

**С.Е. Мазина****Сообщества фотосинтезирующих организмов, развивающихся в условиях искусственного освещения на оборудованном участке пещеры Мраморная**

Мазина С.Е. Сообщества фотосинтезирующих организмов, развивающихся в условиях искусственного освещения на оборудованном участке пещеры Мраморная // Спелеология и карстология, - № 2. – Симферополь. – 2009. – С. 92-99.

Резюме: Развитие фотосинтезирующих организмов в экскурсионных пещерах приводит к изменению их визуального восприятия посетителями. Рост фотоавтотрофов способствует увеличению количества органического вещества, пригодного для развития нехарактерных для пещер гетеротрофных видов. Заселяя уникальные вторичные минеральные образования, «ламповая флора» инициирует процессы их разрушения. Контроль роста фотосинтезирующих организмов в оборудованных пещерах - одно из важных условий сохранения уникальных подземных экосистем. Статья посвящена анализу подземных фитоценозов. Впервые проведено изучение видового состава и скорости роста сообществ фотосинтезирующих организмов, сформировавшихся в условиях искусственного освещения в пещере Мраморная (Украина, Крым).

Ключевые слова: экскурсионная пещера; ламповая флора; водоросли.

Мазина С.Е. Співтовариства фотосинтезуючих організмів, що розвиваються в умовах штучного освітлення на обладнаній ділянці печери Мармурова // Спелеологія і карстологія, - № 2. – Симферополь. – 2009. – С. 92-99.

Резюме: Розвиток фотосинтезуючих організмів в екскурсійних печерах приводить до зміни їх візуального сприйняття відвідувачами. Зростання фотоавтотрофів сприяє збільшенню кількості органічної речовини, придатної для розвитку нехарактерних для печер гетеротрофних видів. Заселяючи унікальні вторинні мінеральні утворення, «лампова флора» ініціює процеси їх руйнування. Контроль зростання фотосинтезуючих організмів в обладнаних печерах - одна з важливих умов збереження унікальних підземних екосистем. Стаття присвячена аналізу підземних фітоценозів. Вперше проведено вивчення видового складу і швидкості росту співтовариств фотосинтезуючих організмів, що сформувалися в умовах штучного освітлення в печері Мармурова (Україна, Крим).

Ключові слова: екскурсійна печера; лампова флора; водорості.

Mazina S.E. communities of photosynthetic organisms developing under artificial lighting conditions in the developed section of the Mramornaya show cave // Speleology and Karstology. – N 2. – Simferopol. – 2009. – P. 92-99.

Abstract: The development of phototrophic organisms in tourist caves results in change of their visual perception by the visitors. The growth of phototrophic organisms promotes increase of quantity of organic matter suitable for development of heterotrophic species unrepresentative for caves. Invading unique secondary mineral formations the «lamp flora» originates processes of their destruction. Control of growth of phototrophic organisms in tourist caves is one of relevant conditions of preservation of unique subsurface ecosystems. The article is dedicated to the analysis of subsurface biotic communities. Analysis of a floristic composition and growth rate of communities formed in conditions of artificial lighting in the Mramornaya Cave (Ukraine, Crimea) is conducted for the first time.

Keywords: show cave, lamp-flora, algae.

ВВЕДЕНИЕ

Пещеры – уникальные природные памятники, привлекательные для туристов. Оборудование пещер для массовых посещений позволяет ознакомиться с подземным миром большому числу людей, а также сохранить пещеры от разрушения (Ляхницкий, 2002).

