

На правах рукописи

Мазина Светлана Евгеньевна

**СООБЩЕСТВА ФОТОТРОФНЫХ ОРГАНИЗМОВ В
ЭКСКУРСИОННЫХ ПЕЩЕРАХ ПРИ ИСКУССТВЕННОМ
ОСВЕЩЕНИИ**

Специальность 03.02.08 – экология (биология)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата биологических наук

Москва – 2010

Работа выполнена на кафедре Общей экологии Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова

Научный руководитель: доктор биологических наук,
профессор Максимов Виктор
Николаевич

Официальные оппоненты: доктор биологических наук,
Ильяш Людмила Васильевна

кандидат биологических наук
Микаэлян Александр Сергеевич

Ведущая организация: Институт экологии Волжского
бассейна РАН

Защита состоится 10 декабря 2010 года в 14 часов 00 мин на заседании Диссертационного совета Д.501.001.55 при Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова по адресу: 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, корп. 12, МГУ, Биологический факультет, кафедра гидробиологии, аудитория 389.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

Автореферат разослан «__9__» ноября 2010 года

Ученый секретарь Диссертационного Совета,
кандидат биологических наук



Н.В. Карташева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы

Известно, что в карстовых пещерах формируются уникальные системы, видовой состав и функционирование которых связаны как с особенностями абиотических факторов, определяющих развитие сообществ в подземных полостях, так и с потоками органического вещества с поверхности вглубь пещер или выходами подземных газов на поверхность Земли (Чижишев, 1975; Malloch, Khan, 1988).

В последние годы резко возросло влияние антропогенного фактора на карстовые полости, что связано как с общим загрязнением окружающей среды, так и с рекреационной деятельностью человека на поверхности карстовых массивов. Наибольшее воздействие на экосистемы карстовых полостей оказывает антропогенная нагрузка, связанная с эксплуатацией пещер, в том числе использованием подземных полостей для различных видов туризма (Мавлюдов и др., 1987; Northup et al., 1997; Elliott, 2000).

К развитию неспецифичных сообществ и изменению экосистемы пещер приводит также внесение большого количества органического вещества в изначально олиготрофные экосистемы. Кроме того, при оборудовании карстовых полостей в экскурсионных целях, как правило, устанавливаются мощные осветительные приборы. Постоянное освещение стимулирует развитие в пещерах фотосинтезирующих организмов и начало процессов первичной продукции органического вещества. Все это вызывает накопление массы органического вещества и увеличение количества гетеротрофных организмов (Johnson, 1979).

Спровоцированный искусственным освещением рост сообществ обрастаний способствует биоповреждению уникальных минеральных образований пещер. Развитие таких сообществ активно изучают в последние годы, но большинство этих исследований носит фрагментарный характер и посвящено альгофлоре или способам удаления фотосинтезирующих организмов (Абдуллин, 2007; Kubesova et al., 2000; Mulec, Kosi, 2009), есть данные о сообществах в экскурсионных пещерах Испании (Roldán, Hernández-Mariné, 2009). Мало внимания уделяется закономерностям развития подобных сообществ в пещерах.

Количество карстовых полостей, используемых в туристических целях, увеличивается с каждым годом. Разработка подходов и методов, направленных на поддержание экосистем пещер в естественном состоянии и оценка максимальной допустимой антропогенной нагрузки невозможны без понимания специфики и динамики взаимосвязанных изменений биотопов и сообществ пещер.

Цели и задачи диссертационной работы

Цель данной работы - определить видовое разнообразие, экологические особенности, закономерности распределения, сукцессии вторичных сообществ фотосинтезирующих организмов (сосудистые растения,

водоросли и цианобактерии), формирующихся в условиях искусственного освещения в ряде карстовых пещер Крыма и Кавказа. Кроме того, целью работы была разработка экологически безопасных методов восстановления пещерных экосистем, нарушенных в результате эксплуатации.

Для достижения этих целей в работе были поставлены следующие задачи:

1. Определить видовое разнообразие сообществ фотосинтезирующих организмов, развивающихся в условиях пещер при искусственном освещении.
2. Выявить закономерности распространения, структурные особенности и динамику развития сообществ фототрофов, их приуроченность к абиотическим факторам.
3. Разработать методы очистки породы и минеральных образований от фототрофов и методы реабилитации биоповреждений.

Научная новизна работы

Впервые изучена структура сообществ обрастаний фототрофных организмов, развивающихся в карстовых экскурсионных пещерах в условиях искусственного освещения.

Выявлены основные абиотические факторы, влияющие на биоразнообразие сообществ.

Проведен сравнительный анализ сообществ обрастаний экскурсионных пещер, расположенных в Крыму и на Кавказе.

На основе результатов проведенного исследования предложен новый подход к оборудованию осветительными приборами экскурсионных пещер.

Основные положения, выносимые на защиту

Видовой состав и структура сообществ фототрофных организмов в экскурсионных пещерах в условиях искусственного освещения определяются эдафическим фактором и обводненностью (влажностью).

Видовой состав и структура сообществ обрастаний на начальном этапе развития изменяются в направлении увеличения видового разнообразия, формирования полидоминантных сообществ с последующим снижением количества доминантных видов.

В сообществах фототрофов пещер, которые эксплуатируются более 7 лет, состав и структура сообществ постоянны и зависят от антропогенных воздействий.

Видовой состав и структура сообществ не проявляют межгодовой динамики, в сообществах фототрофов доминируют зеленые водоросли и цианобактерии, протонема мхов и заростки папоротников на глинистых субстратах. При увеличении времени освещения сообществ, повышается число видов мхов и папоротников. Протонема мхов и заростки папоротников являются основным источником увеличения видового разнообразия в сообществах.

Практическая значимость работы

Результаты исследования могут быть использованы для определения уровня максимально допустимой антропогенной нагрузки на экскурсионные пещеры и прогнозирования изменений экосистемы экскурсионных пещер.

Усовершенствованы методы удаления фототрофных организмов в пещерах, разработаны методы восстановления натечных образований пещер, подверженных биодegradации.

Разработанные в диссертации подходы и методы использованы для работ по очистке пещеры Новоафонская (Республика Абхазия) и пещеры Кизил-Коба (Крым). Данные в виде отчетов переданы в Экологическую службу Республики Абхазия, Сочинский национальный парк и руководству предприятия Оникс-Тур (Украина).

Апробация и внедрение результатов

Результаты и основные положения диссертации были доложены на: Международной конференции «Грибы и водоросли в биоценозах», посвященной 75-летию Биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова (Москва, 2006 г.); Международной научной конференции «Кинетика и механизм кристаллизации. Нанокристаллизация. Биокристаллизация», (Иваново, 2006 г.); VIII научном семинаре «Минералогия техногенеза-2007». Миасс: ИМин УрО РАН, 2007г.; VII Международной научно-практической конференции «Экология и безопасность жизнедеятельности», (Пенза, 2007 г.); IX научном семинаре «Минералогия техногенеза-2008». Миасс: ИМин УрО РАН. 2008 г.; Всероссийской школе-семинаре «Проблемы современной альгологии», (Уфа, 7-9 октября 2008 г.); VII Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы региональной экологии в условиях устойчивого развития» - (Киров, 1-2 декабря 2009 г.); Научно-практической конференции «Пещеры: охрана, история исследований, культура, туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего СССР (Красноярск 1-4 ноября 2008 г.); Заседаниях Московского центра Русского географического общества (май 2004, апрель 2006, сентябрь 2007); заседаниях кафедры Общей экологии Биологического факультета МГУ.

