

Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение
«Средняя общеобразовательная школа № 68 г. Челябинска
имени Родионова Е.Н.» (филиал 2)

Челябинская область
Город Челябинск

Всероссийский юниорский лесной конкурс «Подрост»
Номинация «Экология лесных растений»

Тема работы:

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВИДОВОГО РАЗНООБРАЗИЯ ЭПИЛИТНОЙ
ЛИХЕНО- И БРИОФЛОРЫ ЧЕЛЯБИНСКОГО ГОРОДСКОГО БОРА И
ФАКТОРОВ ЕГО ФОРМИРОВАНИЯ**

Автор: Степанов Вадим Витальевич,
11 класс, МБОУ «СОШ № 68 г. Челябинска»
(филиал 2)

Руководитель:
Рудакова Татьяна Михайловна,
учитель химии и биологии
МБОУ «СОШ № 68 г. Челябинска» (филиал 2)

Научный консультант:
Пауков Александр Геннадьевич,
старший научный сотрудник, кандидат
биологических наук УрФУ г. Екатеринбурга;
Маркова Лада Михайловна, старший
преподаватель кафедры геологии и
природопользования факультета экологии
ФГБОУ ВО «Челябинский государственный
университет»

Москва, 2021 г.

Оглавление

Введение	3
I Теоретическая часть исследования.....	4
1.1 Особенности лишено- и бриофлоры городской среды	4
II Практическая часть исследования.....	5
2.1 Комплексный анализ эпилитных мхов в районе исследования.....	5
2.2 Комплексный анализ эпилитных лишайников в районе исследования	7
2.3 Определение мхов и лишайников на искусственных субстратах	8
2.4 Количественное определение серы в собранных образцах эпилитов в качестве теста на загрязнение атмосферного воздуха сернистыми соединениями.....	8
Заключение.....	10
Список литературы	12
Приложение.....	14

Введение

Вследствие того, что Челябинск является крупным промышленным центром с большим количеством заводов, экологическая ситуация в городе является особенно острой. Все больше местных жителей стремятся проводить свои выходные в парках или реликтовом сосновом бору, чтобы убежать от надоевшего и опасного смога. По заявлению администрации города, в Челябинске имеется кризис контроля за качеством воздуха. В последнее время для мониторинга окружающей среды ученые все чаще обращаются не к приборам, а к природным индикаторам атмосферного загрязнения, например, мхам и лишайникам. Видов мхов и лишайников очень много, но их эпилитные группировки (растущие на каменистых субстратах) наиболее часто вызывают интерес у исследователей, поскольку именно они особенно чувствительны к состоянию воздушной среды. Однако применение такого способа оценки местообитаний ограничено в связи с недостаточной изученностью брио- и лишайнофлоры города.

Объект исследования – лишайники и мхи, произрастающие на каменистых субстратах Челябинского городского бора. Предмет исследования – систематический, географический и экологический анализ мхов и лишайников на каменистых поверхностях в бору города, а также качество воздуха в нем (в целом и степень загрязнения сернистым газом).

Цель работы: на основе комплексного анализа эпилитных мхов и лишайников Челябинского городского бора сделать вывод о степени загрязнения воздушной среды в нем (в целом и сернистым газом).

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: 1. Провести анализ работ, посвященных изучению городских брио- и лишайнофлор; 2. Провести сбор и определение образцов; 3. Провести систематический, географический и экологический анализ эпилитной лишайно- и бриофлоры; 4. Выявить черты городской лишайно- и бриофлоры и основные факторы их формирования; 5. Определить количество серы в собранных образцах в качестве теста на загрязнение атмосферного воздуха сернистыми соединениями и сравнить с данными постов государственной наблюдательной сети ЦГМС и ОГКУ «ЦЭМ» (Челябинского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды); 6. Сделать вывод о чистоте воздуха в Челябинском городском бору.

Гипотеза: на основе анализа видового состава эпилитных мхов и лишайников можно делать вывод о степени загрязнения воздушной среды в определяемой местности.

Для решения поставленных задач были использованы следующие методы исследования: анализ теоретического материала, наблюдение, фотосъемка, сбор, определение и гербаризация материала, микроскопия, описание, химический анализ, систематизация, графический (построение диаграмм), сравнительный анализ.

Новизна: в литературных источниках по данной региональной проблеме упоминается, что в реликтовом городском бору преобладают представители Гипновых мхов и растет множество лишайников, т.е. целенаправленного исследования биоразнообразия лишайно- и бриофлоры не проводилось, что повышает актуальность нашего исследования.

I Теоретическая часть исследования

1.1 Особенности лишено- и бриофлоры городской среды

Зеленые мхи насчитывают около 10 тыс. видов и широко распространены почти во всех природных зонах земного шара, являются важной составной частью многих биогеоценозов. Наиболее интенсивное развитие мхов наблюдается на пониженных, увлажненных местах в тундрах, лесах и на болотах [13]. Споровые растения, к которым относятся мхи, гораздо более чувствительны к загрязнениям воздушной и почвенной среды, чем цветковые. Этим объясняется уменьшение количества и разнообразия мхов в городах. Листочки мхов, в отличие от листьев и хвои семенных растений, не защищены покровной пленкой – кутикулой, не имеют устьиц, которые могли бы отчасти регулировать поступление веществ из внешней среды [10]. Мхи поглощают загрязнители всей поверхностью. Большинство атмосферных загрязнителей (особенно двуокись серы) губительно для самой первой стадии развития мхов – протонемы, поэтому сильно тормозит процессы их расселения, у многих видов быстро буреют листья. При искусственной пересадке небольших дерновинок мхов из леса в наиболее загрязненные районы города у многих видов быстро буреют листья, отмирают верхушки побегов [11].

Лишайники насчитывают около 25 тысяч видов и широко распространены по всему земному шару – от полярных холодных скал до раскаленных камней пустынь [12]. Эта группа организмов одна из наиболее известных биологических индикаторов, чувствительность которых обусловлена их физиологией и симбиотической природой. Лишайники выбраны объектом глобального биологического мониторинга, поскольку их реакция на внешнее воздействие очень сильна, а собственная изменчивость незначительна по сравнению с другими организмами. При увеличении концентрации загрязнителей в воздухе (особенно диоксида серы) с лишайниками происходят различные изменения: 1. Снижается видовое разнообразие лишайников. При этом наиболее устойчивы к загрязнению накипные лишайники, наименее – кустистые. 2. Снижается численность лишайников. 3. В 4-6 раз уменьшается величина таллома лишайников. Талломы их разобщены и менее интенсивно окрашены, что свидетельствует об угнетенном состоянии водорослевого компонента [3].

Мхи, поселяясь вместе с лишайниками на камнях (эпилиты), способствуют разрушению субстрата и образованию гумусового слоя. Так же, как и лишайники, мохообразные получают влагу и питательные вещества с атмосферными осадками, поглощая их всей поверхностью, что обуславливает особую чувствительность к химическому состоянию атмосферы. Но мхи, как тест-объекты, в городских условиях имеют ряд преимуществ перед лишайниками. Бриоиндикация предполагает не требующую высокой квалификации методику, сводящую к минимуму микроскопические исследования. Еще одна ценная черта мхов, как биоиндикаторов, отмечена исследователями: аккумуляция химических элементов у мхов менее зависит от климатических условий, чем у лишайников [3]. В условиях сильного загрязнения лишайники бывают сильно угнетены и имеют столь низкую встречаемость, что диагностика представляется затруднительной; напротив, в таких условиях успешно произрастают мхи-урбанофилы [10].