Под землей, в условиях относительной изоляции, формируются уникальные экосистемы. Оборудование пещер в качестве экскурсионных объектов связано со значительными, часто необратимыми изменениями подземной экосистемы, в первую очередь обеднением основного видового состава и появлением неспецифических видов. Это может быть как следствием посещений и связанных с этим изменений, так и результатом переоборудования и изменения биотопа пещеры на некоторых участках или на всем протяжении пещеры (Aley, 1972; Aley et al., 1985; Elliott, 1997; Olson, 2002). В частности, использование осветительных приборов способствует развитию фотоавтотрофных

© С.Е.Мазина*

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
Москва

*Кореспондуючий автор: E-mail: conophytum@mail.ru

организмов, в состав которых входят папоротники, мхи, водоросли и цианобактерии. Для подобных сообществ существует собирательный термин «ламповая флора». В результате жизнедеятельности растительных организмов происходит разрушение породы за счет непосредственного механического воздействия или вследствие выделения органических кислот. Это особенно опасно для уникальных натечных образований пещер (Marathe, Chaudhari, 1975; Grobbelaar, 2000). Также фототрофные организмы способствуют накоплению органического вещества в изначально олиготрофных подземных экосистемах, что дает возможность развиваться гетеротрофам, в первую очередь плесневым грибам, многие виды которых являются патогенными или условно патогенными для человека (Johnson, 1979).

Сообщества фотосинтезирующих организмов, развивающиеся в условиях искусственного освещения в экскурсионных пещерах – одно из негативных последствий оборудования пещер. Изучение видового состава, сукцессии и влияния биотопа на формирование этих сообществ необходимо для разработки методических аспектов эксплуатации пещер, снижения скорости деградации подземной экосистемы, разработки экологически безопасных методов контроля роста «ламповой флоры».

Целью данной работы было выявление видовой и экобиоморфологической структуры сообществ фотосинтезирующих организмов, и их связи с биотопами пещеры, а также оценка скорости развития данных сообществ в различных биотопах.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Пещера Мраморная расположена в Крыму на нижнем плато массива Чатыр-Даг. Первоначальный вход в нее в виде пятиметрового узкого естественного колодца расположен на высоте 918 метров над уровнем моря. Пещера заложена в блоке верхнеюрских известняков и состоит из трех частей: Главной галереи, Нижней галереи и «Тигрового хода». Пещера открыта в 1987 году Симферопольскими спелеологами. В 1989 году в пещере была оборудована первая очередь экскурсионного маршрута протяженностью 180 метров («Галерея сказок»). В 1992 году длина экскурсионных трасс составила более 800 метров. В пещеру проделан искусственный вход, закрывающийся металлической дверью, а естественный вход закрыт для свободного доступа. Охрану и оборудование пещеры осуществлял Симферопольский клуб спелеологов, впоследствии реорганизованный в Центр спелеотуризма «ОНИКС-ТУР». Пещера освещается лампами дневного освещения, галогеновыми лампами мощностью 250 Вт и лампами накаливания мощностью 40-60 Вт. Всего установлено более 150 ламп.

Для изучения сообществ фототрофных организмов проводились геоботанические описания на освещенных участках. Отбирались образцы по площади освещенного пятна с каждого субстрата, вырезался узкий сектор от лампы до границы разрастания. Пробы помещали в стерильные сосуды. Также отбирали образцы субстратов без «ламповой флоры». Исследование проводили в мае и августе 2007, и мае

2008 года. Обследовано 80 участков с автотрофными организмами, отобрано более 300 образцов. Площадь поверхности зарастания определяли, фотографируя пятно и вычисляя площадь с помощью программы Image-Pro Plus. Площадь определяли без учета рельефа поверхности.

Выявление видового состава водорослей в пробах грунта проводили анато-морфологическим методом и общепринятыми в почвенной альгологии методами (Голлербах, Штина, 1969; Штина, Голлербах, 1976). Просмотр образцов осуществляли в световом микроскопе Leica DMLS (Германия) и Биолом МБС-9 (Россия). Для определения диатомовых водорослей изготавливали препараты методом прокалывания створок диатомей в перекиси водорода (Swift, 1967).

Для определения обилия макроскопических и микроскопических видов использована 5-бальная шкала, производилась оценка проективного покрытия и баллов обилия соответственно. Жизненные формы цианобактерий и водорослей даны по работе «Почвенные водоросли лесных биогеоценозов» (Алексашина, Штина, 1984).