Публикации

По материалам диссертации опубликовано 13 работ, в том числе 3 статьи в журналах из перечня, рекомендованного ВАК Министерства образования и науки РФ.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, выводов и списка литературы из 308 источников, из которых 206 на иностранных языках, и приложения. Диссертация изложена на 193 страницах, включая 62 таблицы и 34 рисунка.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение

Во введении обоснована актуальность темы, определены цели и задачи, показаны научная новизна и практическая значимость работы.

1. Современное состояние проблемы изменения экосистем карстовых пещер, используемых в туристических целях

На основании данных литературы проанализированы основные характеристики биотопов карстовых пещер и особенности сообществ организмов, развивающихся в таких пещерах. Рассмотрены фотоавтотрофные сообщества экскурсионных пещер, проведен экологический анализ особенностей формирования сообществ в условиях искусственного освещения в подземных полостях. Проанализированы опубликованные в литературе данные по методам борьбы с сообществами обрастаний в экскурсионных пещерах и восстановления нарушенных при антропогенном воздействии подземных экосистем.

2. Объекты и методы исследования

2.1. Общая характеристика районов исследования

Исследование проведено в карстовых известняковых пещерах с разным уровнем антропогенной нагрузки, расположенных на Украине, в Абхазии и на территории Краснодарского края в России. Основные объекты исследования - оборудованные для экскурсионных целей пещеры Воронцовская и Ахштырская (Краснодарский край, Кавказ), пещера Мраморная (Крым, плато Чатыр-Даг), пещера Новоафонская (Абхазия). Пещеры Ахштырская (Большая Казачебродская) и Воронцовская заложены в известняках верхнего мела, пещера Мраморная заложена в верхнеюрских известняках, а Новоафонская заложена в нижнемеловых толстослоистых известняках.

2.2. Сравнительная характеристика биотопов пещер

Исследованные пещеры находятся в сходных климатических зонах и характеризуются близкими микроклиматическими параметрами, температура воздуха составляла от 8 до 16°C, влажность была близка к 100%. Сравнение микроклиматических параметров экскурсионных пещер проводилось с необорудованными для экскурсионных целей, но посещаемыми туристами пещерами (участками пещер).

2.3. Объем исходных данных, методы исследования

Всего в различные сезоны с 2001 по 2008 год было отобрано 1339 проб фотосинтезирующих организмов и дополнительные образцы воды, воздуха и субстратов. В работе использовали геоботанические описания освещенных участков, для чего отбирали образцы с каждого субстрата освещенного пятна, вырезая узкий сектор от лампы до границы участка обрастания, а также фиксировали размеры участков обрастаний.

Выявление видового состава мхов и водорослей в пробах грунта проводили анатомо-морфологическим методом и общепринятыми в почвенной альгологии методами (Голлербах, Штина, 1969; Штина, Голлербах, 1976; Громов, 1965). Также применяли методы световой и электронной микроскопии.

Водоросли определяли с использованием определителей отечественных и зарубежных авторов (Забелина и др., 1951; Голлербах и др., 1953; Дедусенко-Щеголева, Голлербах, 1962; Кондратьева, 1968; Матвиенко, Догадина, 1978; Ettl, Fischer, 1983; Топачевский, Масюк, 1984; Мошкова и др., 1986; Krammer, Lange-Bertalot, 1986, 1988, 1991; Андреева, 1998; Komárek, Fott, 1983; Царенко, 1990). Мхи определяли с использованием определителей (Савич, Ладыженская, 1936; Игнатов, Игнатова, 2003). Папоротники и покрытосемянные растения определяли по определителям (Маевский, 2006; Зернов, 2006).

Названия видов сосудистых растений приведены по сводке Черепанова (1995), мхов - по Игнатову, Афониной (1992). Систематика цианобактерий приведена по Анагностидис, Комарек (1986; 1988; 1989). Систематика диатомовых водорослей представлена по Раунду с соавторами (1990). Систематика желто-зеленых водорослей приведена согласно Матвиенко и Догадина (1978). Зеленые водоросли представлены по системе, приведенной в «Водоросли» (Водоросли..., 1989). Жизненные формы цианобактерий и водорослей рассмотрены согласно подходу, применяемому к классификации почвенных водорослей (Штина, Голлербах, 1976; Штина и др., 1981; Алексахина, Штина, 1984). Для выделения доминантных видов использованы данные по встречаемости и относительному обилию видов (обилие макроскопических видов оценивали по степени проективного покрытия, обилие микроскопических видов с помощью микроскопа по 5-ти бальной шкале) согласно (Макфедьен, 1965; Константинов, 1979).

Сравнительный флористический анализ сообществ проводили с применением коэффициентов сходства Серенсена-Чекановского и Жаккара (Шмидт, 1980). Классификацию сообществ осуществляли в соответствии с подходом, описанным в статье (Смирнов и др., 1986). При этом для оценки сходства видового состава использовали индекс Жаккара, вычисленный на основе встречаемости видов (Шмидт, 1980). Для оценки сходства видовой структуры применяли коэффициент фи-квадрат, вычисленный на основе обилия видов (Бююль, Цефель, 2005). Для полученных кластеров и для всего массива данных вычисляли «характерные комбинации видов» (Василевич, 1969) – средние значения встречаемости и обилия каждого вида. Рассчитывали индексы сходства проб из всех подмассивов с каждой из характерных комбинаций. Для дальнейшего анализа использовали значения индексов для характерной комбинации видов по каждой группе субстратов, строили диаграммы рассеяния по данным двух индексов сходства для каждого кластера и для всего массива данных.

Микроклиматические параметры полостей, и физико-химические показатели субстратов определены по стандартным методикам.

3. Результаты и обсуждение

3.1. Характеристика фотосинтезирующих организмов экскурсионных пещер развивающихся в условиях искусственного освещения

3.1.1. Таксономическая структура фотосинтезирующих организмов сообществ обрастаний экскурсионных пещер

В пещере Новоафонская обнаружено 69 видов фотосинтезирующих организмов, из них 2 вида *Magnoliophyta*, 6 видов *Polypodiophyta*, 11 видов *Bryophyta*, 34 вида *Cyanoprokaryota*, 9 видов *Bacillariophyta*, 2 вида *Xanthophyta*, 5 видов *Chlorophyta*. В пещере Мраморная обнаружен 51 вид фотосинтезирующих организмов, из которых 1 вид *Polypodiophyta* представлен, 8 видов *Bryophyta*, 26 видов *Cyanoprokaryota*, 9 видов *Bacillariophyta*, 1 вид *Xanthophyta*, 6 видов *Chlorophyta*. В Ахштырской пещере выявлено 38 видов фотосинтезирующих организмов, из них 5 видов *Polypodiophyta*; 11 видов *Bryophyta*; 14 видов *Cyanoprokaryota*, 4 вида *Bacillariophyta* и 4 вида *Chlorophyta*. В пещере Воронцовская выявлено 73 вида фототрофных организмов, из которых 2 вида *Polypodiophyta*, 21 вид *Bryophyta*, 36 видов *Cyanoprokaryota*, 2 вида *Bacillariophyta*, 2 вида *Xanthophyta*, 10 видов *Chlorophyta*.

