

Государственное бюджетное нетиповое
образовательное учреждение «Санкт-Петербургский
городской Дворец творчества юных»
Эколого-биологический центр «Крестовский остров»
Лаборатория Экологии Морского Бентоса (Гидробиологии)

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЧЁРНОЙ ПЯТНИСТОСТИ (*RHYTISMA
ACERINUM*) НА ТЕРРИТОРИИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА И
ПРИГОРОДОВ В 2021 ГОДУ

Егоров Владимир Александрович, 8 класс

Научный руководитель:

*Аристов Дмитрий Алексеевич,
кандидат биологических наук, научный сотрудник
ФБГУН “Зоологический институт РАН”,
педагог дополнительного образования
ЭБЦ “Крестовский остров” СПбГДТЮ.*

Санкт-Петербург

2021

Оглавление

Введение.....	2
Материалы и методы.....	3
Благодарности.....	5
Результаты.....	5
Обсуждение.....	11
Выводы.....	13
Литература.....	14

Введение

Чёрная пятнистость клёнов с недавних пор стала явлением, широко обсуждаемым горожанами. Хорошо заметные пятна на желтеющих листьях привлекает внимание людей и заставляет их беспокоиться о здоровье деревьев, состоянии окружающей среды, а также об угрозе их собственному здоровью. В своей работе я попытался разобраться с этой проблемой.

Паразитический сумчатый гриб Ритисма клёновая, *Rhytisma acerinum* вызывает болезнь клёнов под названием “чёрная пятнистость”, которая проявляется в виде пятен соответствующего цвета с характерной жёлтой каймой некротизированных тканей диаметром около 1.5 см на поверхности листьев Клёна платанолистного (*Acer palatnoides*) (Jones, 1925; Leith, Fowler, 1987). Гриб широко распространён на всей территории Европы. Жизненный цикл *R. acerinum* следующий: весной, когда у клёнов появляются первые листья, происходит их заражение спорами грибов, перезимовавших под клёном на опавших прошлой осенью листьях. Затем, летом в течение 6-8 недель длится вегетативная фаза, к концу которой маленькие чёрные пятна (стромы) окружаются жёлтой каймой. Впоследствии стромы растут, формируя пятна большего диаметра, причём развитие происходит и после опадания листьев (Leith, Fowler, 1987). Стромы представляют собой переплетенные гифы, полуразрушенный эпидермис листа, а также органы спороношения. Внутри стром происходит образование органов бесполого размножения - пикнидий, а также плодовых тел - апотеций. В пикнидиях развиваются конидиоспоры, а в апотециях происходит половой процесс и развитие асков (сумок) с аскоспорами внутри (Jones, 1925). Эти споры и заражают новые листья клёна, замыкая таким образом жизненный цикл (Leith, Fowler, 1987).

Однако в различных местах и в разное время наблюдается разный уровень заражения листьев ритисмой. Где-то она вовсе отсутствует, а где-то встречается в большом количестве практически на каждом листе. Отсюда следует, что на распространение и интенсивность заражения *R. acerinum* влияют какие-то факторы. Для их выявления в Эдинбурге (Шотландия) было проведено исследование. Оно показало, что важным фактором является количество листового опада с инокулюмом под клёном. Также было доказано, что на уровень заражения влияет высота расположения листьев на дереве и влажность во время зимнего и весеннего периодов (Leith, Fowler,

1987). В другой работе было показано, что *R. acerinum* чувствительна к содержанию сернистого газа (SO₂) в атмосфере и не может прорасти в листе при концентрации выше 85-90 мкг/м³. Эта чувствительность сохраняется только в момент заражения, совпадающим с моментом распускания листьев клёна (Bevan, Greenhalgh, 1976).

Санкт-Петербург - большой город с развитой инфраструктурой, и выявление факторов, обуславливающих пространственную и временную неоднородность распространения и количественного развития *R. acerinum* представляется крайне интересной исследовательской задачей. Между тем систематическое изучение этого вопроса по нашим данным отсутствует. Мы нашли всего одну опубликованную работу относительно степени заражения клёнов *R. acerinum* в парке Сергиевка в 2017 (Адамчик, 2017), в связи с чем появилась возможность оценить межгодовую изменчивость уровня заражения.

Целью нашей работы стало изучение особенности распространения и уровня заражения чёрной пятнистости клёна *Rhytisma acerinum* на территории Санкт-Петербурга и некоторых районов Ленинградской области. В рамках поставленной цели мы решали следующие задачи:

1. Изучить распространение *Rhytisma acerinum* на территории Санкт-Петербурга и пригородов;
2. Выявить особенности этого распространения;
3. Оценить возможное влияние загрязнения атмосферы с уровнем заражения клёнов ритисмой;
4. Изучить межгодовую динамику уровня заражения *R. acerinum* по доступным данным.