Образцы субстратов были проанализированы по ряду физико-химических показателей, по общепринятым в почвоведении методам (Аринушкина, 1970). Поскольку пробы грунта отбирались вблизи мест развития фотосинтезирующих организмов с целью характеристики именно субстратов, на которых они произрастают, а не пород и отложений пещеры в целом, то результаты не отражают характеристики всех представленных в пещере субстратов.

Водоросли определяли с использованием определителей отечественных и зарубежных авторов (Забелина и др., 1951; Голлербах и др., 1953; Дедусенко-Щеголева, Голлербах, 1962; Кондратьева, 1968; Топачевский, Масюк, 1984; Царенко, 1990; Krammer, Lange-Bertalot, 1986, 1988, 1991a, b). Мхи определяли с использованием определителей (Савич, Ладыженская, 1936; Игнатов, Игнатова, 2003).

Также проводили замер температуры и влажности в местах отбора образцов вдоль экскурсионного маршрута, на высоте 1 метра от пола ртутными и электронными термометрами с ошибкой 0.1 °С.

Сходство видового состава оценивали с использованием индекса Жаккара: $JCR = c/(a+b-c)$. Где a – число видов в списке А, b – число видов в списке В, а c – число видов, общих для обоих списков.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ биотопов пещеры

Распределение фотосинтезирующих организмов в пещере дискретно, приурочено к источникам искусственного освещения. Максимальная удаленность распространения фототрофов от источника освещения составляла 10 метров (освещенность 1.5-2 лк). Микроклимат пещеры достаточно стабилен, температура воздуха в период исследования составляла 12-16 °С, влажность воздуха 72-85%. Поскольку метод отбора проб нивелировал различия в освещенности на разных участках исследования, а микроклиматические параметры сходны по всей пещере, то основным критерием отличия биотопов

Таблица 1

Характеристика физико-химических параметров субстратов, на которых обнаружены фотосинтезирующие организмы в пещере Мраморная

субстрат	температура субстрата °С	количество влаги в субстрате %	рН субстрата (водная вытяжка)	Содержание CO ₂ ² %
глина	12-14	58-59	8.6 - 8.0, 8.0-7.5	37.2-45, 15-19.2, 0-15
известняк плотный		47	8.4-8.6	45
кальцит		9	8.6-9.0	48-51.6
лунное молоко		74-87	7.3	49.2
глина-известняк		43	7.5	51.4
известняк рыхлый		65	8.6	47.8
лунное молоко		74-87	7.6	49.2-56.4
глина-кальцит		58-59	7.4-8.3	13.8

сообществ фотосинтезирующих организмов являлся субстрат.

Выделено несколько типов субстратов, на которых происходило развитие фототрофных организмов:

1. Известняк (вмещающая порода), плотный и рыхлый.
2. Известняк с тонким слоем глинистых отложений (до 3 мм).
3. Кальцитовые натечные формы. Кальцит – минерал карбонатных пород, слагающий различные кристаллические и натечные формы в полостях карстового и некарстового происхождения (Hill, Forti, 1986).
4. Кальцит с тонким слоем глинистых отложений (до 3 мм).
5. Глинистые отложения, представленные небольшими участками на стенах в трещинах известняка и кальцита и обширными глинистыми отложениями на горизонтальных поверхностях. Наличие карбонатов в глинистых отложениях характеризует тип отложения. В случае высокого содержания карбонатов это остаточные отложения, располагающиеся в основном на стенах и в нишах. В случае низкого содержания карбонатов это водные механические отложения, привнесенные с поверхности или промытые глинистые остаточные отложения (Дублянский, Андрейчук, 1991).
6. Лунное молоко – вторичное минеральное образование, состоящее из микрокристаллических агрегатов (Дублянский, Андрейчук; 1991), представлено карбонатной формой, глубина слоя отложения достигает 8 мм.