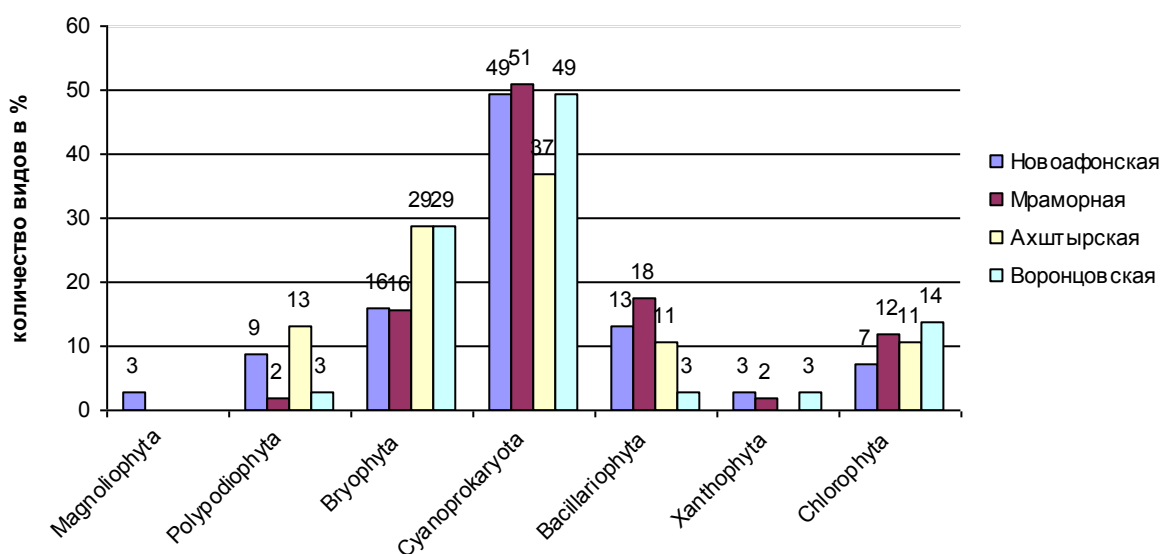


Рисунок 1. Сравнение таксономического состава фотосинтезирующих организмов исследованных пещер

Сравнение систематического состава фотосинтезирующих организмов экскурсионных пещер (рис. 1) показало, что во всех полостях по числу видов преобладают представители *Cyanoprokaryota*, наибольшее число семейств этого отдела обнаружено во всех пещерах. Отмечено сходство распределения ведущих семейств по числу видов в пещерах. В Новоафонской наибольшее число видов имеют семейства - *Phormidiaceae*, *Microcystaceae*, *Nostocaceae*; в Мраморной - *Microcystaceae*, *Pseudanabaenaceae*, *Nostocaceae*; в Ахштырской - *Microcystaceae*, *Pseudanabaenaceae*, *Nostocaceae*; а в Воронцовской -

Nostocaceae, *Microcystaceae*, *Phormidiaceae*, *Pseudanabaenaceae*. Видовое разнообразие отделов *Magnoliophyta*, *Polypodiophyta* и *Bryophyta* в пещерах связано с наличием глинистых субстратов, а также зависит от антропогенного воздействия и интенсивности внесения растительных зачатков в пещеру.

Во флоре водорослей пещер значительную долю составляли маловидовые семейства, что служит признаком неблагоприятности местообитаний (Гецен, 1985). Во всех пещерах низкие значения количества видов, приходящихся в среднем на один род, что является показателем иммиграции видов фотосинтезирующих организмов из сопредельных пространств.

3.1.2. Жизненные формы водорослей сообществ обрастаний экскурсионных пещер

Анализ количественных показателей относительного обилия жизненных форм водорослей в пещерах (рис. 2) показал, что наибольшее число видов в пещерах принадлежало Р-форме - это виды ксерофиты, характерные для почвенных местообитаний. Относительное обилие данной жизненной формы имело средние значения, сходные во всех пещерах. Близки к данной форме азотфиксирующие цианобактерии РF-формы, которые представлены во всех пещерах. В пещере Ахштырская такие водоросли имели второй по величине показатель относительного обилия.

Во всех пещерах высокое обилие требовательных к воде представителей С- и СF-форм. В пещере Воронцовская представители С-формы доминировали по показателю относительного обилия.

Далее по числу видов шли виды Сh-формы, которые отличаются высокой выносливостью и часто встречаются среди первопоселенцев (Алексахина, Штина, 1984). Несмотря на небольшое число видов, именно эта форма имела наибольшее значение относительного обилия во всех пещерах, кроме Воронцовской, где значение относительного обилия у Сh-формы находилось на втором месте после С-формы.

В пещерах Мраморная и Новоафонская число видов В-формы представителей *Vacillariophyta* было наибольшим. Диатомовые являются типичными обитателями почв, но их обилие в пещерах в сообществах, развивающихся в условиях искусственного освещения, невысоко.

Низкое количество представителей Х- Н- и М-формы скорее всего объясняется особенностями температурного режима полостей, а низкое число hydr- и amph-форм отсутствием оптимальных местообитаний. Только в Ахштырской пещере был на среднем уровне показатель относительного обилия hydr- формы, что можно объяснить большим количеством капельной влаги и наличием в пещере глинистых субстратов, которые впитывают и удерживают влагу, создавая оптимальные условия для развития данной жизненной формы.

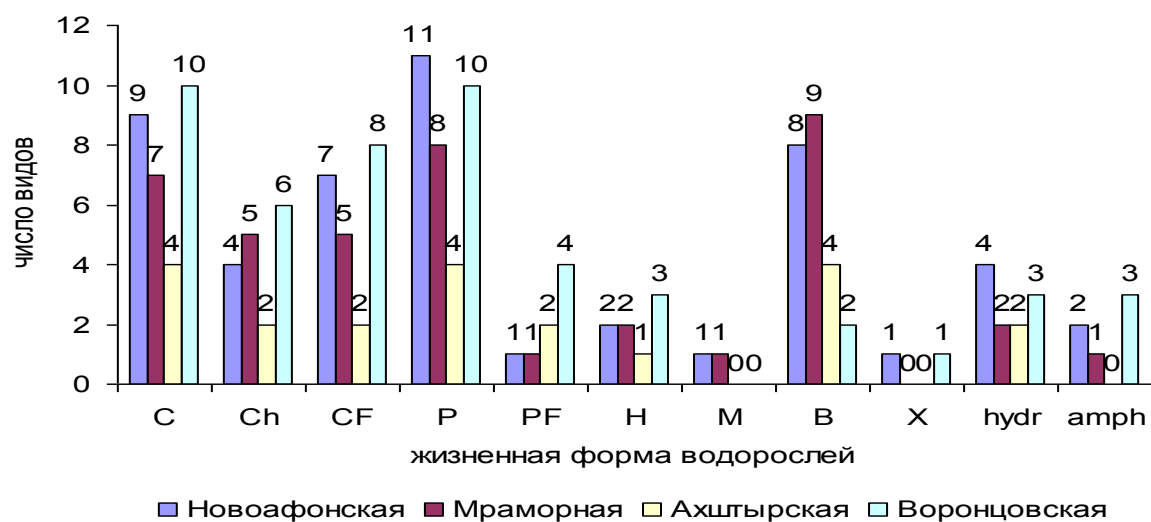
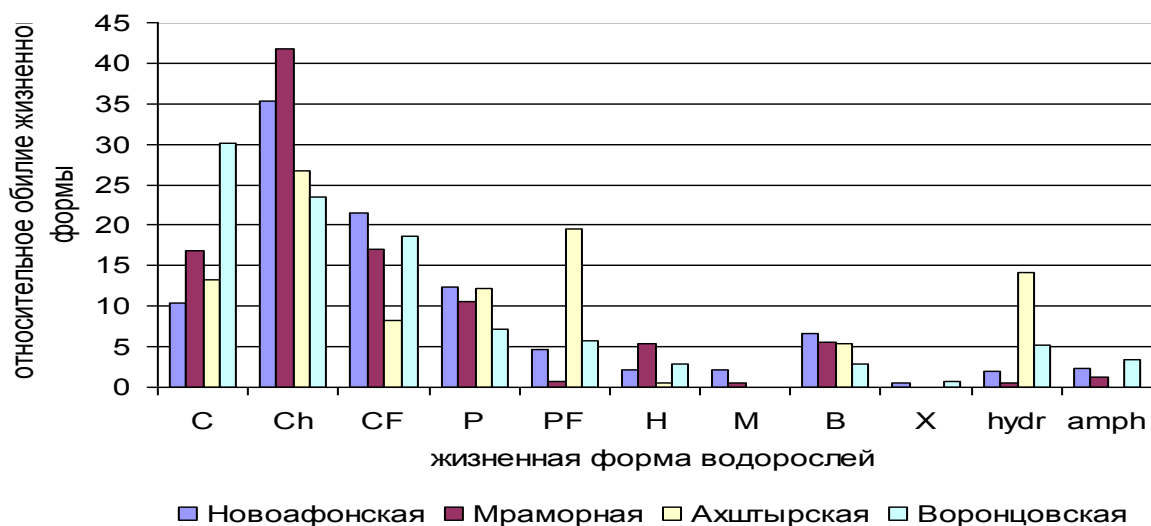