Материалы и методы

Мы начали сбор материала, то есть опавших листьев Клёна платанолистого (*Acer platanoides*) с октября 2021 года. Так как для наших целей нам требовался максимальный охват (желательно было собрать листья клёнов из разных районов города), мы попросили учащихся Лаборатории экологии морского бентоса и гидробиологии (волонтёров) помочь нам в сборе материала. Каждому волонтёру предлагалось собрать репрезентативную выборку листьев (35-40 штук). Для этого мы предлагали собрать случайно каждый попавшийся пятый или десятый лист под разными деревьями. В результате с 05.10.2021 по 24.10.2021 было собрано 1624 листа с 47 мест Санкт-Петербурга и близлежащих пригородов. Для каждого

места были указаны район и место сбора. В Лаборатории на каждом листе мы подсчитывали количество стром гриба *Rhytisma acerinum*, или указывали их отсутствие. Данные затем заносились в электронные таблицы и обрабатывались с помощью языка R (R Core Team, 2019). Картографической основой для построения карт заражения клёнов служили открытые данные системы OpenStreetMap (OSM). Для каждого места сбора вычислялось количество заражённых листьев, а также общее количество листьев. Если сборы из одной точки производились несколько раз, такие выборки объединялись. Для сводной таблицы по районам выборки из этого района также объединялись. Кроме того, мы вычисляли среднее количество пятен на листьях (с учётом нулевых значений), производя объединение выборок, как и в предыдущем случае.

Для оценки содержания сернистого газа (SO_2) в атмосфере над Санкт-Петербургом мы воспользовались открытыми данными автоматического станций мониторинга атмосферного воздуха Санкт-Петербурга, опубликованных на Экологическом портале Санкт-Петербурга (www.infoeco.ru). Использовалось два типа данных. Во-первых, усреднённые за год данные максимального суточного значения SO_2 по данным станций автоматического мониторинга, опубликованные в “Докладе об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2020 году” (Доклад..., 2020). Во-вторых, ежедневные опубликованные данные за период с 9 по 17 мая 2021 года были вручную объединены в таблицу силами волонтеров Лаборатории экологии морского бентоса (гидробиологии). Данные о содержании в атмосферном воздухе SO_2 приводились “как есть”, в долях от ПДК, которое равно 50 мкг/м^3 (СанПин 1.2.3685-21 от 28.01.2021). В случае, если в исходных данных указывалось значение “менее 0.1”, оно принималось как 0.05. Пространственные данные о содержании сернистого газа в атмосфере Санкт-Петербурга были получены для 9 автоматических станций мониторинга согласно адресам их расположения. Для удобства анализа данные за 9-17 мая были разделены на два периода: с 9 по 12 и с 13 по 17 мая. Для каждого из этих периодов рассчитывалось максимальное суточное значение по каждой станции. Далее значения содержания SO_2 между станциями были рассчитаны методом интерполяции, реализованным в пакете MapGAM в языке R (Bai et al., 2019).

Благодарности

Выражаю благодарность всем учащимся и выпускникам Лаборатории экологии морского бентоса (гидробиологии), а также остальным причастным к сбору материала (листья клёнов) и получения данных по SO₂. Также хочу особо поблагодарить своего научного руководителя Дмитрия Алексеевича Аристова.

Результаты

В районах Санкт-Петербурга и области, охваченных нашим исследованием паразитический гриб Ритисма кленовая (*Rhytisma acerinum*) встречается практически на всей территории Санкт-Петербурга за исключением Колпинского района, из которого мы обладаем только очень маленькой выборкой всего в пять листьев. Самая большая заражённость в Петродворцовом, Выборгском и Калининских районах, где заражение достигает 50% и более. Самая маленькая заражённость в Колпинском, Центральном, Невском и Фрунзенском районах с заражённостью менее 10%. В Ленинградской области во Всеволожском районе заражённость 72%, в остальных двух исследованных районах - около 50% (**Табл. 1**).

Таблица 1. Распространённость *Rhytisma acerinum* в Санкт-Петербурге и Ленинградской области в 2021 году.

Санкт-Петербург	Адмиралтейский	20%
	Василеостровский	10%
	Выборгский	64%
	Калининский	50%
	Кировский	21%
	Колпинский	0%
	Красногвардейский	-
	Красносельский	17%
	Кронштадтский	-
	Курортный	-
	Московский	21%
	Невский	7%
	Петроградский	27%
	Петродворцовый	73%
	Приморский	21%
	Пушкинский	-
	Фрунзенский	9%
Центральный	3%	
Ленинградская область	Всеволожский	72%
	Выборгский ЛО	46%
	Гатчинский	49%

Разброс в количестве стром (пятен) гриба на одном листе составил от 0 до 29. Среднее количество стром гриба на листе составляет от 0.8. Распределение среднего количества пятен на листьях по районам представлено в **таблице 2**. Наибольшее их количество на один лист наблюдается в Петродворцовом и Выборгском районах (более 2 стром в среднем на один лист). В области среднее количество стром на одном листе меньше, чем в Санкт-Петербурге - только во Всеволожском районе более 1.5 стром на один лист (**Табл. 2**).

