПО, расположенных на юго-восточных (ПО 9), северо-западных (ПО 14–15) и западных склонах (ПО 16) горы Железной, где преобладают уже лиственные породы.

Таким образом, изучение содержания пигментов у двух эпифитных видов мхов (*L. sciurioides*, *A. viticulosus*), произрастающих в разнообразных условиях Кавказских Минеральных Вод Ставро-

польского края, показало значительные различия, обусловленные воздействием разнообразных экологических факторов. Результаты исследования подчеркнули, что вертикальные изменения в содержании пигментов прямо коррелируют с изменениями в спектре освещения по мере подъема в горной местности, подтверждая важность световых условий на различных высотах. В то же время, по горизонтальному градиенту, эти изменения отражают взаимосвязь с экологическими характеристиками биотопов.

Выяснено, что с повышением высотности увеличивается суммарное содержание фотосинтетических пигментов (Хла+Хлб) у изучаемых видов мхов. В образцах двух видов мхов, собранных с горы Бештау, которая превышает по высоте гору Железную, средние значения общего содержания пигментов оказались выше, чем в сравниваемых образцах с горы Железной. Анализ средних значений отдельного содержания хлорофиллов (Хла и Хлб) показал, что увеличение общего содержания пигментов у мхов на больших высотах, в первую очередь, связано с повышением уровня Хлб и одновременно снижением уровня Хла. Вероятно, наблюдаемое увеличение уровня Хлб служит адаптацией мхов к изменению светового спектра и другим климатическим условиям (уменьшением влажности, снижением температуры), которые характерны для больших высот. Это предположение подтверждается данными, полученными в ходе исследования. В частности, в образцах с горы Бештау, средний уровень содержания Хлб превышает содержание этого пигмента тех же видов, собранных на горе Железная.

Исследование выявило заметный горизонтальный градиент в изменении валовых концентраций пигментов у изученных видов, что отражает прямую зависимость этих изменений от таких экологических факторов, как экспозиция склонов, его крутизна,

уровень освещения, спектральные характеристики света, тип растительности и другое. Исследование склонов горы Бештау показало, что мхи на открытых западных и юго-западных склонах адаптировались к использованию преимущественно синего света, что отражается в уменьшенном содержании Хла и повышенном содержании Хлв. В более затенённых северо-восточных и восточных склонах, где более плотная лесная растительность фильтрует свет, отмечено повышенное содержание Хла, позволяющего мхам более эффективно поглощать красные и дальние красные участки спектра. На горе Железной, ключевым фактором для мхов является общая интенсивность света, а не его спектр. На северном склоне горы, где преобладают хвойные леса, сильное затенение снижает уровень освещения, оптимизируя фотосинтетические процессы к низким значениям света. Это ведет к понижению концентраций Хла и Хлв в образцах, так как избыток не несет дополнительной пользы. В более открытых местах, где доминируют лиственные породы и более высокий уровень освещения, в образцах мхов зафиксировано увеличение значений валовых концентраций Хла и Хлв.

В целом, изменения в содержании пигментов у двух изученных видов в районе Кавказских Минеральных Вод Ставропольского края подтверждают, что экологические факторы, в сочетании со специфическими требованиями видов, влияют на пигментный состав. Такие данные могут служить индикаторами адаптационных процессов при климатических изменениях и способствовать сохранению биоразнообразия горных экосистем, отражая влияние экологических факторов на содержание пигментов. Накопленная информация о воздействии экологических факторов на содержание пигментов может оказаться ключевой для разработки стратегий охраны окружающей среды и эффективного управления природными ресурсами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведённого пигментного анализа у *L. sciuroides* и *A. viticulosus*, взятых в двух горных локациях Кавказских Минеральных Вод (горы Бештау и Железная) в Ставропольском крае, было оценено воздействие экологических факторов на содержание пигментов у двух эпифитных видов мхов. Исследования показали, что изменения в содержании пигментов коррелируют с высотой местности. С увеличением высотности отмечен рост общего содержания пигментов. Адаптация к высокогорным условиям проявляется, прежде всего, через существенное увеличение Хлв, что способствует оптимальному использованию светового спектра при повышенной солнечной инсоляции. Это специфическая стратегия адаптации мхов к меняющимся условиям по вертикальному градиенту. Кроме этого, был выявлен горизонтальный градиент в изменении концентрации пигментов у мхов, зависящий от локальных экологических факторов, таких как экспозиции склонов, их крутизны, типа растительности и других биотопических условий. Сравнение двух видов выявило их уникальную реакцию на местные экологические факторы, что подчеркивает их потенциальное значение в качестве биомаркеров экологических изменений на рассматриваемой территории.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор признателен профессору кафедры ботаники Тверского государственного университета Нотову Александру Александровичу за ценные замечания, инженеру-лаборанту лаборатории ЦКП ТвГУ Тарасовой Екатерине Михайловне за помощь в проведении пигментного анализа.