Таблица 2

Площадь зарастания фотосинтезирующими организмами, распределение по субстратам

субстрат	площадь, май 2007, м ²	площадь, август 2007, м ²	прирост площади за сезон эксплуатации		площадь, май 2008, м ²	% площади субстрата от общей площади зарастания		
			м ²	%		май 2007	август 2007	май 2008
известняк	179,05	275,2	96,15	54	110,5	46,59	34,2	32,24
глина	5,25	24	18,75	357	13,4	1,37	2,98	3,92
кальцит	147	352,9	205,9	140	131,5	38,25	43,86	38,37
глина-известняк	30,5	34,5	4	13	23,3	7,94	4,29	6,8
глина-кальцит	22	93,5	71,5	325	49,5	5,72	11,62	14,44
лунное молоко	0,5	24,5	24	4800	14,5	0,13	3,05	4,23

Физико-химические характеристики субстратов показаны в таблице 1.

Общая площадь, занятая «ламповой флорой» в пещере, в мае 2007 года составляла 384,3 м², в конце августа, после трех месяцев эксплуатации пещеры, она составила 804,6 м², а в мае 2008 года - 342,7 м². По сообщению работников пещеры, ежегодно проводится очистка «ламповой флоры» с помощью растворов формалина, однако эти очистки недостаточно эффективны, особенно в труднодоступных местах, на сводах пещеры. Этим можно объяснить значительную площадь, занятую фототрофами в начале сезона. Вне зависимости от общей площади зарастания, процент площади каждого субстрата, покрытого «ламповой флорой», оставался примерно одинаковым (таблица 2). Отмечено, что в течение сезона эксплуатации прирост площади зарастания на разных субстратах сильно отличается. Наибольшее развитие фототрофов отмечено на лунном молоке, глинистых отложениях и глинистых отложениях на кальците (таблица 2), общее увеличение поверхности зарастания за сезон эксплуатации составило 109%.

Общая характеристика и анализ видового состава фотосинтезирующих организмов пещеры

В результате исследования в пещере Мраморная обнаружен 51 вид фотосинтезирующих организмов, относящихся к 6 отделам. Отдел Polypodiophyta представлен 1 видом; Bryophyta – 8 видами, из 8 родов, 8 семейств и 3 порядков; Cyanophyta – 26 видами из 13 родов, 9 семейств и 3 порядков, Bacillariophyta – 10 видами из 7 родов, 6 семейств и 4 порядков; Chlorophyta - 6 видами из 6 родов и 5 семейств.

На основании полученных данных построена таблица, отражающая видовой состав фотосинтезирующих организмов на различных субстратах (таблица 3).

Таблица 3

Видовой состав фотосинтезирующих организмов и встречаемость на различных субстратах

ВИДЫ	жизненная форма водорослей	встречаемость, %					
		известняк	глина	кальцит	глина-известняк	глина-кальцит	лунное молоко
<i>Phyllitis</i> sp.		0	0	0	9	0	0
Заростки папоротников		0	38	3	27	14	0
Протонема мхов		100	88	91	45	100	50
<i>Riccia glauca</i> L.		0	25	0	18	0	0
<i>Marchantia polymorpha</i> L.		0	13	0	9	0	0
<i>Dicranella varia</i> (Hedw.) Schimp.		4	13	3	9	0	0
<i>Fissidens taxifolius</i> Hedw.		16	38	6	64	14	0
<i>Seligeria donniana</i> (Sm.) Muell. Hal.		4	0	0	0	0	0
<i>Plagiothecium</i> sp.		0	0	6	0	0	0
<i>Sciurohypnum oedipodium</i> (Mitt.) Ignatov et Huttunen		0	0	3	0	0	0
<i>Hygroamblystegium humile</i> (P. Beauv.) Vanderpoorten		0	13	0	9	0	0
<i>Gloeocapsa magma</i> (Breb.) Kutz. emend. Hollerb.	C	4	50	25	36	14	0
<i>Gloeotheca rupestris</i> (Lyngb.) Born	C	0	0	0	0	14	0
<i>Gloeocapsa montana</i> Kütz. arnpl. Hollerb.	C	8	13	9	45	57	0
<i>Gloeocapsa rupestris</i> Kutz	C	0	13	0	0	0	0
<i>Synechocystis</i> sp.	C	0	63	6	9	14	0
<i>Synechococcus elongatus</i> Nag.	C	4	0	0	0	14	25
<i>Microcystis pulverea</i> (Wood) Forti emend. Elenk.	C	32	13	28	36	14	100
<i>Microcystis muscicola</i> (Menegh.) Elenk.	C	12	0	3	0	0	0
<i>Leptolyngbya boryana</i> (Gom.) Anagn. et Kom.	P	0	0	6	0	0	25
<i>Phormidium angustissimum</i> W. et G. S. West	P	4	0	0	0	0	100
<i>Phormidium tenue</i> (Menegh.) Gom.	P	20	0	6	9	29	100
<i>Phormidium autumnale</i> (Ag.) Gom.	P	16	38	25	18	43	0
<i>Phormidium foveolarum</i> (Mont.) Gom.	P	0	0	6	0	0	25
<i>Oscillatoria angustissima</i> W. et G. S. West	P	4	0	0	0	0	25
<i>Oscillatoria lacustris</i> (Kjeb.) Geit.	P	0	0	0	0	14	0
<i>Oscillatoria limnetica</i> Lerara.	P	0	0	0	9	14	0
<i>Oscillatoria subtilissima</i> Kftz.	P	8	0	3	0	0	0
<i>Oscillatoria irrigua</i> Ag.	P	4	13	0	18	14	0