Рисунок 2. Относительное обилие и число видов жизненных форм водорослей в пещерах

Таким образом, в пещерах при искусственном освещении можно отметить преобладание жизненных форм, характерных для начального этапа развития сообществ на скальных породах в поверхностных экосистемах. В отличие от поверхностных сообществ, в условиях высокой влажности пещер не отмечено доминирование ксерофитных форм.

3.1.3. Доминирующие виды фотосинтезирующих организмов сообществ обрастаний экскурсионных пещер

Виды с высокой встречаемостью и обилием сходны во всех изученных пещерах (табл. 1). Отсутствие протонемы среди доминантных видов в пещере Ахштырская можно объяснить тем, что среди освещенных субстратов было большое число участков глинистых отложений, которые оптимальны для развития мхов. Следовательно, происходило развитие протонемы в спорофит. Во всех пещерах к доминантам относилась зеленая водоросль *Mychonastes homosphaera*. Несмотря на то, что количество и

разнообразие таксонов цианобактерий в пещерах выше, чаще доминировали зеленые водоросли. Среди доминантных видов преобладала Ch-форма водорослей.

Таблица 1.

Комплекс доминирующих видов пещер

Вид	Встречаемость, %	Относительное обилие, %	Жизненная форма водорослей
Новоафонская			
Протонема мхов	97,4	11,14	-
<i>Chlorella vulgaris</i>	88,7	10,37	Ch
<i>Mychonastes homosphaera</i>	84,3	6,63	Ch
<i>Fissidens gracilifolius</i>	67,8	7,64	-
<i>Nostoc microscopicum</i>	55,7	5,16	CF
Заростки папоротников	53,9	4,14	-
Мраморная			
Протонема мхов	86,21	19,33	-
<i>Mychonastes homosphaera</i>	82,76	22,69	Ch
<i>Nostoc punctiforme</i>	51,72	8,85	CF
<i>Chlorella vulgaris</i>	45,98	6,47	Ch
Ахштырская			
<i>Mychonastes homosphaera</i>	85,71	16,83	Ch
<i>Scytonema drilosiphon</i>	60,71	12,43	PF
<i>Oscillatoria limnetica</i>	57,14	5,74	hydr
Воронцовская			
Протонема мхов	73,96	9,45	-
<i>Mychonastes homosphaera</i>	60,42	7,47	Ch
<i>Platydictia jungermanioides</i>	51,56	6,59	-
<i>Gloeocapsopsis magma</i>	59,90	6,22	C
<i>Fissidens gracilifolius</i>	44,27	5,57	-
<i>Chlorococcum minutum</i>	55,21	5,42	Ch

3.2. Влияние абиотических факторов на распределение видов в сообществах обрастаний экскурсионных пещер

3.2.1. Местообитания фотосинтезирующих организмов пещер

В пещере распределение фототрофных видов определяется наличием освещения. Поскольку участки искусственного освещения расположены дискретно и видовой состав на них различается в условиях сходной освещенности, возникает необходимость проанализировать, какие факторы влияют на распределение видов в сообществах обрастания. При сходной влажности воздуха, близкой к максимальной влажности субстратов, сходным химическим параметрам субстратов, достаточно стабильной температуре, сниженном влиянии сезонных факторов, предполагается, что определяющим должен быть эдафический фактор и обводненность.

По геолого-морфологическим признакам в изученных пещерах выделены основные местообитания.

Выделено четыре типа местообитаний на глинистых отложениях.

1. *Сильно увлажненные обширные глинистые отложения по паводковым потокам;* 2. *Локальные глинистые отложения небольшого объема, расположенные на известняке (смесь глины и известняка) без доступа свободно текущей воды;* 3. *Локальные глинистые отложения на известняке, толщиной до 1 см;* 4. *Глинистые отложения на кальците.*

В пещерах обнаружено пять типов местообитаний на известняке.

1. *Плотный известняк, увлажняемый конденсационной влагой без водных потоков* - это уступы, стены, известняковые глыбы; 2. *Плотный известняк, увлажняемый паводковыми потоками или фильтрационными водами* - массивы известняка по которым протекают временные водотоки пещеры различного происхождения; 3. *Плотный известняк с тонким (до 3 мм) слоем глинистых отложений;* 4. *Плотный известняк с тонкими трещинами, заполненными глинистыми отложениями;* 5. *Рыхлый известняк, увлажняемый конденсационной влагой.* Такой тип известняка характерен для участков пещеры, где отсутствуют водные потоки или ниш в верхних частях галерей и залов с замедленным током воздуха, стен и потолка полости.

В исследованных пещерах кальцитовые натечные образования располагались на участках протекания постоянных или временных водотоков. Отмечены следующие местообитания:

1. *Кальцитовые отложения периодически увлажняемые паводковыми водами,* представлены натечными корами, сталактитами, сталагмитами, гуровыми ванночками. В периоды паводков в местах отложения кальцита проходят водные потоки, в том числе с большим количеством взвеси; 2. *Трещины на поверхности натечных кор, заполненные глинистыми отложениями;* 3. *Струйчатые потоки, протекающие по поверхности кальцитовых отложений;* 4. *Гуровые ванночки со слабым течением, постоянно заполненные водой.*

Лунное молоко - вторичное минеральное образование, состоящее из микрокристаллических агрегатов (Дублянский, Андрейчук; 1991),

представлено карбонатной формой, глубина слоя отложения в пещерах достигала 20 мм.

3.2.2. Характеристика сообществ обрастаний, развивающихся на различных субстратах экскурсионных пещер

На основании флористического анализа распределения фототрофных видов и экологических форм водорослей по различным местообитаниям выделены сообщества *лунного молока*, и обводненных местообитаний – *струйчатых потоков, протекающих по поверхности кальцитовых отложений* и *гуровых ванночек со слабым течением, постоянно заполненных водой*. То есть сообщества местообитаний, резко отличающихся по абиотическим признакам. Показано сходство однотипных субстратов в Новоафонской пещере. По всем пещерам наблюдается тенденция выделения в самостоятельное местообитание тонких глинистых отложений на известняке и кальците.

3.2.3. Анализ видовой структуры и видового состава сообществ обрастаний экскурсионных пещер статистическими методами

Проведена оценка сходства видового состава с использованием индексов Жаккара и фи-квадрат. За эталон сходства, установленного по параллельным пробам (Максимов, 1984) для индекса Жаккара принимали значения от 0,4 до 1,0, а величины фи-квадрат - от 0 до 0,6.

Таблица 2.