ACKNOWLEDGMENT

The author is grateful to Professor Alexander Alexandrovich Notov of the Botany Department at Tver State University, for his valuable comments and thanks also to engineer-laborant Tarasova Ekaterina Mikhaylovna for her assistance in conducting the variable analysis.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анищенко Л.Н. Бриоиндикация общего состояния атмосферы городской экосистемы (на примере г. Брянска) // Экология. 2009. N 4. С. 264–270.
2. Богданова Я.А., Корчиков Е.С., Прохорова Н.В. О выявлении экологических оптимумов мохообразных // Самарский научный вестник. 2016. N 1 (14). С. 10–14.
3. Злыднев А.А., Онофрейчук О.Н., Анищенко Л.Н. Пигментный состав фоновых эпифитных видов брио- и лихенобиоты крупных городов как биоиндикационный признак // В мире научных открытий. 2018. Т. 10. N 1. С. 75–89. DOI: 10.12731/wsd-2018-1-75-89
4. Селянина С.Б., Татаринцева В.Г., Зубов И.Н., Кутакова Н.А., Пономарева Т.И. Пигментный состав *Sphagnum fuscum* заболоченных территорий в условиях техногенного воздействия // Известия вузов. Лесной журнал. 2020. N 6. С. 120–131. DOI: 10.12731/wsd-2018-1-75-89
5. Алексеенок Ю.В., Вергель К.Н., Юшин Н.С. Оценка уровней загрязнения территории Республики Беларусь атмосферными выпадениями тяжелых металлов с использованием бриоиндикации // Успехи современного естествознания. 2021. N 10. С. 43–50.
6. Соколова Г.Г. Влияние высоты местности, экспозиции и крутизны склона на особенностях пространственного распределения растений // Acta Biologica Sibirica. 2016. N 2 (3). С. 34–45.
7. Цой Л.П. Парки Кавказских Минеральных Вод как база формирования рекреационных туров // Вестник Ессентукского института управления, бизнеса и права. 2014. N 8. С. 194–199.
8. Ганнибал Б.К., Дутова З.В. Критерии ландшафтно-растительной дифференциации и природоохранного зонирования памятника природы «Гора Бештау» (район Кавказских Минеральных Вод) // Материалы международной научно-практической конференции и школы-семинара молодых ученых-степеведов «Геоэкологические проблемы степных регионов». Институт степи Уральского отделения Российской академии наук. 2017. С. 186–189.
9. Руденко К.С., Полушковский Б.В., Белова А.В. Формирование границ памятников природы краевого значения на Кавказских Минеральных водах // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Коллективная монография по материалам XI Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Москва. 2022. С. 521–527.
10. Бештаугорский ООПТ России // ООПТ России. 2023. URL: <http://www.oopt.aari.ru/oopt/Бештаугорский> (дата обращения: 08.11.2023)