II Практическая часть исследования

2.1 Комплексный анализ эпилитных мхов в районе исследования

Исследование проводилось в пределах городской черты в западной части – в Челябинском (Шершневском) городском бору. Раскинулся он на правой части реки Миасс, его общая протяженность с северо-востока на юго-запад около 5,5 км, а средняя ширина около 2,5-3 км. Район исследования расположен в континентальной области умеренного пояса в лесостепной части Зауральской равнины. Этот Памятник природы областного значения на 90% состоит из реликтовых сосен, а находится на гранитной платформе (когда-то здесь вели активные разработки гранита), в нем можно встретить огромное количество карьеров (Изумрудный, Уфимский, Каменный, Шершневский), которые превратились в пруды [14]. Во многих местах бора имеются выходы гранитного фундамента на поверхность в виде каменных глыб, россыпей, больших гранитных плит. Местоположение бора почти в центре города со значительной транспортной нагрузкой определяет особенности видового разнообразия растительных сообществ (в значительной степени на его окраинах). Промышленные предприятия расположены удаленно от бора к востоку и северо-востоку (ЧМК, ЧЭМК, Цинковый, Лакокрасочный заводы, ЧЭЗ и др.).

В основу работы положена коллекция мхов и лишайников, собранная весной-осенью 2018-2020 гг. в выделенных зонах маршрутным методом. Собирались образцы-эпилиты (петрофиты), т.е. растущие непосредственно на «голой» поверхности камней, а также на искусственных субстратах. Места сбора образцов показаны на рис. 1 (Приложение 1).

Всего было собрано 38 гербарных пакетов с мохообразными. Обработка материала проводилась по общепринятым методикам изучения мохообразных с использованием макро- и микроскопических признаков гаметофита. При определении видов мхов использовались различные определители, в том числе электронные [1,5,13], консультирование с Александром Геннадьевичем Пауковым (кандидатом биологических наук УрФУ г. Екатеринбург), а также школьная коллекция мхов, собранная в 2001-2017 гг. в окрестностях п. Березовский Октябрьского района Челябинской области (Приложение 2). В результате анализа собранного материала был составлен таксономический список видов мхов.

Все обнаруженные виды относятся к классу Bryopsida (Листостебельные мхи) подклассу Bryopsidae (Зеленые мхи). Таксономический список включает 18 видов мхов-эпилитов, относящихся к 16 родам и 12 семействам. По видовому разнообразию преобладает порядок Гипновые (11 видов из 18). В семействе Pottiaceae насчитывается 3 вида, в семействах Bryaceae, Brachytheciaceae и Ditrichaceae по 2 вида, в остальных семействах – по 1 виду (Приложение 3 Таблица 1).

От периферии к центру бора наблюдается закономерное изменение – увеличение видового разнообразия мхов, что, видимо, связано со значительным загрязнением атмосферы из-за большой транспортной нагрузки на этот район города. Наибольшее число видов мхов было найдено на берегах водоемов-карьеров у выхода гранита на поверхность, где самые оптимальные условия для их развития. Считается, что бриофлора гранитов (кислая порода) характеризуется самым низким

видовым богатством по сравнению с кальцефилами (известняками – основными породами, у которых более пористая структура, соответственно, влага дольше задерживается). Главенствующее положение в систематическом списке семейства Pottiaceae объясняется наличием на Урале значительных выходов карбонатсодержащих и силикатных горных пород (известняков и кварцитов) (в виде каменных глыб, валунов и россыпей в бору), а значительная роль Bryaceae, Brachytheciaceae и Ditrichaceae в петрофитной флоре мхов Южного Урала обусловлена тем, что эти семейства включают много эвритоных видов [4,5].

Наиболее массовыми видами являются *Ceratodon purpureus* и *Bryum argenteum* (космополиты), приуроченные к нарушенным местообитаниям (Приложение 8). Интересно, но именно этих 2 вида при сборе материала для исследования встречались всегда в стадии спороношения. Обычно формы мхов, встречающиеся в таких условиях, размножаются частями вегетативного тела, а перенос их фрагментов осуществляется чаще всего прохожими. При данном способе размножения мох способен осваивать непригодные для других растений городские экологические ниши. Эти виды встречались и на твердых искусственных поверхностях (граните, асфальте и бетоне). *Amblystegium serpens*, занимающий третье место по численности, не встречен только на искусственных субстратах

При проведении географического анализа листостебельных мхов-эпилитов бора была использована классификация элементов флоры, разработанная А.С. Лазаренко и Р.Н. Шляковым [16]. Данная географическая структура определяется историческими причинами, а также широтным положением, наличием местообитаний с характерными экологическими условиями. В составе эпилитной бриофлоры представлены следующие географические элементы: неморальный (2), гипоарктический (1), космополитный (4), горный (4), бореальный (7 видов) (Приложение 4 Диаграмма 1).

В экологическом анализе, предложенном Г.Ф. Рыковским, использовались экологические группы листостебельных мхов по отношению к фактору влажности [11]. Экологические группы мхов каменистых субстратов представлены большей частью видами с ксероморфной ориентацией или индифферентных к увлажнению, характерными для антропогенных флор (воздух в городах суше и теплее на 2-3°C) (Приложение 4 Диаграмма 2).

В настоящее время учеными бриологами широко используется система форм роста, предложенная Г. Мейзелем [11]. Виды эпилитных мхов бора, идентифицированной нами, относятся к формам роста: коврики (28%), дерновинки (61%), древовидные (5%), подушечки (6%) (найжены в глубине бора) (Приложение 4 Диаграмма 3). Отсутствие подушечек на окраинах бора, видимо, связано с высокой чувствительностью видов этой жизненной формы к атмосферному загрязнению.

Практически в любой работе, посвященной бриофлоре городской среды, приводится ряд видов, наиболее типичных для города. Их основные черты – высокая способность к вегетативному размножению, устойчивость к вытаптыванию, засолению и загрязнению оксидом серы (IV). Для выявления общих черт урбанобриофлор был проведен сравнительный анализ списков типичных видов, указанных для следующих территорий: Москва, Уфа, Екатеринбург, города Испании [2,10,16]. Примечательно, что из 10 видов «городских» листостебельных мхов,

отмеченных для Испании, 5 типичны для Москвы и Екатеринбурга и для Челябинска (это *Bryum argenteum*, *Ceratodon purpureus*, *Barbula unguiculata*, *Syntrichia ruralis*, *Amblystegium serpens*). Такое родство систематической структуры, несмотря на значительную географическую удаленность и разницу в климатических условиях, указывает на преобладающую роль антропогенного фактора в формировании урбанобриофлоры (Приложение 4 рис. 7).

2.2 Комплексный анализ эпилитных лишайников в районе исследования

В районе исследования было собрано 29 гербарных пакетов с лишайниками (иногда вместе с субстратом). Эпилитные лишайники развивают свое слоевище на поверхности субстрата, и только гифы, которыми они прикрепляется, могут проникать, иногда довольно глубоко, на 10-20 мм внутрь камня (перед сбором образцы подвергались опрыскиванию водой). При определении видов лишайников использовали электронный атлас-определитель [9,13], химический анализ [13], а также консультирование с Александром Геннадьевичем Пауковым. В результате анализа собранного материала был составлен таксономический список видов лишайников (Приложение 5 Таблица 2). Таксономический список включает 11 видов лишайников-эпилитов, относящихся к 10 родам и 7 семействам (Приложение 6 рис.8).