Сходство пещер, вычисленное на основе количества проб, сходных по индексу фи-квадрат и индексу Жаккара (сходство по индексу Жаккара обозначено курсивом)

%	Ахштырская	Воронцовская	Новоафонская	Мраморная
Ахштырская	100	5	25	9
Воронцовская	13	100	46	15
Новоафонская	39	43	100	18
Мраморная	49	54	24	100

Таким образом, показано, что сходство между пещерами низкое (табл. 2).

Сходство выделенных кластеров внутри пещер проверялось построением диаграмм рассеяния. Проведенный анализ показал, что по видовому составу и видовой структуре в пещере Новоафонская объединяются местообитания на глинистых отложениях, местообитания на различных типах известняка, выделяются группы кластеров с кальцита. Объединяются местообитания с тонкого слоя глинистых отложений вне зависимости от его расположения на кальците или известняке.

В пещере Мраморная выделены сообщества местообитаний тонких глинистых отложений на известняке и кальците. Большинство остальных местообитаний имели высокое сходство, что можно объяснить проводимыми уборками, когда обрастания удалялись щетками и замывались раствором

формалина. Подобные действия могли стать причиной перераспределения видов и нивелирования различий видового состава на разных субстратах.

В пещере Ахштырская пробы образуют группы местообитаний известняка и кальцита; а также группу местообитаний на глинистых субстратах и занимающую промежуточное положение группу на плотном известняке с тонким слоем глинистых отложений, которые более близки к группе местообитаний с кальцита и известняка.

В пещере Воронцовская выделены группы проб с известняка, глинистых отложений (включая пробу с тонких глинистых отложений на кальците), тонких глинистых отложений на известняке и с кальцитовых отложений. Группа проб с тонких глинистых отложений занимает промежуточное положение между пробами с глинистых отложений и группы проб известняка и кальцитовых отложений, а последние две группы проб очень близки.

На основании построения ранговых распределений во всех пещерах выявлены доминирующие виды в каждом из выделенных сообществ.

На известняковых субстратах в сообществах доминируют одноклеточные зеленые водоросли *Mychonastes homosphaera* или *Chlorella vulgaris* в сочетании с одноклеточными цианобактериями или зелеными водорослями и видами рода *Nostoc*. На глинистых субстратах доминируют мхи и папоротники, иногда в сочетании с одноклеточными зелеными водорослями. На кальците доминируют цианобактерии (в случае Мраморной вместе с одноклеточными зелеными водорослями), в трещинах кальцита и на глинистых отложениях в доминантном комплексе появляются папоротникообразные. Тонкие глинистые отложения характеризуются доминированием цианобактерий (часто инкрустированных известью), в сочетании с папоротникообразными, диатомовыми и зелеными одноклеточными водорослями. Сообщества этих местообитаний в минорном комплексе видов включают диатомовых (табл. 3)

Таблица 3

Доминантные виды сообществ пещер

Воронцовская	Воронцовская	Воронцовская	Ахштырская
И	И	И	И
<i>Mychonastes homosphaera</i>	<i>Mychonastes homosphaera</i>	<i>Mychonastes homosphaera</i>	<i>Mychonastes homosphaera</i>
<i>Platydictya jungermannioides</i>	<i>Chlorococcum minutum</i>	<i>Gloeotheca rupestris</i>	<i>Gloeocapsa rupestris</i>
<i>Nostoc punctiforme</i>	<i>Gloeocapsa rupestris</i>	-	<i>Chlorococcum minutum</i>

Таблица 3, продолжение

Мраморная	Мраморная	Мраморная	Ахштырская
И-К-Г-И	К	ГК	И-ГИ
<i>Mychonastes homosphaera</i>	<i>Mychonastes homosphaera</i>	<i>Mychonastes homosphaera</i>	<i>Mychonastes homosphaera</i>
заростки папоротников	заростки папоротников	<i>Nostoc punctiforme</i>	протонема мхов
-	<i>Nostoc punctiforme</i>	заростки папоротников	<i>Nostoc microscopicum</i>
-	<i>Chlorella vulgaris</i>	-	-

Таблица 3, продолжение

Новоафонская	Новоафонская	Воронцовская	Мраморная
1И	ГИ-2И-4И-К	К	ГИ-К-ГК
<i>Chlorella vulgaris</i>	<i>Chlorella vulgaris</i>	<i>Gloeocapsopsis magma</i>	<i>Nostoc punctiforme</i>
протонема мхов	протонема мхов	<i>Nostoc punctiforme</i>	заростки папоротников
<i>Fissidens gracilifolius</i>	-	-	-
<i>Mychonastes homosphaera</i>	-	-	-

Таблица 3, продолжение

Воронцовская	Ахштырская	Новоафонская	Воронцовская
Г-ГИ	Г-ГИ	1Г	Г-ГИ
<i>Gloeotheca rupestris</i>	<i>Phyllitis scolopendrium</i>	<i>Phyllitis scolopendrium</i>	<i>Isopterygiopsis pulchella</i>
<i>Trichormus variabilis</i>	<i>Scytonema drilosiphon</i>	<i>Fissidens gracilifolius</i>	<i>Platydictya jungermanniioides</i>
-	<i>Mychonastes homosphaera</i>	протонема мхов	<i>Trichormus variabilis</i>
-	<i>Asplenium trichomanes</i>	<i>Marchantia polymorpha</i>	протонема
	-	<i>Fissidens gracilifolius</i>	<i>Fissidens taxifolium</i>

Таблица 3, продолжение

Воронцовская	Новоафонская	Новоафонская	Новоафонская
ГИ-ГК	1Г	ГИ	2Г-3Г-ГК
<i>Fissidens gracilifolius</i>	протонема мхов	протонема мхов	протонема мхов
<i>Platydictya jungermanniioides</i>	<i>Mychonastes homosphaera</i>	<i>Fissidens gracilifolius</i>	<i>Fissidens gracilifolius</i>
<i>Leucodon sciuroides</i>	<i>Fissidens gracilifolius</i>	<i>Chlorella vulgaris</i>	-
<i>Sciurohypnum oedipodium</i>	<i>Tortula protobryoides</i>	<i>Fissidens bryoides</i>	-
-	заростки папоротников	-	-

Таблица 3, продолжение

Новоафонская	Ахштырская	Новоафонская	Воронцовская
КТР	ГИ-К-И-Г	К-КТР	ГК
протонема мхов	<i>Scytonema drilosiphon</i>	<i>Scytonema drilosiphon</i>	<i>Tolypothrix calcarata</i>
<i>Phyllitis scolopendrium</i>	<i>Mychonastes homosphaera</i>	<i>Nostoc paludosum</i>	протонема
-	<i>Oscillatoria limnetica</i>	<i>Nostoc microscopicum</i>	<i>Diadesmis contenta</i>
-	-	-	<i>Navicula mutica</i>

Условные обозначения: 1Г - Сильно увлажненные обширные глинистые отложения по пути паводковых потоков; 2Г - Локальные глинистые отложения небольшого объема, расположенные на известняке без доступа свободно текущей воды; 3Г - Локальные глинистые отложения на известняке, толщиной до 1 см; ГК - Глинистые отложения на кальците; 1И - Плотный известняк, увлажняемый конденсационной влагой без водных потоков; 2И - Плотный известняк, увлажняемый паводковыми потоками или фильтрационными водами; ГИ - Плотный известняк с тонким (до 3мм) слоем глинистых отложений; 4И - Рыхлый известняк, увлажняемый конденсационной влагой; К - Кальцитовые отложения, периодически увлажняемые паводковыми водами; КТР - Трещины на поверхности натечных кор, заполненные глинистыми отложениями

3.4. Динамика развития сообществ обрастаний пещеры Воронцовская

Динамику образования и развития сообществ обрастаний изучали на примере пещеры Воронцовская, которая была оборудована в 2000 году. Первые участки зарастаний отмечены в 2001 году. Экскурсионный маршрут проходит между двумя входами в пещеру, условно маршрут можно разделить на три зоны. Две зоны привходовые, где интенсивно воздействовали поверхностные факторы (сезонные перепады температуры и влажности, движение воздуха) и средняя зона – участок, где поверхностные воздействия меньше. Это разделение вызвано искусственно созданными стенками, которые препятствовали прохождению сквозных воздушных потоков, в результате чего в пещере в средней зоне поднималась температура и влажность, отсутствовал интенсивный ток воздуха, что способствовало развитию фототрофных организмов. Примерно такие же условия возникали возле ламп, расположенных в нишах (рис.3). В начале периода освещения практически все лампы освещали известняк.