11. Дорошина Г.Я. Мхи района Кавказских Минеральных Вод (Ставропольский край) // Новости систематики низших растений. 2008. N 42. С. 241–251.
12. Мишвелов Е.Г., Гранкина А.А. Состояние и динамика лесных фитоценозов особо охраняемых природных территорий Кавказских Минеральных Вод в условиях рекреационного воздействия // Наука. Инновации. Технологии. 2014. N 4. С. 121–129.
13. Казанкин А.П. Роль леса в геологической системе Кавказских минеральных вод // Сибирский лесной журнал. 2021. N 2. С. 103–119.
14. Нотов А.А., Мейсурова А.Ф., Иванова С.А., Нотов В.А., Бордачев В.А., Колонтаева А.А., Бычкова М.Е. О некоторых нетрадиционных объектах учебно-полевых исследований по биологии и экологии // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2023. N 4(72). С. 140–154. DOI: 10.26456/vtbio339
15. Красная книга Тверской области. Изд. 2-е, перераб. и доп. Тверь: Тверской Печатный Двор, 2016. 400 с.
16. Красная книга Курской области: Редкие и исчезающие виды животных, растений и грибов. Изд. 2-е, перераб. и доп. Калининград; Курск: РОСТ-ДООФК, 2017. 380 с.
17. Красная книга Московской области. Изд. 3-е, перераб. и доп. Московская обл.: Верховье, 2018. 810 с.
18. Шмакова Н.Ю. Марковская Е.Ф. Фотосинтетические пигменты растений и лишайников Арктических тундр Западного Шпицбергена // Физиология растений. 2010. Т. 57. N 6. С. 819–825.
19. Мейсурова А.Ф., Бревдов Е.Ю. Результаты моделирования воздействия кислотного загрязнения на фотосинтетический аппарат мха *Lewinskya speciosa* // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2023. N 1 (69). С. 276–286. DOI: 10.26456/vtbi301
20. Мейсурова А.Ф., Бычкова М.Е. Оценка влияния экологических факторов на содержание пигментов у эпифитных мхов ПП «Гора Железная» и ее окрестностей (Ставропольский край, город-курорт Железноводск) // Материалы III Всероссийской научно-практической конференции «Биоразнообразие, состояние и динамика природных и антропогенных экосистем России», Комсомольск-на-Амуре, 15 декабря 2023 г., 2023. С. 171–176.
21. Горышина Т.К. Экология растений: учебное пособие. М.: Высш. школа. 1979. 368 с.
22. ГОСТ 17.1.4.02-90. Вода. 2010. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла а. Контроль качества воды: Сб. ГОСТов. М.: Стандартинформ. 15 с.
23. Опекунова М.Г. Биоиндикация загрязнений: учебное пособие. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет. 2016. 300 с.
24. Троян П. Факториальная экология. Киев: Высшая школа. 1989. 232 с.
25. V mire nauchnykh otkrytii [In the world of scientific discoveries]. 2018, vol. 10, no. 1, pp. 75–89. (In Russian)
26. Selyanina S.B., Tatarintseva V.G., Zubov I.N., Kutakova N.A., Ponomareva T.I. Pigment composition of *Sphagnum fuscum* of wetlands under anthropogenic impact. *News of universities. Forestry journal*, 2020, no. 6, pp. 120–131. (In Russian) DOI: 10.12731/wsd-2018-1-75-89
27. Alekseenok Yu.V., Vergel' K.N., Yushin N.S. Assessment of the pollution levels of the territory of the republic of belarus by heavy metals atmospheric deposition using bryoidication. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Advances in current natural sciences]. 2021, no. 10, pp. 43–50. (In Russian)
28. Sokolova G.G. The influence of terrain altitude, slope exposure and slope degree on plant spatial distribution. *Acta Biologica Sibirica*. 2016, no. 2 (3), pp. 34–45. (In Russian)
29. Tsoi L.P. Caucasian Mineral Waters Parks as a base for developing recreational tours. *Vestnik Essentuk'skogo instituta upravleniya, biznesa i prava* [Bulletin of Essentuki Institute of Management, Business and Law]. 2014, no. 8, pp. 194–199. (In Russian)
30. Gannibal B.K., Dutova Z.V. Kriterii landshaftno-rastitel'noi differentsiatsii i prirodookhrannogo zonirovaniya pamyatnika prirody «Gora Beshtau» (raion Kavkazskikh Mineral'nykh Vod) [Criteria for landscape and vegetation differentiation and nature conservation zoning of the natural monument Mount Bishtau, Caucasus Mineral Waters region]. *Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii i shkoly-seminara molodykh uchenykh-stepovedov «Geoekologicheskie problemy stepnykh regionov», 2017* [Proceedings of the international scientific and practical conference and school-seminar of young steppe scientists "Geoecological problems of steppe regions", 2017]. 2017, pp. 186–189. (In Russian)
31. Rudenko K.S., Polushkovskii B.V., Belova A.V. Establishment of boundaries for natural landmarks of regional significance in the Caucasus Mineral Waters. In: *Sovremennye problemy geologii, geofiziki i geoekologii Severnogo Kavkaza. Kollektivnaya monografiya po materialam XI Vserossiiskoi nauchno-tehnicheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Delineation of the boundaries of the natural monuments of regional significance in the Caucasian Mineral Waters. *Sovremennye problemy geologii, geofiziki i geoekologii Severnogo Kavkaza*]. Moscow, 2022, pp. 521–527. (In Russian)
32. Beshtau Nature Reserve of Russia. Russian Nature Reserves. 2023. Available at: <http://www.oopt.aari.ru/oopt/Beshtaugorskii> (accessed 08.11.2023)
33. Doroshina G.Ya. Mosses of caucasian mineral waters area (Stavropol territory). *Novosti sistematiki nizshikh rastenii* [Systematics news of lower plants]. 2008, no. 42, pp. 241–251. (In Russian)
34. Mishvelov E.G., Grankina A.A. The current state and dynamics of forest phytocenoses of protected areas of Caucasian Mineral Waters under the recreational impact. *Nauka. Inovatsii. Tekhnologii* [Science. Innovations. Technologies]. 2014, no. 4, pp. 121–129. (In Russian)
35. Kazankin A.P. The role of the forest in the geoecological system of the Caucasus mineral waters. *Sibirskii lesnoi zhurnal* [Siberian Forest Journal]. 2021, no. 2, pp. 103–119. (In Russian)
36. Notov A.A., Meysurova A.F., Ivanova S.A., Notov V.A., Bordachev V.A., Kolontaeva A.A., Bychkova M.E. On some non-traditional objects of educational field research in biology and ecology. *Bulletin of Tver State University. Ser.*