Продолжение Таблицы 3

виды	жизненная форма водорослей	встречаемость, %					
		известняк	глина	кальцит	глина-известняк	глина-кальцит	лунное молоко
<i>Phyllitis</i> sp.		0	0	0	9	0	0
Заростки папоротников		0	38	3	27	14	0
Протонема мхов		100	88	91	45	100	50
<i>Riccia glauca</i> L.		0	25	0	18	0	0
<i>Marchantia polymorpha</i> L.		0	13	0	9	0	0
<i>Dicranella varia</i> (Hedw.) Schimp.		4	13	3	9	0	0
<i>Fissidens taxifolius</i> Hedw.		16	38	6	64	14	0
<i>Seligeria donniana</i> (Sm.) Muell. Hal.		4	0	0	0	0	0
<i>Plagiothecium</i> sp.		0	0	6	0	0	0
<i>Sciurohypnum oedipodium</i> (Mitt.) Ignatov et Huttunen		0	0	3	0	0	0
<i>Hygroamblystegium humile</i> (P. Beauv.) Vanderpoorten		0	13	0	9	0	0
<i>Gloeocapsa magma</i> (Breb.) Kutz. emend. Hollerb.	C	4	50	25	36	14	0
<i>Gloeotheca rupestris</i> (Lyngb.) Born.	C	0	0	0	0	14	0
<i>Gloeocapsa montana</i> Kütz. arnpl. Hollerb.	C	8	13	9	45	57	0
<i>Gloeocapsa rupestris</i> Kutz.	C	0	13	0	0	0	0
<i>Synechocystis</i> sp.	C	0	63	6	9	14	0
<i>Synechococcus elongatus</i> Nag.	C	4	0	0	0	14	25
<i>Microcystis pulverea</i> (Wood) Forti emend. Elenk.	C	32	13	28	36	14	100
<i>Microcystis muscicola</i> (Menegh.) Elenk.	C	12	0	3	0	0	0
<i>Leptolyngbya boryana</i> (Gom.) Anagn. et Korn.	P	0	0	6	0	0	25
<i>Phormidium angustissimum</i> W. et G. S. West	P	4	0	0	0	0	100
<i>Phormidium tenue</i> (Menegh.) Korn.	P	20	0	6	9	29	100
<i>Phormidium autumnale</i> (Ag.) Gom.	P	16	38	25	18	43	0
<i>Phormidium foveolarum</i> (Mont.) Gom.	P	0	0	6	0	0	25
<i>Oscillatoria angustissima</i> W. et G. S. West	P	4	0	0	0	0	25
<i>Oscillatoria lacustris</i> (Kjeb.) Geit.	P	0	0	0	0	14	0
<i>Oscillatoria limnetica</i> Lerera.	P	0	0	0	9	14	0
<i>Oscillatoria subtilissima</i> Kütz.	P	8	0	3	0	0	0
<i>Oscillatoria irrigua</i> Ag.	P	4	13	0	18	14	0