Эпилитные лишайники поселяются на камнях и скалах и представлены по морфологическому строению накипными (слоевище в виде бесформенных корочек, пленочек, плотно сросшихся с субстратом: этот таллом невозможно отделить от субстрата, не повредив его), листоватыми (в форме широких и узких пластинок, чешуек) и кустистыми [13]. При анализе жизненных форм лишайников было выявлено следующее соотношение: 1 вид представлены накипной жизненной формой, 8 видов – листоватой жизненной формой, 2 вида – кустистые (Приложение 6 Диаграмма 4).

Закономерности географического распространения лишайников изучены еще недостаточно. С одной стороны, отмечается приуроченность определенных видов к тем или иным природным зонам. Но есть виды, которые в своем распространении связаны не столько с природными условиями определенной зоны, сколько с условиями среды, которые повторяются в нескольких природных зонах. Географическое распространение многих лишайников прямо связано с их выборочным отношением к субстрату, хотя он и не является основной причиной, ограничивающей их распространение [12].

При проведении географического анализа определялась принадлежность видов к широтным географическим элементам. Географические элементы флоры лишайников обычно соответствуют растительно-климатическим зонам, однако особенности распространения некоторых видов диктуют необходимость выделения внезонального географического элемента – монтанного, объединяющего виды, имеющие центры массовости в лесных поясах горных районов [3]. В изученной лишайнофлоре городского бора рассматриваются: монтанный (10%), бореальный (50%), неморальный (10%) и мультizonальный (30%) элементы.

Лишайники по-разному реагируют на загрязненность воздуха: некоторые не выносят даже малейшего загрязнения и погибают; другие живут только в городах и

прочих населенных пунктах. В настоящее время разработаны методы лишеноиндикации, с помощью которых можно определить степень загрязненности воздуха на основе наличия или отсутствия определенных лишайниковых группировок [15]. На основании частоты встречаемости вида и морфологического состояния слоевищ выделяют 3 группы лишайников: 1. Самые чувствительные: исчезают при первых признаках загрязнения (такие виды не были обнаружены в парке); 2. Среднечувствительные, приходят на смену погибшим чувствительным видам (обнаружены род Кладония, Гипогимния, Гипоценомия, Пармелия); 3. Самые выносливые, толерантные к загрязнению, представители отдельных видов и родов лучше развиваются и бывают приурочены именно к экологически «неблагополучным» территориям (найден род Лепрария, Ксантория, Фисция) (Приложение 7 Таблица 3).

2.3 Определение мхов и лишайников на искусственных субстратах

С целью определения видов, которые из-за деятельности человека сменили свое местообитание, образцы лишайников и мхов-эпилитов собирались с искусственных материалов (асфальт, кирпичные стены, шифер, бетонные ступени и др.). На антропогенных местообитаниях обнаружено вида листостебельных мхов, что является общим для антропогенной бриофлоры изученных в этом плане городов России [2,10]. К группе общих мхов закономерно относятся виды-космополиты: *Bryum argenteum*, *Ceratodon purpureus*, характеризующиеся массовым спороношением, благодаря чему они быстро возобновляются. Самой распространенной горной породой в бору является гранит, он слагает берега находящихся здесь в большом количестве карьеров и озер. Можно отметить, что гранитные берега подверглись процессам выветривания. Кроме того, гранит применяется в городе для отделки фасадов зданий и набережных. Полированный гранит обычно не заселяется мхами. Местообитанием мхов чаще может служить субстрат, представляющий собой гранитную крошку. Здесь встречаются *Bryum argenteum*, *Ceratodon purpureus*, в виде примеси – *Amblystegium serpens*.

Бетон и цемент в бору встречается довольно часто, эти субстраты сравнимы с твердыми горными породами, содержащими известь (известняк, доломит). Бетон и цемент часто заселяются мхами, но почти исключительно *Bryum argenteum* и *Ceratodon purpureus* (виды-космополиты). Асфальт распространен повсеместно, его состав сильно отличается от состава естественных горных пород (здесь преобладают тяжелые фракции нефти). Этот субстрат сравнительно плохо заселяется мхами. В основном мхи растут за счет тонкого слоя почвы на поверхности асфальта. Интересна находка *Plagiomnium cuspidatum* на тонком слое почвы на асфальте. Здесь присутствуют виды рода *Bryum*, *Ceratodon purpureus*, семейства *Brachytheciaceae* (Приложение 8 Таблица 4).

Все обнаруженные виды лишайников, относящиеся к накипным и листоватым, были встречены на бетоне, шифере, у канализационных люков, на фундаменте построек, что говорит о некоем безразличии к субстрату, который они используют лишь для опоры (т.е. заняли нишу, никем не занятую).

2.4 Количественное определение серы в собранных образцах эпилитов в качестве теста на загрязнение атмосферного воздуха сернистыми соединениями

Ученые долгое время не могли объяснить, какие именно факторы приводят к обеднению и даже исчезновению мхов и лишайников в городах. В течение последних десятилетий было доказано, что из компонентов загрязненного воздуха (окислов азота (NO , NO_2), окиси углерода (CO , CO_2), соединений фтора, формальдегида, бензапирена и др.) на брио- и лишайнофлору самое отрицательное влияние оказывает сернистый газ [2,3,12]. Именно он определяет распространенность некоторых мхов и лишайников. ПДК сернистого газа – это предельная концентрация диоксида серы. Максимально допустимая разовая доля газа в воздухе должна составлять не более $0,5 \text{ мг/м}^3$. Среднесуточное значение составляет $0,05 \text{ мг/м}^3$ [8].

Прогуливаясь по городу, особенно в промышленной части, иногда можно констатировать полное отсутствие лишайников («лишайниковая пустыня»). Это означает, что концентрация двуокиси серы в воздухе превышает $0,3 \text{ мг/м}^3$. Присутствие в городе некоторых выносимых по отношению к загрязнителям лишайников, например, ксантории, лепрарии и фисции (обнаружены на всей территории городского бора) свидетельствует о том, что количество сернистого газа колеблется от $0,05$ до $0,2 \text{ мг/м}^3$. Если же вы видите гипоценомице и гипогимнии (их образцы обнаружены на территории бора вдали от крупных транспортных улиц Блюхера, Худякова, Труда), то воздух довольно чист, содержание двуокиси серы не превышает $0,05 \text{ мг/м}^3$. Особое внимание исследователей привлек лишайник *Nurogymnia physodes* (также обнаружен в глубине бора), серые узколопастные слоевища которой часто встречаются на камнях. При концентрации сернистого газа $0,23 \text{ мг/м}^3$ воздуха этот лишайник полностью отмирает за 29 суток [3,12]. Экспериментально установлено, что это вещество уже в концентрации $0,080\text{-}0,10 \text{ мг/л}^3$ воздуха начинает вредно действовать на клетки: в хлоропластах появляются бурые пятна, начинается деградация хлорофилла (такое явление отмечено у образцов, найденных на окраинах городского бора вблизи крупной автодороги).

По данным Министерства экологии Челябинской области в Челябинске до 17% от общего загрязнения атмосферы составляет диоксид серы [8]. Это бесцветный газ с характерным резким запахом (запах загорающейся спички). При попадании в организм приводит к кашлю, сухости и горькому привкусу во рту; при высокой концентрации – удушью и отеку легких. Жители города иногда жалуются на характерный запах воздуха горелыми спичками, в то время как данные с постов государственной наблюдательной сети ЦГМС (Челябинского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды) и ОГКУ "ЦЭМ" (Центра экологического мониторинга Челябинской области) сообщают лишь о 6-8% всех проб с превышением ПДК загрязняющих веществ, а на выбросы сернистого газа приходится в среднем $0,3\text{-}0,4$ тыс. тонн в год [7]. Основным источником этого загрязнителя являются тепловые электростанции, металлургические заводы и автотранспорт (серосодержащее топливо, коксующиеся угли). Ленточный Челябинский бор расположен в западной и юго-западной стороне вдали от крупных заводов города (но не стоит забывать о преобладании в розе ветров в целом за год ветров южного и юго-западного направления, соответственно, будет и ориентация вредных выбросов от промышленных предприятий). С приборов стационарных

постов ЦГМС и ЦЭМ вблизи бора иногда зафиксированы превышения по содержанию только формальдегида.