REFERENCES

1. Anishchenko L.N. Bioindication of the overall state of the atmosphere of the urban ecosystem (using the example of Bryansk city). *Ekologiya* [Ecology]. 2009, no. 4, pp. 264–270. (In Russian)
2. Bogdanova Ya.A., Korchikov E.S., Prokhorova N.V. On the identification of ecological optimum of bryophytes. *Samarskii nauchnyi vestnik* [Samara Scientific Herald]. 2016, no. 1 (14), pp. 10–14. (In Russian)
3. Zlydnev A.A., Onofreichuk O.N., Anishchenko L.N. Pigmental composition of background epiphytic species of bryo- and lichenobryotes of large cities as bioindication tissue.

- Biology and Ecology*, 2023, no. 4(72), pp. 140–154. (In Russian) DOI: 10.26456/vtbio339
15. *Krasnaya kniga Tverskoi oblasti* [Red Data Book of Tver Region]. Tver, Tver Printing House, 2016, 2nd edition, revised and expanded, 400 p. (In Russian)
16. *Krasnaya kniga Kurskoi oblasti: Redkie i ischezayushchie vidy zhivotnykh, rastenii i gribov* [Red Data Book of Kursk Region: Rare and Endangered Species of Animals, Plants, and Fungi]. Kaliningrad, Kursk, ROST-DOAFK Publ., 2017, 2nd edition, revised and expanded, 380 p. (In Russian)
17. *Krasnaya kniga Moskovskoi oblasti* [Red Data Book of Moscow Region]. Moscow Region, Verkhovye, 2018, 3rd edition, revised and expanded, 810 p. (In Russian)
18. Shmakova N.Yu. Markovskaya E.F. Photosynthetic pigments of plants and lichens in the Arctic tundra of Western Spitsbergen. *Fiziologiya rastenii* [Plant Physiology]. 2010, vol. 57, no. 6, pp. 819–825. (In Russian)
19. Meysurova A.F., Brevdo E.Yu. The results of modelling the acid pollution impact on the photosynthetic apparatus of the *Lewinsky speciosa* Moss. *Bulletin of Tver State University. Ser. Biology and Ecology*, 2023, no. 1 (69), pp. 276–286. (In Russian) DOI: 10.26456/vtbi301
20. Meysurova A.F., Bychkova M.E. Otsenka vliyaniya ekologicheskikh faktorov na sodержание pigmentov u epifitnykh mkhov PP «Gora Zheleznaya» i ee okrestnostei (Stavropol'skii krai, gorod-kurort Zheleznovodsk) [Assessment of the impact of ecological factors on the content of pigments in epiphytic mosses of the natural monument Mount Iron and its surroundings (Stavropol Krai, the resort town of Zheleznovodsk)]. *Materialy III Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Bioraznoobrazie, sostoyanie i dinamika prirodnnykh i antropogennykh ekosistem Rossii»*, Komsomol'sk-na-Amure, 15 dekabrya 2023 [Proceedings of the III All-Russian scientific and practical conference "Biodiversity, state and dynamics of natural and anthropogenic ecosystems of Russia", Komsomolsk-on-Amur, December 15, 2023]. Komsomolsk-on-Amur, 2023, pp. 171–176.
21. Goryshina T.K. *Ekologiya rastenii* [Plant ecology]. Moscow, Vyssh. Shkola Publ., 1979, 368 p. (In Russian)
22. GOST 17.1.4.02-90. Voda. 2010. *Metodika spektrofotometricheskogo opredeleniya khlorofilla a. Kontrol' kachestva vody* [GOST 17.1.4.02-90. Water. 2010. Methodology for spectrophotometric determination of chlorophyll a. Water quality control]. Moscow, Standartinform Publ., 15 p. (In Russian)
23. Opekunova M.G. *Bioindikatsiya zagryaznenii* [Biological indicators of pollution]. Saint Petersburg, SPSU Publ., 2016, 300 p. (In Russian)
24. Troyan P. *Faktorial'naya ekologiya* [Factorial ecology]. Kiev, Vysshaya shkola Publ., 1989, 232 p. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Александра Ф. Мейсунова собрала материал, провела обработку и описание результатов. Александра Ф. Мейсунова написала рукопись и несет ответственность при обнаружении плагиата и самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Alexandra F. Meysurova collected the material, conducted the analysis and described the results. Alexandra F. Meysurova wrote the manuscript and is responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The author declares no conflict of interest.

ORCID

Александра Ф. Мейсунова / Alexandra F. Meysurova <https://orcid.org/0000-0002-3885-375X>