Таблица 4

Таксономическое распределение фотосинтезирующих видов и спектр жизненных форм водорослей на различных субстратах

отдел	известняк, %	глина, %	кальцит, %	глина-известняк, %	глина-кальцит, %	лунное молоко, %
Polypodiophyta	0	0	0	2	0	0
Bryophyta	6	10	8	10	2	0
Cyanophyta	33	27	27	25	27	16
Bacillariophyta	2	2	0	20	12	0
Xanthophyta	2	0	0	2	2	0
Chlorophyta	8	8	10	8	12	6
число видов	26	24	23	33	28	11
спектр жизненных форм водорослей	$C_5P_8CF_4B_1H_2Ch_3$	$C_5P_4CF_4M_1B_1H_2Ch_2$	$C_6P_7CF_2H_1Ch_3$	$C_4P_4CF_4M_1B_{10}H_2Ch_3$	$C_6P_3CF_3B_8H_3Ch_3$	$C_2P_5CF_1H_1Ch_2$

На известняке доминирует протонема мхов, высокую встречаемость и обилие имеют *Mychonastes homosphaera*, *Chlorella vulgaris*, *Chlorhormidium flaccidum*, *Nostoc punctiforme*.

На кальците доминирует *Mychonastes homosphaera*, высокую встречаемость и обилие имеют протонема мхов, *Nostoc punctiforme*, *Chlorella vulgaris*, *Microcystis pulverea*, *Gloeocapsa magma*.

На глинистых отложениях высокую встречаемость и обилие имеют протонема, *Chlorella vulgaris*, *Mychonastes homosphaera*.

На глинистых отложениях на известняке высокую встречаемость и обилие имеют *Mychonastes homosphaera*, протонема мхов, *Nostoc punctiforme*, *Gloeocapsa montana*, *Navicula contenta* f. *parallela*, *Navicula cryptocephala*.

На глинистых отложениях на кальците доминируют протонема мхов и *Nostoc punctiforme*, высокую встречаемость и обилие имеют *Mychonastes homosphaera*, *Gloeocapsa montana*, *Diademsis contenta*.

На лунном молоке доминирует *Microcystis pulverea*, высокую встречаемость и обилие имеют *Phormidium angustissimum*, *Phormidium tenue*.

Экологические формы водорослей представлены в таблице 3, спектр жизненных форм на каждом субстрате показан в таблице 4. В спектре жизненных форм преобладали на известняке и лунном молоке Р-форма, на глине и кальците С-форма, на глинистых отложениях на известняке В-форма, на глинистых отложениях на кальците С, Р и В-формы.

Наибольшее видовое богатство отмечено на «переходных» субстратах глинистых отложениях на известняке и глинистых отложениях на кальците, причем именно на этих субстратах обнаружены представители *Bacillariophyta*, на остальных субстратах наибольшую численность имеют представители *Cyanophyta*. Доля таксонов на каждом субстрате представлена в таблице 4.

Выделено четыре вида, общих для всех субстратов: *Microcystis pulverea*, *Nostoc paludosum*, *Mychonastes homosphaera*, *Chlorhormidium flaccidum*. Также на всех субстратах отмечена протонема мхов. *Mychonastes homosphaera* и протонема мхов на большинстве субстратов занимают доминирующее положение.

Видовой состав сообществ на различных субстратах был постоянным в течение всего времени исследования. Интересным фактом является

Таблица 5

Анализ видового состава сообществ с использованием коэффициента Жаккара

	лм	известняк	глина	кальцит	глина на известняке	глина на кальците
лм		0,321	0,167	0,308	0,158	0,219
известняк	1		0,429	0,531	0,439	0,459
глина	0	1		0,424	0,500	0,444
кальцит	1	1	1		0,333	0,417
г-и	0	1	1	1		0,605
г-к	0	1	1	1	1	

Сходные пробы отмечены индексом 1, отличные 0.