Лишайники и мхи способны аккумулировать из окружающей среды элементы в количествах, намного превосходящих их физиологические потребности. Газообразный токсикант SO₂ непосредственно из атмосферного воздуха проникает в слоевища лишайников и тела мхов и накапливается там. Исследователи установили, что чем выше уровень загрязненности природной среды сернистым газом, тем больше содержание серы в слоевищах лишайников и мхах [3]. Поэтому определение серы в этих образцах может быть использовано в качестве теста на загрязнение атмосферного воздуха сернистыми соединениями.

Количественное определение серы в собранных образцах велось нами в химической лаборатории факультета экологии и природопользования ЧелГУ в ноябре 2020 года. Метод основан на извлечении серы из растительного материала путем мокрого озоления (в этом случае не теряется сера, в отличие от сухого) его смесью азотной и соляной кислот, перевода в сульфаты и определении в виде взвеси сульфата бария турбидиметрическим методом (Приложение 9). Данный анализ включал в себя несколько этапов: приготовление осаждающего раствора с желатином, раствора серы массовой концентрации 0,1 мг/мл, растворов сравнения (0; 0,02; 0,04; 0,07; 0,1; 0,13; 0,16 мг/л), озоление растительных образцов, фотометрия при длине волны 420 нм, обработка результатов. Содержание серы в растениях (X, % на воздушно-сухое вещество) рассчитывают по формуле:

$$X = \frac{(a - б) \cdot 100}{n \cdot 1000}$$

где а - содержание серы в 100 см³ минерализата, найденное по графику, мг S; б - содержание серы в 100 см³ раствора контрольного опыта, найденного по графику, мг S; n - навеска воздушно-сухого растительного материала, г; 1000 - коэффициент пересчета концентрации серы из мг в г; 100 - коэффициент пересчета в % [6].

В нашем эксперименте приведены результаты анализа содержания серы в талломах эпилитных лишайников видов *Physcia caesia* и *Xanthoria parietina*, а также мхов-урбанофилов *Ceratodon purpureus* и *Bryum argenteum*, собранных в глубине бора и вблизи автотрассы (для сравнения) (Приложение 9 Таблица 5). Выбор данных видов в качестве тест-объектов связан с их толерантностью к атмосферному загрязнению, а эпилитность исключает возможность субстратного загрязнения.

Выводы: по результатам проведенного анализа обнаружено более высокие концентрации серы в образцах эпилитных мхов и лишайников, собранных в бору вблизи автодороги, что, вероятно, обусловлено выбросами автотранспорта (превышение в 3-5 раз по сравнению с образцами, найденными в глубине бора). Внешние признаки тест-объектов также указывают на большее содержание сернистого газа в воздухе вблизи автодорог (у окраинных образцов буреют слоевища лишайников и тела мхов, отмирают верхушки побегов). Кроме того, видовой состав лишайников по чувствительности к сернистому газу свидетельствует о том, что количество сернистого газа колеблется от 0,05 мг/м³ (вдали от автодорог) до 0,2 мг/м³ (ближе к окраинам городского бора). Обнаружение лишайников вида *Nurogymnia physodes* говорит об относительной чистоте воздуха (так как при концентрации сернистого газа 0,23 мг/м³ он отмирает полностью).

Заключение

1. В результате исследования Челябинского городского бора на каменистых субстратах было выявлено 18 видов зеленых листостебельных мхов и 11 видов лишайников (Приложение 10). Было отмечено закономерное уменьшение видового разнообразия этих организмов от периферии (вблизи автомобильных дорог) к центру бора, где расположены водоемы, условия которых способствуют оптимальному развитию мхов и лишайников. Обитающие в бору семейства зеленых листостебельных мхов принадлежат к группе урбанофилов, кроме единственного обнаруженного здесь представителя семейства *Dicranaceae* из урбанофобов (найден вдали от дороги). Кроме того, преобладание среди форм роста дерновинок говорит о средней степени загрязнения воздуха (хотя в глубине бора найдены такие формы роста, как подушечки – очень чувствительные к атмосферному загрязнению).

Видовой состав лишайников относится в основном к среднечувствительной группе по атмосферному загрязнению окружающей среды, а наличие кустистых форм рода *Кладоний* (найденных в глубине бора) говорит об относительной чистоте воздуха в парке. Об этом же свидетельствуют результаты проведенных лабораторных исследований на содержание серы в слоевищах лишайников и мхах (ее содержание в несколько раз больше у образцов, растущих вблизи автотрассы, где содержание диоксида серы выше, что сказывается на их внешних признаках), видовое разнообразие лишайников по чувствительности к сернистому газу (его количество колеблется от 0,05 мг/м³ (вдали от автодорог) до 0,2 мг/м³ (ближе к окраинам городского бора), а также данные с постов государственной наблюдательной сети о состоянии атмосферного воздуха (превышение ПДК сернистого газа вблизи бора не обнаружено).

На основе анализа видового состава мхов и лишайников на каменистых субстратах мы пришли к выводу, что Челябинский (Шершнеvский) городской бор относится к умеренно загрязненным территориям по состоянию воздушной среды.

2. В составе эпилитной бриофлоры городского бора представлены в основном следующие географические элементы: бореальный, горный и космополитный. Моховой покров растительных сообществ города преимущественно формируют виды, относящиеся к формам роста дерновинки. Большинство видов являются мезофитами.

3. В составе эпилитной лишенофлоры по морфологической структуре преобладают листоватые и кустистые формы; географические элементы представлены в основном мультizonальным и бореальным элементом; на видовое разнообразие влияет тип субстрата – преобладание в районе исследования гранита (большое количество *Cladonia*, *Peltigera*, *Xanthoria*).

4. Влияние городской среды на отдельные виды не является однозначным. Под воздействием урбанизации ряд видов-космополитов сохраняет или повышает свою активность, в основном за счет заселения искусственных субстратов.

5. В целом брио- и лишенофлора Челябинска проявляет сходство с другими городами различных стран. Такое родство систематической структуры, несмотря на значительную географическую удаленность и разницу в климатических условиях, указывает на преобладающую роль антропогенного фактора в их формировании.