На участках привходовых зон в сообществах обрастаний преобладали одноклеточные зеленые водоросли и колониальные цианобактерии, тогда как на других участках присутствовали мохообразные и папоротники.

Изменение таксономического состава видов пещеры Воронцовская за период исследования показано в таблице 4. Также как и в других пещерах, на протяжении большей части периода эксплуатации в пещере по числу видов преобладали цианобактерии, только на начальном этапе развития сообществ обрастаний число видов зеленых водорослей было выше.

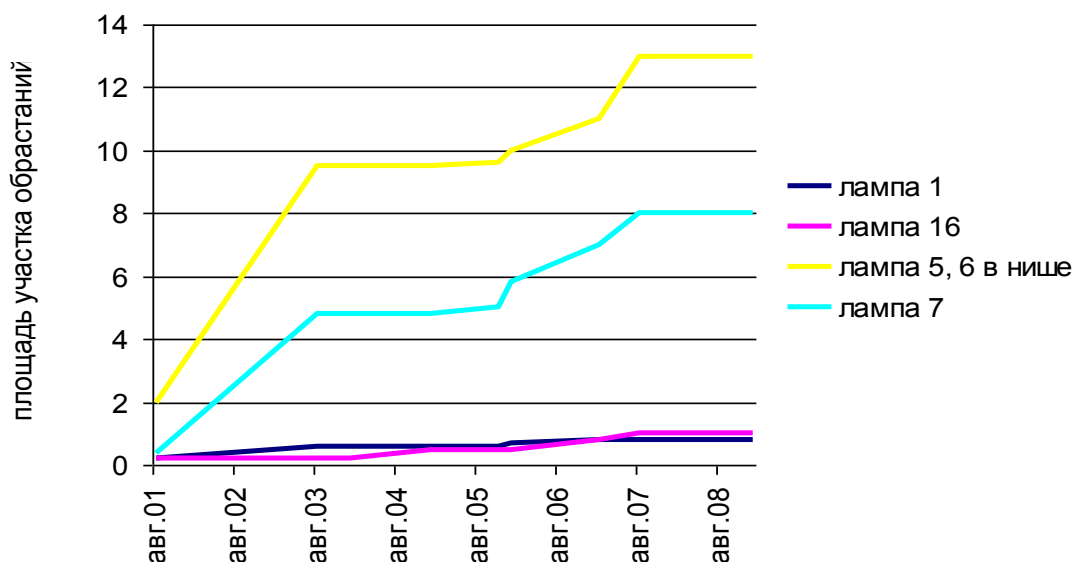


Рисунок 3. Характерные графики увеличения площади сообществ обрастаний на известняке в пещере Воронцовская (лампы 1, 16 расположены в привходовых зонах, а лампа 7 в средней части пещеры)

В августе 2001 года на известняке по показателям встречаемости и относительного обилия доминировали зеленые водоросли *Mychonastes homosphaera*, *Chlorella vulgaris* и *Chlorococcum minutum*, а также цианобактерии *Gloeocapsopsis magma* и *Microcystis pulverea*. Два местообитания были представлены единичными участками. На плотном известняке с тонким слоем глинистых отложений отмечены виды *Gloeocapsopsis magma*, *Gloeocapsa rupestris* и *Chlorella vulgaris*. На кальците присутствовали виды *Gloeocapsopsis magma* и *Microcystis pulverea*, все виды имели низкое обилие. За год видовой состав сообществ стабилизировался и в период с 2003 по февраль 2007 года был постоянен. Изменения произошли летом 2007 года, когда повысилась эксплуатационная нагрузка на пещеру, а соответственно и интенсивность освещения (табл. 4, 5).

Таблица 4.

Изменение таксономического состава пещеры Воронцовская

Таксон\Дата	08 2001	08 2003	01 2004	01 2005	11 2005	01 2006	02 2007	08 2007	01 2008	01 2009
<i>Polypodiophyta</i>	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>Bryophyta</i>	0	8	8	8	8	8	8	21	21	21
<i>Суанопрокариота</i>	4	18	18	18	18	17	18	36	36	36
<i>Bacillariophyta</i>	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2
<i>Xanthophyta</i>	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>Chlorophyta</i>	5	8	8	8	8	7	8	10	10	10
Число видов	9	38	38	38	38	36	38	73	73	73

Таблица 5.

Распределение числа видов по субстратам в пещере Воронцовская (жирным шрифтом указано число видов 08.2001 года, обычным шрифтом в период с 2003 до 02.2007 года, число видов в период с 02.2007 до 2008 года указано курсивом)

Отдел/ число видов	Известняк	Глинистые отложения	Кальцитовые отложения	Тонкий слой глинистых отложений на известняке	Тонкий слой глинистых отложений на кальците
<i>Polypodiophyta</i>	0 0 (0)	0 2 (2)	0 1 (0)	0 0 (2)	0 0 (2)
<i>Bryophyta</i>	0 2 (7)	0 8 (15)	0 1 (1)	0 7 (20)	0 3 (9)
<i>Cyanoprokaryota</i>	4 16 (23)	3 7 (21)	2 8 (24)	2 7 (22)	0 6 (12)
<i>Bacillariophyta</i>	0 0 (0)	0 0 (2)	0 0 (2)	0 0 (0)	0 0 (2)
<i>Xanthophyta</i>	0 2 (2)	0 0 (0)	0 1 (1)	0 0 (1)	0 0 (0)
<i>Chlorophyta</i>	5 8 (10)	0 24 (5)	0 2 (5)	1 3 (4)	0 0 (0)
число видов	9 28 (42)	5 21 (45)	2 12 (34)	3 17 (49)	0 9 (25)

Увеличение числа видов происходило за счет мохообразных, и цианобактерий. На участках, где было много протонемы, увеличилось количество мхов. Скорее всего, увеличение интенсивности освещения привело к развитию мхов из протонемы. Изменился состав доминирующих видов, наблюдалась тенденция к уменьшению числа доминантных видов, в двух местообитаниях произошла замена видов одного рода - вместо мха *Fissidens taxifolius* стал доминировать мох *Fissidens gracilifolius* (табл. 7).

На начальном этапе зарастания в пещере были отмечены только водоросли и цианобактерии С- и Сh-форм, С-форма доминировала на всех субстратах, кроме известняка, где доминировала Сh-форма. Данные жизненные формы характерны для начальных этапов зарастания в поверхностных экосистемах. Сh-формы способны длительно удерживать влагу, что актуально на высыхающих субстратах таких, как плотный известняк. На субстратах с глинистыми частицами, способствующими удержанию влаги и на кальците, практически постоянно увлажняемом водой вне зависимости от сезона, преобладала более влаголюбивая С-форма.