отсутствие сезонной динамики по встречаемости и по обилию видов на различных участках.

Для анализа видового состава сообществ на различных субстратах был использован коэффициент Жаккара, который показал различия только между сообществами на лунном молоке и глинистых отложениях (таблица 5).

Возможно, что для такого типа выборки на дискретных местообитаниях более информативным будет качественный анализ данных (табл. 2). Очевидно, что на тонких глинистых отложениях формируется иной тип сообщества, который характеризуется наличием представителей *Vaccillariophyta*.

Тонкие глинистые отложения на известняке и кальците обнаружены только на участках пещеры, где происходит развитие «ламповой флоры», причем на оборудованных в последние годы участках пещеры такого слоя нет. Возможно, тонкий слой глинистых отложений сформировался под воздействием фототрофных организмов или в результате разрушения кальцитового слоя и известняка в результате проводимых очисток.

Лунное молоко - вторичное минеральное отложение, которое занимает незначительную площадь (таблица 2), и представляет собой особый субстрат с высоким содержанием влаги и сложным кристаллическим строением. На этом субстрате преимущественно обнаружены виды цианобактерий с слизистыми влагаллищами. Возможно такое строение служит приспособлением для успешного развития на минеральных агрегатах типа лунного молока.

Обилие протонемы мхов на большинстве субстратов и незначительное присутствие гаметофитов мхов (спорофиты не обнаружены) заставляет проанализировать данный феномен. Сформированные растения были обнаружены на участках, удаленных от экскурсионной тропы, к которым доступ для человека затруднен. Возможно, что при ежегодных очистных работах мхи удаляются работниками пещеры и сохраняются только на небольших труднодоступных участках. В начале экскурсионного сезона и спустя почти четыре месяца на освещенной территории отмечалась только протонема. Можно предположить, что за этот период в условия искусственного освещения в подземном пространстве не успевает сформироваться гаметофит, или условия обитания неблагоприятны для развития протонемы в гаметофит. Данный вопрос требует дальнейших исследований. Также неясно является ли обильное развитие протонемы следствием постоянного заноса спор мхов с поверхности или сохранением ее в условиях пещеры.

Выводы

Исследован таксономический состав фотосинтезирующих организмов пещеры Мраморная. Отмечено высокое сходство сообществ различных биотопов с одинаковыми доминантными видами на большинстве представленных в пещере субстратов. Выделены отличающиеся сообщества лунного молока и тонких глинистых отложений на кальците и известняке. Большая часть альгофлоры пещеры

представлена водорослями вневодных местообитаний. Выявлено преобладание таксонов *Suaphophyta* на всех субстратах пещеры, что согласуется с данными других исследователей (*Encyclopaedia*, 1994; Smith, Olson, 2007), а также *Muchonastes homosphaera* и протонемы мхов. Отмечена высокая скорость разрастания «ламповой флоры» на глинистых отложениях и тонких глинистых отложениях на кальците, а также на лунном молоке, что необходимо учитывать при проектировании освещения пещеры.