Список литературы

1. Бардунов, Л.В. Определитель листостебельных мхов Центральной Сибири / Л.В. Бардунов. – Л.: Наука, 1969. – 319 с.
2. Борисенко, А.Л. Бриофлора г. Северска как показатель экологического состояния территории / А.Л. Борисенко // Экологические проблемы и пути их решения: Сборник научных трудов студентов. – Томск, 2001. – С. 90-106.
3. Гагарина, Л.В. Биоразнообразие и экология лишайников урбанизированных территорий / Л.В. Гагарина, Е.М. Шкраба // Материалы Регион. науч. конф. Студентов и аспирантов. – Пермь, 2007. – С. 192–194.
4. Геологическое строение города Челябинска. Глава 2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://megalektsii.ru/s74667t3.html> (дата обращения 12.07.2019).
5. Ибатуллин, А.А. Петрофитные мхи Среднего и Южного Урала / А.А. Ибатуллин. – М., 2012. – 34 с.
6. Методические указания по определению серы в растениях и кормах растительного происхождения [Электронный ресурс] / М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2004. – 8 с. – Режим доступа: <https://standartgost.ru/g/pkey-14293738333> (дата обращения 10.10.2021).
7. Охрана атмосферного воздуха. Челябинск 2019-2020 г.г. Посты Челябинского ЦГМС и ОГКУ "ЦЭМ" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mineco174.ru/htmlpages/Show/OxранаokruzhayushhejsredyCHely/Oxранаatmosfernogovozduxa/Informaciyaosostoyaniizagryazn/CHelyabinsk2020god> (дата обращения 2019-2020).
8. Оценка качества атмосферного воздуха в Челябинской области / Министерство экологии Челябинской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mineco174.ru/htmlpages/Show/protectingthepublic/2015/211Oценкаkachestvaatmosfern> (дата обращения 2019-2020).
9. Пауков А.Г., Трапезникова С.Н. Определитель лишайников Среднего Урала / А.Г. Пауков, С.Н. Трапезникова. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2005. – 207 с.
10. Прудникова, Л. Ю. Бриофлора Екатеринбурга: мхи в условиях промышленного мегаполиса / Л.Ю. Прудникова // Проблемы региональной экологии. – 2001. – № 4. – С. 51-62.
11. Рыковский, Г.Ф. Эпифитные мхи как экологическая группа экстремальных местообитаний / Г.Ф. Рыковский // Проблемы бриологии в СССР. – Л.: Наука, 1989. – С. 190-200.
12. Сатуева, Л.Л. Атмосферные загрязнители и их влияние на эпифитные лишайники урбанизированной среды [Электронный ресурс] / Л.Л. Сатуева // Биоэкономика и экобиополитика. – 2016. – №1. – С. 222-245. – Режим доступа: <https://moluch.ru/th/7/archive/26/1201/> (дата обращения 27.09.2020).
13. Флора мхов России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rus-nature.ru/05moss/index.htm> (дата обращения 29.08.2019).
14. Челябинский городской бор [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://oort.aari.ru/oort/Челябинский-городской-бор> (дата обращения 19.08.2020).
15. Чеснокова, С.М. Лихеноиндикация загрязнения окружающей среды: Практикум / Владим. гос. ун-т. – Владимир, 1999. – 38 с.

16. Шляков, Р.Н. Флора листостебельных мхов Хибинских гор / Р.Н. Шляков. – Мурманск: кн. изд-во, 1961. – С. 205-214.

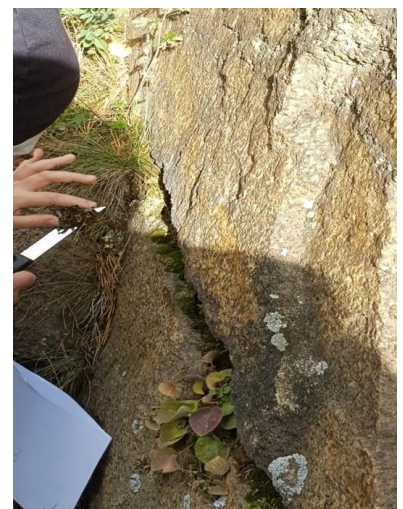
Приложение 1

Рисунок 1. Карта-схема Челябинского городского бора. Места сбора образцов отмечены ●

Границы Челябинского (городского) бора от 29.09.2011



Рисунок 2-4. Сбор образцов



Приложение 2

Рисунок 5,6. Определение видов мхов в районе исследования и видовой состав мхов-эпилитов городского бора

Определение видов мхов

Посылка в УрФУ

Электронные атласы-определители

Семейство DITRICHACEAE Дитриховые
Ceratodon purpureus – Цератодом пурпурный

Глуков Александр Геннадьевич
 доцент кафедры
 биологии УрФУ

С уважением,
 А. Павлов



Приложение 3

Таблица 1. Систематический анализ эпилитной бриофлоры городского бора

Семейство	Число		Род / число видов в нем
	видов	родов	
AMBLYSTEGIACEAE	1	1	Amblystegium (1)
BRACHYTHECIACEAE	2	1	Brachythecium (2)
BRYACEAE	2	1	Bryum (2)
CLIMACIACEAE	1	1	Climacium (1)
DICRANACEAE	1	1	Dicranum (1)
DITRICHACEAE	2	2	Ceratodon (1) Ditrichum (1)
GRIMMIACEAE	1	1	Grimmia (1)
MNIACEAE	1	1	Plagiomnium (1)
POTTIACEAE	3	3	Barbula (1), Syntrichia (1), Didymodon (1)
PSEUDOLESKEELLACEAE	1	1	Pseudoleskeella (1)
PYLAISIACEAE	2	2	Callicladium (1), Pylaisia (1)
THUIDIACEAE	1	1	Abietinella (1)

Таксономическое разнообразие эпилитной бриофлоры бора

Семейство Amblystegiaceae G.Roth – Амблистегиевые

Amblystegium serpens (Hedw.) B.S.G. Амблистегий ползучий – мезофит, бореальный, коврики гладкие. Порядок Гипновые – Hypnales

Семейство Brachytheciaceae Schimp. – Брахитециевые

Brachythecium mildeanum Schimp. Брахитеций Мильде – бореальный гигромезофит, коврики гладкие. Порядок Гипновые – Hypnales

Brachythecium salebrosum (Web.et Mohr) B.S.G. Брахитеций неровный – мезофит, бореальный, коврики грубые. Порядок Гипновые – Hypnales

Семейство Bryaceae Schwagr. – Бриевые

Bryum argenteum (Hedw.). Бриум серебристый – космополитный вид, преимущественно ксеромезофит, колонист, настоящие низкие плотные дерновинки. Порядок Бриевые – Bryales

Bryum caespiticium Hedw. Бриум дернистый – космополитный вид, мезофит, дерновинки. Порядок Бриевые – Bryales

Семейство Climaciaceae Kindb. – Климациевые

Climacium dendroides (Hedw.) F. Web. et D. Mohr. Климаций древовидный – бореальный вид, гигромезофит, дендроидная (древовидная) форма. Порядок Гипновые – Hypnales

Семейство Dicranaceae Schimp. – Дикрановые

Dicranum polysetum Sw. Дикранум многоножковый – мезофит, бореальный, высокие плотные дерновинки (встречен в глубине бора). Порядок Дикрановые – Dicranales

Семейство Ditrichaceae Limpr. – Дитриховые

Ceratodon purpureus (Hedw.) Brid. Цератодон пурпурный – космополит, ксеромезофит, низкие дерновинки, колонист. Порядок Дикрановые – Dicranales

Ditrichum flexicaule (Schwaegr.) Hampe. Дитрих, или дитрихум кривостебельный – мезофит, горный вид, кальцефит, дерновинки. Порядок Дикрановые – Dicranales

Семейство Grimmiaceae Arn. – Гриммиевые

Grimmia longirostris Hook. Гриммия многоцветковая – гипоарктогорный ксеромезофит, подушечки (встречен в глубине бора). Порядок Гриммиевые – Grimmiales
Семейство Mniaceae Schwaegr. – Мниевые

Plagiomnium cuspidatum (Hedw.) T. J. Кор. Плагиомниум остроконечный – гигромезофит, бореальный, высокие дерновинки. Порядок Бриевые – Bryales
Семейство Pottiaceae Schimp. – Поттиевые

Barbula unguiculata Hedw. Барбула полудюймовая – монтанный (горный) мезофит, настоящие рыхлые дерновинки. Порядок Гипновые – Hypnales

Syntrichia ruralis (Hedw.) F. Weber et D. Mohr. Синтрихия полевая – ксеромезофит, космополит, плотные дерновинки. Порядок Гипновые – Hypnales