Анализ жизненных форм в период с 2003 до 02.2007 года (табл. 6) показал, что СF-форма преобладала на кальцитовых отложениях и тонком слое глинистых отложений на известняке, данная форма имела равное относительное обилие с С-формой на тонком слое глинистых отложений на кальците. С-форма доминировала на глинистых отложениях, а Сh-форма на известняке. В-форма в пещере отсутствовала.

Таблица 6.

Показатели относительного обилия и количества видов водорослей пещеры
Воронцовская

Жизненные формы	Дата	Относительное обилие жизненной формы, % / число видов жизненной формы									
		Известняк		Глинистые отложения		Кальцитовые отложения		Плотный известняк с тонким слоем глинистых отложений		Глинистые отложения на кальците	
С	2001	46,7	5	90,9	4	100	2	75	2	0	0
	2003-02.2007	34,7	8	57	5	24,3	3	27,8	3	37,5	2
	08.2007-2008	31,7	8	25,6	6	36,6	8	28,7	6	12,5	3
CF	2001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2003-02.2007	12,1	4	23,6	2	41,9	3	40,7	2	37,5	2
	08.2007-2008	13,8	5	31,7	7	12,9	5	32,2	7	20,8	2
Ch	2001	53,3	4	9,1	1	0	0	25	1	0	0
	2003-02.2007	39,1	5	2,3	1	4,1	1	16,7	3	0	0
	08.2007-2008	35,9	5	8,5	2	10,9	4	16,1	3	0	0
P	2001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2003-02.2007	1,9	2	2,3	1	0	2	9,3	1	12,5	1
	08.2007-2008	4,5	5	8,5	4	13,9	5	5,8	4	16,7	3
PF	2001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2003-02.2007	1,3	2	5,4	1	10,8	2	5,6	1	12,5	1
	08.2007-2008	4,5	3	9,8	3	6,9	3	3,5	3	12,5	2
H	2001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2003-02.2007	2,7	2	0	0	8,1	1	0	0	0	0
	08.2007-2008	3,5	3	2,4	1	3	2	2,3	1	0	0
X	2001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2003-02.2007	4,1	1	2,3	0	0	0	0	0	0	0
	08.2007-2008	1,3	1	0	0	0	0	0	0	0	0
B	2001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2003-02.2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	08.2007-2008	0	0	7,3	2	5,9	2	0	0	20,8	2
amph	2001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2003-02.2007	2,2	1	7	1	10,8	1	0	0	0	0
	08.2007-2008	1,9	2	3,7	2	1	1	8,1	2	16,7	2
hydr	2001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2003-02.2007	1,9	1	0	1	0	0	0	0	0	0
	08.2007-2008	5,8	3	2,4	1	8,9	2	3,5	1	0	0

При увеличении времени освещения пещеры происходило увеличение числа жизненных форм водорослей в пещере на всех субстратах. По сравнению с предыдущим периодом исследования, отмечено появление В-формы, на глинистых и кальцитовых отложениях, Р-формы на кальцитовых отложениях, причем эта форма сразу показала достаточно высокое относительное обилие. Появились представители amph- и hydr-форм практически на всех субстратах и представители H-формы на глинистых отложениях и глинистых отложениях на известняке. При этом отсутствовали представители X-формы на глинистых отложениях. Значительно снизилось

относительное обилие С-формы на глинистых отложениях и глинистых отложениях на кальците, а также CF-формы на кальцитовых отложениях.

Таблица 7.

Комплекс доминирующих видов пещеры Воронцовская

Субстрат	02.2001	2003-02.2007	08.2007-2008
Глинистые отложения	<i>Gloeocapsopsis magma</i>	Протонема мхов	<i>Platydictya jungermannioides</i>
	<i>Microcystis pulverea</i>	<i>Trichormus variabilis</i>	Протонема мхов
		<i>Gloeocapsopsis magma</i>	<i>Trichormus variabilis</i>
		<i>Platydictya jungermannioides</i> , <i>Gloeotheca rupestris</i>	
		<i>Microcystis pulverea</i>	
Глинистые отложения на кальците	-	<i>Fissidens taxifolius</i>	<i>Fissidens gracilifolius</i>
		протонема мхов	
		<i>Trichormus variabilis</i>	
		<i>Gloeocapsopsis magma</i>	
		<i>Sciurohypnum oedipodium</i> <i>Riccia glauca</i>	
Известняк	<i>Mychonastes homosphaera</i>	<i>Mychonastes homosphaera</i>	<i>Platydictya jungermannioides</i>
	<i>Chlorella vulgaris</i>	<i>Chlorococcum minutum</i>	<i>Gloeocapsopsis magma</i>
	<i>Gloeocapsopsis magma</i>	<i>Chlorella vulgaris</i> ,	<i>Chlorococcum minutum</i>
	<i>Chlorococcum minutum</i>	протонема мхов	<i>Mychonastes homosphaera</i>
		<i>Platydictya jungermannioides</i>	
		<i>Aphanocapsa muscicola</i>	
		<i>Microcystis pulverea</i> <i>Gloeocapsopsis magma</i>	
Плотный известняк с тонким слоем глинистых отложений	<i>Gloeocapsopsis magma</i>	Протонема мхов	Протонема мхов
	<i>Gloeocapsa rupestris</i>	<i>Trichormus variabilis</i>	<i>Trichormus variabilis</i>
	<i>Chlorella vulgaris</i>	<i>Platydictya jungermannioides</i>	<i>Fissidens gracilifolius</i>
		<i>Fissidens taxifolius</i>	<i>Platydictya jungermannioides</i>
		<i>Gloeocapsopsis magma</i>	
Кальцитовые отложения	<i>Gloeocapsopsis magma</i>	<i>Nostoc punctiforme</i>	<i>Nostoc punctiforme</i>
	<i>Microcystis pulverea</i>	Протонема мхов	<i>Gloeocapsopsis magma</i>

Из всех изученных пещер только в Воронцовской на тонких глинистых отложениях на известняке не были обнаружены представители *Bacillariophyta*. Возможно, что в данном случае отсутствие диатомовых на этом типе субстрата можно объяснить удаленностью путей заноса, по которым водоросли попадают в пещеру, от освещаемых участков, где они могли успешно развиваться.

До февраля 2007 года на всех субстратах присутствовали виды *Fissidens taxifolius*, *Gloeocapsopsis magma*, *Trichormus variabilis* и протонема мхов. В августе 2007 года общими для всех субстратов видами были *Fissidens gracilifolius*, *Aphanocapsa muscicola*, *Gloeocapsa rupestris*, *Gloeocapsopsis magma*, *Jaaginema neglectum*, *Scytonema drilosiphon*, *Trichormus variabilis*, а также протонема мхов. Отмечено снижение числа доминирующих видов (табл. 7).

Увеличение площади обрастаний наблюдалось после увеличения интенсивности освещения.

Отмечено формирование новых субстратов - участков тонких глинистых отложений на известняке. Можно предположить, что формирование новых субстратов происходило под влиянием растительности. В данном случае могло происходить как накопление и удержание глинистых частиц, попадающих на участок зарастания с водными потоками, так и разрушение субстрата органическими кислотами, выделяемыми растениями и накопление частей разрушающихся растений.

3.5. Сравнение межгодовых изменений в сообществах обрастаний экскурсионных пещер

Сходство сообществ в каждой из пещер в разные годы оценивали по индексу Серенсена-Чекановского. Во всех пещерах отмечено высокое сходство (табл. 8, 9), но в пещере Мраморная оно несколько ниже, это может указывать на то, что очистные работы оказывают некоторое влияние на структуру сообществ (табл. 11).

Таблица 8.