ЛИТЕРАТУРА

- Аверкиев М.С. Метеорология. – М.: Изд-во МГУ, 1951. – С.18-29.
- Алексахина Т. И., Штина Э. А. Почвенные водоросли лесных биогеоценозов. – М.: Наука, 1984. – 152 с.
- Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. – М.: Изд-во МГУ, 1970. – 488 с.
- Голлербах М.М., Косинская Е.К., Полянский В.И. Синезеленые водоросли. Определитель пресноводных водорослей СССР. – М.: Сов. наука, 1953. – Вып. 2. – 652 с.
- Голлербах М. М., Штина Э. А. Почвенные водоросли. – Л.: Наука, 1969. – 228 с.
- Дедусенко-Щеголева Н.Т., Голлербах М.М. Желтозеленые водоросли. Определитель пресноводных водорослей СССР. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1962. – Вып. 5. – 272 с.
- Дублянский В.Н., Андрейчук В.Н. Терминология спелеологии. – Кунгур, 1991. – 202 с.
- Забелина М.М., Киселев И.А., Прошкина-Лавренко А.И., Шешукова В.С. Диатомовые водоросли.
- Определитель пресноводных водорослей СССР. – Москва.: Сов. наука, 1951. – Вып. 4. – 619 с.
- Игнатов М.С., Игнатова Е.А. Флора мхов средней части Европейской России. – Москва.: Товарищество научных изданий КМК, 2003. – Т.1-2. – 960 с.
- Кондратьева Н.В. Класс Гормогониевые – *Hormogoniophyceae*. Синезеленые водоросли – *Suaphophyta*. Определитель пресноводных водорослей Украинской ССР. – Киев: Наукова думка, 1968. – Вып. 1. – 523 с. (На укр. яз.)
- Ляхницкий Ю.С. Научно-методические основы охраны и использования пещер, как памятников природы // Проблемы экологии и охраны пещер. – Красноярск. – 2002. – С.127-130.
- Савич Л. И., Ладыженская К. И. Определитель печеночных мхов севера Европейской части СССР. – Москва, 1936. – 310с.
- Топачевский А.В., Масюк Н.П. Пресноводные водоросли Украинской ССР. – Киев: Вища школа, 1984. – 336 с.
- Царенко П.М. Краткий определитель хлорококковых водорослей Украинской ССР. – Киев: Наукова думка, 1990. – 208 с.
- Штина Э.А., Голлербах М.М. Экология почвенных водорослей. – Москва: Наука, 1976. – 143 с.
- Aley T. Control of unwanted plant growth in electrically lighted caves // *Caves and Karst*. – 1972. – V. 14. – № 5. – P. 33-35.
- Aley T., Aley C., Rhodes R. Control of exotic plant growth in Carlsbad Caverns // *New Mexico. Proc. of the 1984 National Cave Management Symposium, Missouri Speleology*. – 1985 –V.25. – №4. – P. 159-171.
- Elliott W. A survey of ecologically disturbed areas in Carlsbad Cavern, New Mexico // *Report to Carlsbad Caverns National Park*. – 1997. – P.10.

Encyclopaedia Biospeologica. – Algae, Bucarest, 1994. – V. 1. – P. 371-380.

Grobbelaar J. U. Lithophytic algae: A major threat to the karst formation of show caves // *Journal of Applied Phycology*. – 2000. – V. 12. – P. 309 – 315.

Johnson K. Control of Lampenflora at Waitomo Caves // *New Zealand, Cave Management in Australia III, Proceedings of the 3rd Australasian Cave Tourism and Management Conference*. – 1979. – V. 3. – P. 105-122.

Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae: Naviculaceae // *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Jena: Gustav Fischer Verlag. – 1986. – Bd 2, 1. – P. 860.

Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae // *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. – Stuttgart-New York: Gustav Fischer Verlag. – 1988. – Bd 2, 2. – P. 596.

Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae // *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. – Stuttgart-Jena: Gustav Fischer Verlag. – 1991a. – Bd 2, 3. – P. 576.

Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae: Achnantheaceae, Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema Gesamtliteraturverzeichnis // *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. – Stuttgart- Jena: Gustav Fischer Verlag. – 1991. – Bd 2, 4. – P. 437.

Marathe K., Chaudhari P. An example of algae as pioneers in the lithosere and their role in rock corrosion // *Journal of Ecology*. – 1975. – V.63. – №1. – P. 65-69.

Olson R. Limiting Lamp Flora in Developed Passages Within Mammoth Cave Mammoth Cave National Park // *National Cave and Karst Management Symposium*. – 2001. – P. 146.

Smith T., Olson R. A Taxonomic Survey of Lamp Flora (Algae and Cyanobacteria) in Electrically Lit Passages within Mammoth Cave National Park, Kentucky // *International Journal of Speleology*. – 2007. – V.36. – №2. – P. 105-114.

Swift E. Cleaning diatoms frustules with ultraviolet radiation and peroxide // *Phycologia*. – 1967. – V. 6. – N 2–3. – P. 161–163.