Didymodon rigidulus (Hedw). Дидимодон жестковатый – горный ксеромезофит, дерновинки. Порядок Гипновые – Hypnales
Семейство Pseudoleskeellaceae Ignatov & Ignatova. – Псевдолескеелловые

Pseudoleskeella nervosa (Brid.) Nyh. Псевдолескеелла жилковатая – мезофит, неморальный, дерновинки. Порядок Гипновые – Hypnales
Семейство Pylaisiaceae Schimp. – Пилезиевые

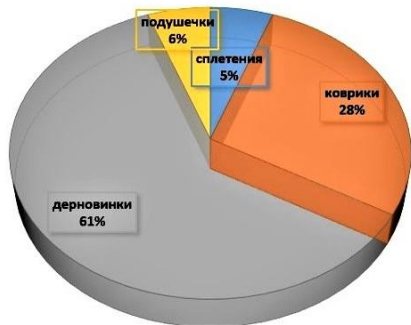
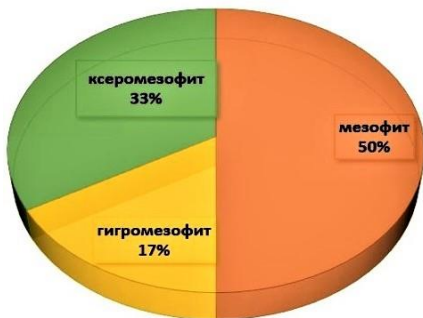
Callicladium haldanianum (Grev.) H. A. Crum. Калликладиум Холдейна – бореальный мезофит, колонист, формирует монодоминантные сообщества, плоские коврики. Порядок Гипновые – Hypnales

Pylaisia polyantha Hedw. Пилезия многоцветковая – преимущественно мезофит, неморальный, коврики гладкие. Порядок Гипновые – Hypnales
Семейство Thuidiaceae Schimp. – Туидиевые

Abietinella abietina (Hedw.) M.Fleisch. Абиетинелла елеобразная – ксеромезофит, монтанный (горный), жесткие дерновинки. Порядок Гипновые – Hypnales

Приложение 4

Диаграмма 1-3. Географический, экологический анализ и форм роста эпилитной бриофлоры городского бора



Географический анализ мхов городского бора (по А.С. Лазаренко и Р.Н. Шлякову)

В бору присутствуют виды мхов, принадлежащих исторически к нескольким широтным зонам

Экологические группы мхов (по Г.Ф. Рыковскому)

В бору присутствуют виды мхов, в основном индифферентные к увлажнению

Анализ форм роста мхов бора (по Г. Мейзелю)

В бору присутствуют виды мхов, представленные 4-я формами роста

Степень чувствительности мхов к загрязнению воздуха по формам роста

Чистый воздух

Активация Windows

Параметры

Грязный воздух

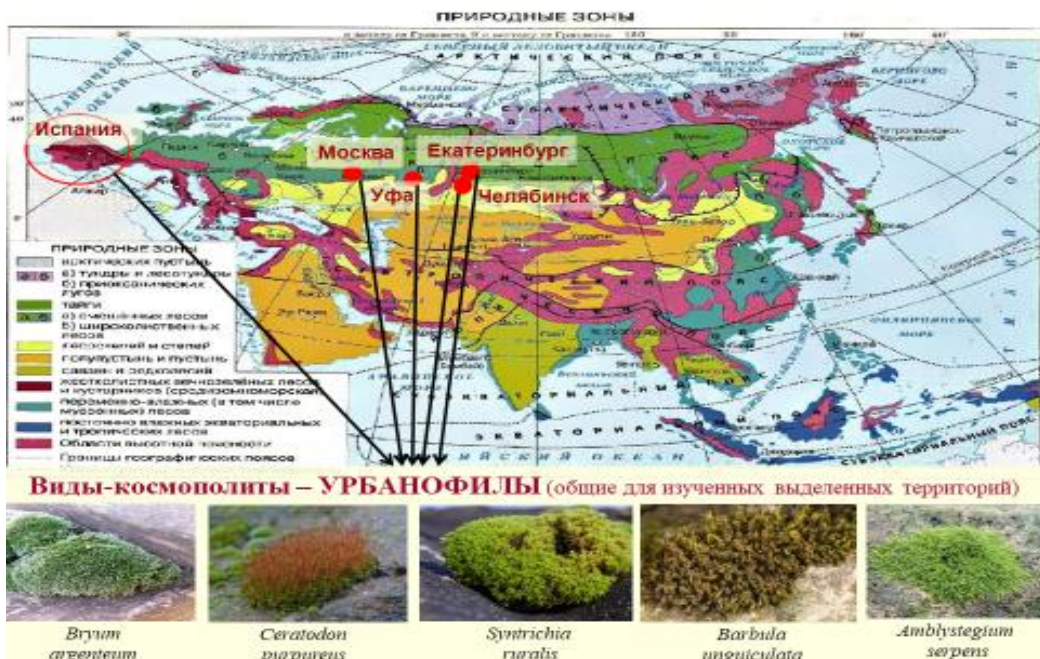
подушечки

коврики

дерновинки

сплетения

Рисунок 7. Виды мхов-урбанофилов



Приложение 5

Таблица 2. Систематический анализ эпилитной лишенофлоры городского бора

Семейство	Число		Род / число видов в нем
	видов	родов	
Cladoniaceae	2	1	Cladonia (2)
Ophioparmaceae	1	1	Hypocenomyce (1)
Parmeliaceae	4	4	Hypogymnia (1) Flavopunctelia (1) Parmelia (1) Vulpicida (1)
Peltigeraceae	1	1	Peltigera (1)
Physciaceae	1	1	Physcia (1)
Stereocaulaceae	1	1	Lepraria (1)
Teloschistaceae	1	1	Xanthoria (1)

Таксономическое разнообразие эпилитной лишенофлоры

Семейство Cladoniaceae /Кладониевые

Cladonia coniocraea (Flörke) Spreng. Кладония шишконосная – кустистый, бореальный, мультирегиональный, ксерофитно-мезофитный, чувствительный к загрязнению.

Cladonia cariosa (Ach.) Spreng. Кладония трухлявая – кустистый, бореальный, мультирегиональный, ксерофитно-мезофитный, чувствительный к загрязнению.

Семейство Ophioparmaceae / Офиопармовые

Hypocenomyce scalaris (Ach. ex Lilj.) M. Choisy. Гипоценомице ступенчатый – листоватый, мультирегиональный, бореальный, чувствительный к загрязнению.

Семейство Parmeliaceae /Пармелиевые

Hypogymnia physodes (L.) Nyl. Гипогимния вздутая – листоватый, бореальный, мультирегиональный, мезофит, чувствительный к загрязнению.

Flavopunctelia soredica (Nyl.) Hale. Флавопунктелия соредиозная – листоватый, мезофит, неморальный.

Parmelia sulcata (Tayl.) Parmelia бороздчатая – листоватый, космополит, устойчив к загрязнению.

Vulpicida pinastri (Scop.) J.-E. Mattsson & M.J. Lai. Вульпицида или цетрария сосновая – листоватый, бореальный, мультирегиональный, мезофит.

Семейство Peltigeraceae /Пельтигеровые

Peltigera rufescens (Weiss) Humb. Пельтигерия рыжеватая – листоватый, мультизональный, ксерофитно-мезофитный.

Семейство Physciaceae /Фисциевые

Physcia caesia (Hoffm.) Hampe ex Fűrnr. Фисция сизая – листоватый, мультизональный, устойчивый к загрязнению.