Таблица 2. Среднее количество пятен (strom гриба) на листьях клёна в Санкт-Петербурге и Ленинградской области в 2021 году.

Субъект	Район	Среднее кол-во пятен
Санкт-Петербург	Адмиралтейский	0,22
	Василеостровский	0,14
	Выборгский	2,83
	Калининский	1,91
	Кировский	0,36
	Колпинский	0
	Красногвардейский	-
	Красносельский	0,23
	Кронштадтский	-
	Курортный	-
	Московский	0,24
	Невский	0,08
	Петроградский	0,51
	Петродворцовый	3,28
	Приморский	0,33
	Пушкинский	-
	Фрунзенский	0,09
Центральный	0,03	
Ленинградская область	Всеволожский	1,69
	Выборгский ЛО	0,89
	Гатчинский	0,84

В целом, чем больше заражённых листьев в выборке по району, тем больше суммарное количество strom на каждом листе, однако Приморский район явно выбивается из этой тенденции (**рис. 1**)

Для наглядности все точки сбора были закартированы (**рис. 2**). Наблюдается явная тенденция, которая заключается в том что уровень заражения растёт в направлении северо-запада. В пригородах уровень заражения всегда выше.

Нам не удалось найти связь между усредненным за год максимальным суточным значением загрязнённости воздуха сернистым газом (SO₂) и степенью заражённости клёнов чёрной пятнистостью (**рис. 3**). Поскольку известно, что чувствительность к SO₂ у ритисмы проявляется только в период заражения, совпадающим с распусканием листьев (Leith, Fowler, 1987), мы сравнили максимальную заражённость в чувствительный период (9-17 мая) и степень заражённости, однако явной пространственной взаимосвязи все же не обнаружили (**рис. 4, 5**).

Для оценки межгодовой изменчивости мы оценили заражённость клёнов *Rhytisma acerinum* в парке Сергиевка. В 2021 году 95,3% листьев было поражено чёрной пятнистостью, среднее количество стром гриба на листе составляет 5,16 шт. при максимуме 22 стромы на лист.

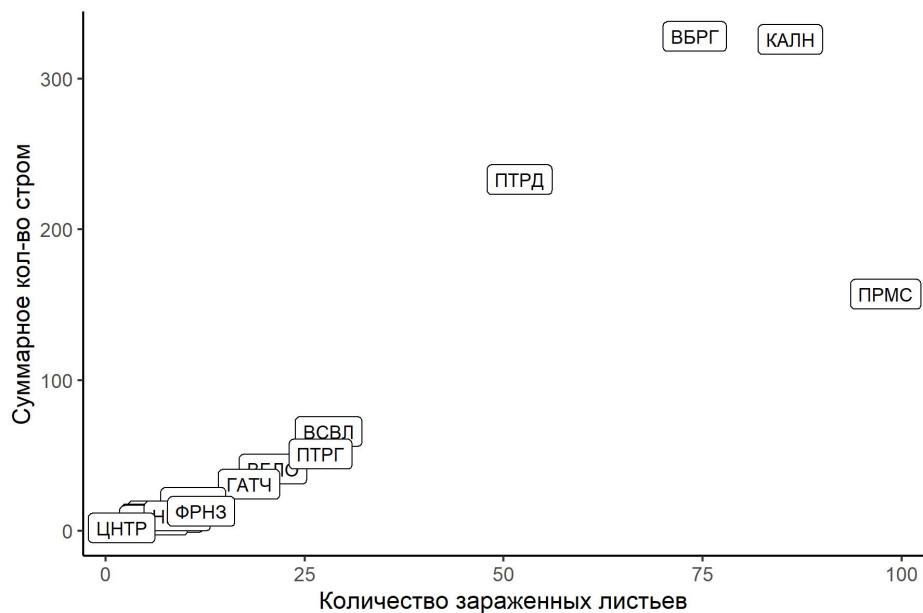


Рисунок 1. Связь количества заражённых листьев и суммарного количества стром по районам. Районы: ЦНТР - Центральный, ФРНЗ - Фрунзенский, ГАТЧ - Гатчинский ЛО, ПТРГ - Петроградский, ВСВЛ - Всеволожский ЛО, ПТРД - Петродворцовый, ВБРГ - Выборгский, КАЛН - Калининский, ПРМС - Приморский.