Сходство видовой структуры сообществ фотосинтезирующих организмов пещеры Новоафонская

	Январь 2006	Июль 2006	Январь 2007	Август 2007	Ноябрь 2007
Январь 2006	1	0,98	0,96	0,96	0,96
Июль 2006	-	1	0,96	0,96	0,96
Январь 2007	-	-	1	0,99	0,99
Август 2007	-	-	-	1	0,99

Таблица 9.

Сходство видовой структуры сообществ фотосинтезирующих организмов пещеры Ахштырская

	Январь 2008	Август 2008	Январь 2009
Январь 2008	1	0,97	0,99
Август 2008	-	1	0,96
Январь 2009	-	-	1

Таблица 10.

Сходство видовой структуры сообществ фотосинтезирующих организмов пещеры Мраморная

	Май 2007	Июль 2007	Май 2008
Май 2007	1	0,84	0,96
Июль 2007	-	1	0,84
Май 2008	-	-	1

Можно предполагать, что в пещерах изменение видового состава и видовой структуры сообществ на освещенных участках происходит на начальном этапе зарастания, дальнейшее развитие сообществ определяется в первую очередь внешними воздействиями. Отсутствие существенных изменений в сообществах в разные годы позволяет предполагать также и отсутствие сезонной динамики.

3.6. Пути решения проблемы обрастаний

В пещере Новоафонская произведено тестирование основных используемых в мире для удаления «ламповой флоры» химических реагентов (гипохлорит натрия, тетраборат, пероксид водорода). Показано, что наиболее эффективным является гипохлорит кальция. Предложен бесконтактный способ нанесения реактива. Разработан метод восстановления биоповреждений кальцитовых натечных образований за счет использования нанокристаллического гидроксиапатита. Показано, что применение данного реагента приводит к увеличению времени повторного зарастания.

Предложен новый подход к освещению экскурсионных пещер. При выборе расположения ламп необходимо следовать рекомендациям:

1. Учитывать пути заноса фототрофов, располагать лампы вдали от возможных путей заноса фототрофных видов в пещеру.

2. Выбирать участки с неблагоприятными микроклиматическими характеристиками для роста фототрофов; избегать установки ламп в нишах, на участках с замедленным током воздуха.

3. Создавать систему рассеянного света, избегая направленного освещения породы, особенно натечных образований. Это предотвратит локальное снижение влажности и повышение температуры, приводящей к разрушению породы. При разработке системы освещения стараться не освещать породы, на которых происходит быстрый рост фототрофов

(кальцит, глинистые отложения). Яркое освещение способствует активному росту фототрофов и их развитию в слоях кальцитовых отложений, что приводит к разрушению уникальных натеков и сильно осложняет их очистку.

4. Создавать систему дублирующего освещения в пещере, чтобы в освещении различных участков соблюдалась периодичность (например, с месячным циклом), что также сильно замедлит развитие фототрофов. Можно предложить использовать передвижные или переносные светильники.

Выводы

1. В четырех карстовых пещерах, обнаружено 130 видов фотосинтезирующих организмов в обрастаниях, формирующихся при искусственном освещении. По числу видов в составе сообществ преобладают представители *Cyanoprokaryota*.

2. На основе различий эдафических факторов и уровня обводненности выделены основные типы местообитаний, определяющие видовой состав сообществ. В пределах каждой пещеры выделены сообщества глинистых субстратов; известняка; кальцита; лунного молока; тонких глинистых отложений на кальците и известняке; струйчатых потоков, протекающих по поверхности кальцитовых отложений; гуровых ванночек со слабым течением, постоянно заполненных водой.

3. Показано, что тип субстрата определяет распределение высших таксонов – приуроченность мхов и папоротников к глинистым субстратам, диатомовых к тонким глинистым отложениям и водным потокам, видов инкрустированных известью и рода *Nostoc* к кальцитовым субстратам, одноклеточных зеленых и цианобактерий к плотным известняковым субстратам. При этом набор конкретных видов фототрофов специфичен для каждой пещеры.

4. Отмечено постоянство видового состава сообществ обрастаний в разные годы исследования.

5. Динамика развития сообществ в течение десяти лет выявлена на примере Воронцовской пещеры (Краснодарский край, г. Хоста). На первой стадии сукцессии сообщества состояли из коккоидных цианобактерий и зеленых водорослей (С- и Ch-формы). Видовой состав фототрофов стабилизировался на третий год от начала эксплуатации. После увеличения продолжительности освещения произошло увеличение числа видов при уменьшении числа доминант, и неизменном составе преобладающих жизненных форм водорослей.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК

1. Мазина С.Е., Северин А.В., Божевольнов В.Е. Повышение эффективности экологически безопасных методов удаления фотосинтезирующих организмов в экскурсионных пещерах // Проблемы региональной экологии. 2009. - № 4. - С. 70-75.

2. Мазина С.Е., Северин А.В., Мелихов И.В. Физикохимические аспекты антисептического действия наногидроксиапатита // Биофизика, 2009, Т. 54. - № 6. - С. 701-705.

3. Мазина С.Е., Гопин А.В., Николаев А.Л. Оценка контаминации водного потока пещеры Солдатской (Крым) // Водные ресурсы. 2009. - Т. 36. - № 6. - С. 722-729.

Публикации в прочих изданиях

4. Мазина С.Е., Северин А.В. Разработка метода реабилитации антропогенно-трансформированных подземных экосистем на примере Новоафонской пещеры // Экологическая химия. 2007. - Т. 3. - № 16. - С. 175–181.

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

6. Мазина С.Е., Северин А.В. 2006, Роль водорослей в подземных биоценозах, формирующихся при искусственном освещении. // Грибы и водоросли в биоценозах: материалы международной конференции, посвященной 75-летию Биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, С. 102-103.

7. Мазина С.Е., Северин А.В. 2006, Особенности взаимодействия наногидроксиапатита с микроорганизмами. // Тезисы докладов: IV международная научная конференция «Кинетика и механизм кристаллизации. Нанокристаллизация. Биокристаллизация.», Иваново. - С. 243.

8. Мазина С.Е., Северин А.В., Техногенные нарушения подземных полостей и способы их восстановления. // Минералогия техногенеза-2007. Миасс: ИМин УрО РАН, 2007. - С. 12-15.

9. Мазина С.Е. Изменение состояния экосистемы Воронцовской пещеры в результате оборудования и эксплуатации в качестве экскурсионного объекта. // Экология и безопасность жизнедеятельности. Сборник статей VII Международной научно-практической конференции, Пенза, 2007. - С. 122-124.

10. Мазина С.Е. Преобразование вторичных минеральных отложений экскурсионных пещер. // Минералогия техногенеза-2008 под ред. С.С. Потапова. Миасс:ИМин УрО РАН. 2008. - С. 70-78.

11. Мазина С.Е. Водоросли биоценозов, формирующихся при искусственном освещении в Воронцовской пещере // Проблемы современной альгологии: Материалы Всероссийской школы-семинара, 7-9 октября. - Уфа: РИЦ БашГУ, 2008. - С. 77-80.

12. Мазина С.Е. Проблема «ламповой флоры» в пещерах // Пещеры: охрана, история исследований, культура, туризм, современное состояние и перспективы научных исследований в пещерах на территории бывшего

СССР // Материалы научно-практической конференции. Сб. науч. тр. – Красноярск, 2009. - С. 149-155.

13. Мазина С.Е. Основные критерии оценки возможности использования карстовых пещер в качестве туристических объектов // Природное и культурное наследие Южного Урала как инновационный ресурс // Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 50-летию открытия А.В. Рюминым палеолитической живописи в пещере Шульган-Таш. Уфа, 2009. - С. 75-81.