Семейство Stereocaulaceae /Стереокаулоновые

Lepraria vouauxii (Hue) R.C. Harris. Лепрария Воузи – накипной, монтанный, устойчивый к загрязнению.

Семейство Teloschistaceae /Телосхистовые

Xanthoria parietina (L.) Th. Fr. Ксантория настенная или стенная золотнянка – листоватый, мультизональный, ксерофитно-мезофитный, устойчивый к загрязнению.

Приложение 6

Рисунок 8. Видовой состав лишайников-эпилитов Челябинского городского бора

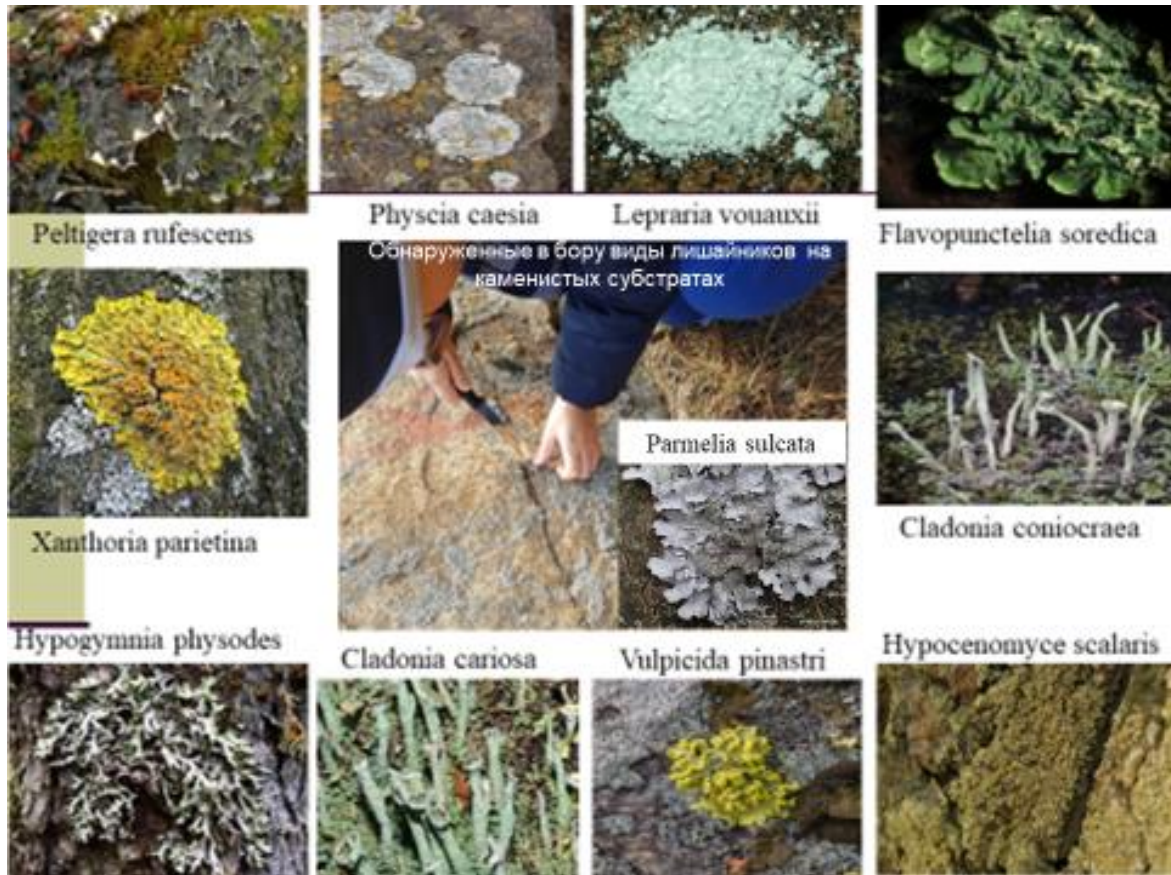
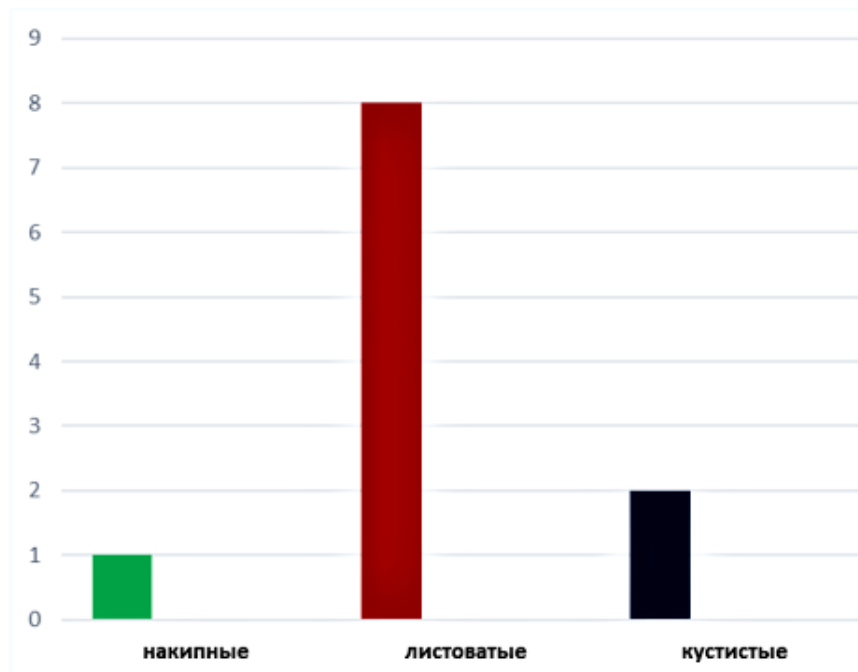


Диаграмма 4. Анализ жизненных форм лишайников городского бора



Приложение 7

Таблица 3. Вариант классификации чувствительности лишайников к атмосферному загрязнению. Обнаруженные в бору лишайники выделены подчеркиванием [8,10]

<i>Не загрязненная территория</i>	<i>Слабо загрязненная территория</i>	<i>Умеренно загрязненная территория</i>	<i>Сильно загрязненная территория</i>	<i>Очень сильно загрязненная территория</i>
<i>Виды, не переносящие загрязнения</i>	<i>Очень чувствительные к загрязнению виды</i>	<i>Чувствительные к загрязнению виды</i>	<i>Устойчивые к загрязнению виды</i>	<i>«Лишайниковая пустыня»</i>
Alectoria sarmentosa	Usnea sp.	<u>Cladonia sp.</u>	Lecanora conizaeoides	Нет лишайников
Bryoria fremonti	Bryoria fuscescens	<u>Hypocenomyce scalaris</u>	<u>Lepraria vouauxii</u>	
Bryoria capillaris	<u>Hypogymnia physodes</u>	Imshaugia aleurites	Micarea melaena	
Hypogymnia tubulosa	Evernia prunastri	Ochrolechia androgyna	Parmeliopsis ambigua	
Ramalina dilacerata	Parmeliopsis hyperopta	<u>Parmelia sulcata</u>	Pheophyscia orbicularis	
Platismatia glauca	Tuckermanopsis chlorophylla	Parmelia olivacea	<u>Physcia caesia</u>	
Lobaria pulmonaria	Tuckermanopsis sepincola	Physcia aipolia	Scoliciosporum chlorococcum	
Pseudevernia furfuraceae	Mycoblastus sanguinarius		<u>Xanthoria parietina</u>	

Приложение 8

Таблица 4. Анализ селективности местообитания мхов

№ п/п	Вид	Сооружения из природного камня (доломит, известняк/ кварцит)	Гранит (порода магматического происхождения) кислая порода	Асфальт	Бетон/ цемент
1	Amblystegium serpens	++	+	-	-
2	Abietinella abietina	+/-	+	-	+
3	Barbula unguiculata	++	+	+	+
4	Brachythecium mildeanum	++	-	+	-
5	Brachythecium salebrosum	++	-	+	-
6	Bryum argenteum	++	+	+	+
7	Bryum caespeticium	++	-	+	+
8	Callicladium haldanianum	+/-	-	-	-
9	Ceratodon purpureus	++	+	+	+
10	Climacium dendroides	+/-	-	-	-
11	Dicranum polysetum	+/-	-	-	-
12	Didymodon rigidulus	+/-	+	-	-
13	Ditrichum flexicaule	++	-	-	+
14	Grimmia longiristris	+/-	-	-	+
15	Pylaisia polyantha	+/-	-	-	-
16	Plagiomnium cuspidatum	+/-	+	+	-
17	Pseudoleskeella nervosa	++	+	-	+
18	Syntrichia ruralis	++	+	+	+

Рисунок 9. Определение найденных образцов горных пород

Свойства горных пород	Гранит	Известняк	Доломит	Кварцит
Цвет	Серый, белый, розоватый, оранжевый	Белый или светло-серый	Бесцветный или белый, желтоватый, буроватый	Светло-серый и серый, иногда красноватый
Блеск	Переливается крупинками	Не блестит	Стекланный до матового и перламутрового	Характерен блеск и лучистость
Твердость	Твердый, прочный	Твердый, непрочный	Твердый, хрупкий	Высокая (царапает стекло), хрупкий
Структура	Зернистая	Слоистая	Зернистая	Зернистая
Происхождение	Магматическое (вулканическое)	Осадочное	Осадочное	Метаморфическое
ОПРЕДЕЛЕНИЕ С ПОМОЩЬЮ ХИМИЧЕСКОГО РЕАКТИВА (раствора соляной кислоты НСl)	С соляной кислотой не реагирует	Отличить доломит от известняка довольно просто с помощью соляной кислоты. Известняк при воздействии кислоты бурно вскипает, а доломит реагирует гораздо сдержаннее, полностью растворяясь только при нагревании.		Не реагирует
				

Приложение 9

Рисунок 10. Количественное определение серы в эпилитных образцах некоторых мхов и лишайников фотометрией (проведенное нами в лаборатории ЧелГУ, 2020 г.)

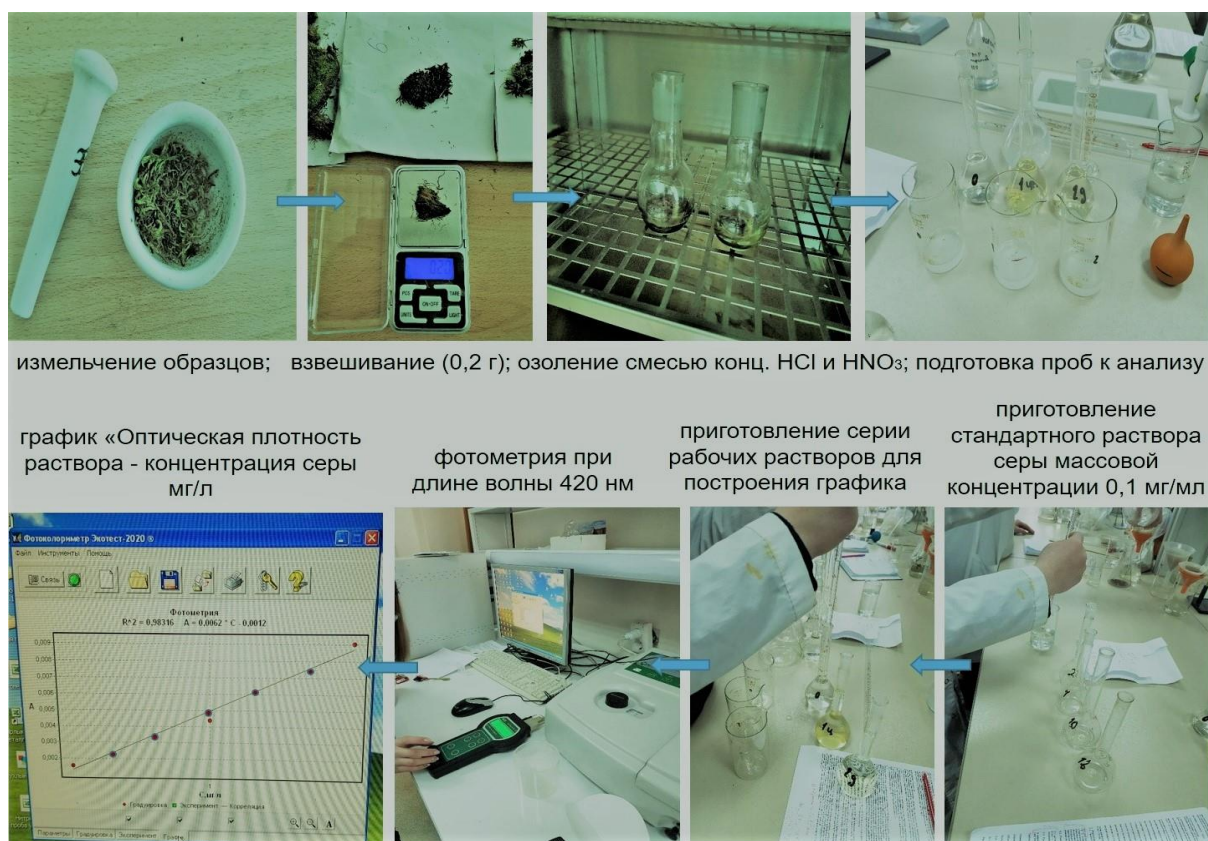


Таблица 5. Количественное определение серы в собранных образцах эпилитов

Номер образца	Название образца	Оптическая плотность, Dcp	Содержание серы в растворе, мг/л	Содержание валовой серы в растениях (в % на воздушно-сухое вещество)
1	<i>Ceratodon purpureus</i> (вблизи автотрассы)	0,282	0,442	0,221
2	<i>Ceratodon purpureus</i> (в глубине бора)	0,062	0,112	0,056
3	<i>Bryum argenteum</i> (вблизи автотрассы)	0,413	0,620	0,310
4	<i>Bryum argenteum</i> (в глубине бора)	0,071	0,121	0,061
5	<i>Physcia caesia</i> (вблизи автотрассы)	0,282	0,420	0,210
6	<i>Physcia caesia</i> (в глубине бора)	0,087	0,133	0,067
7	<i>Xanthoria parietina</i> (вблизи автотрассы)	0,377	0,566	0,283
8	<i>Xanthoria parietina</i> (в глубине бора)	0,050	0,101	0,051

Приложение 10

Рисунок 11,12. Коллекция собранных в городском бору мхов-лишайников-эпилитов (2018-2020 г.г.)



Коллекция эпилитных мхов и лишайников Челябинского городского бора (2018-2019 г.г.)

Callitrichum haldanianum



Syatrichia ruralis



Plagiomnium cuspidatum



Abietinella abietina



Bryum argenteum



Траверт



Lepraria vonauxii



Cladonia cariosa



Flavopunctelia soredica



Valpicida pinastri



Cladonia coniocraea



Hypocenomyce scalaris



Physcia caesia



Peltigera rufescens



Ceratodon purpureus



Pseudoleckelia nervosa



Climacium dendroideum



Dicranum polysetum