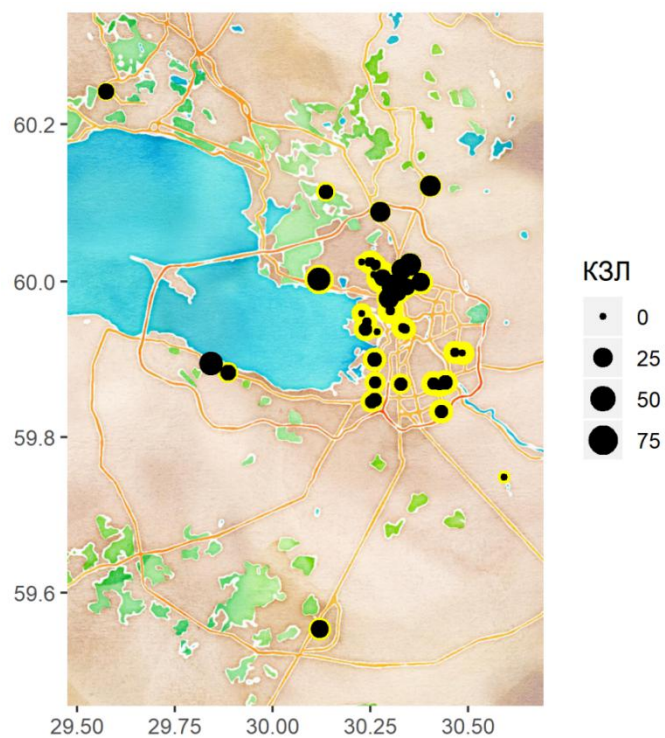


Рисунок 2. Схема распределения количества заражённых листьев (КЗЛ) на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Жёлтый ободок - общее количество собранных листьев, чёрными кружками обозначено количество заражённых листьев.

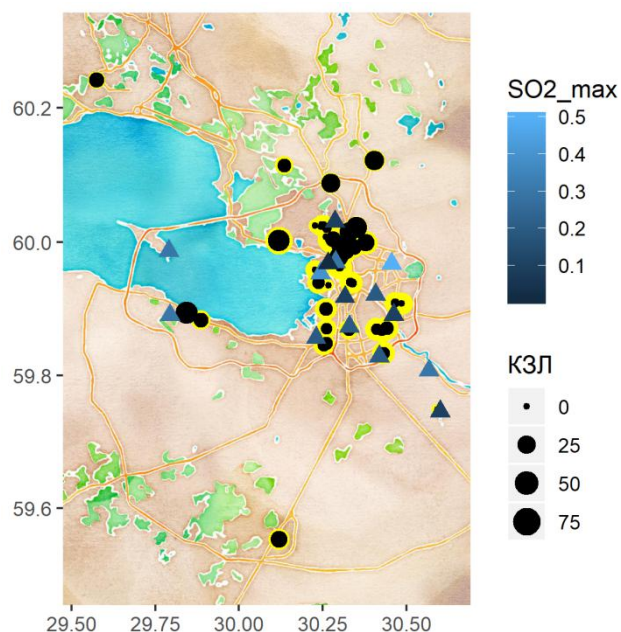


Рисунок 3. КЗЛ и усреднённое годовое максимальное суточное содержание SO_2 в атмосфере (SO_2_{max}). Треугольниками отмечено местоположение станций слежения, оттенок синего - содержание SO_2 .

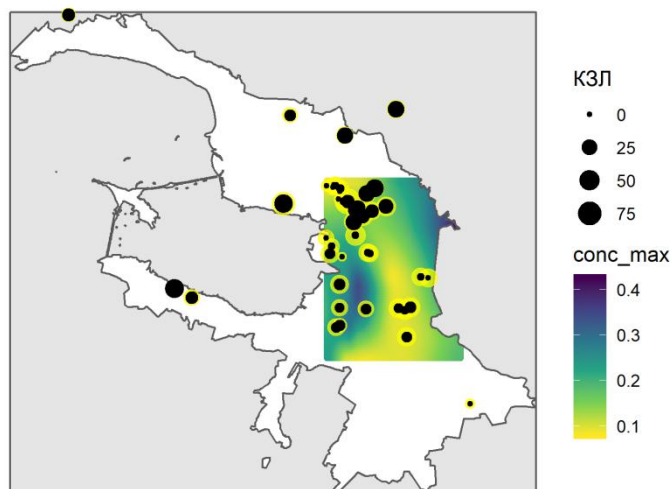


Рисунок 4. КЗЛ и максимальная концентрация SO₂ (conc_max) в атмосфере Санкт-Петербурге в “чувствительный” период для *Rhytisma acerinum* (9-12 мая). Цветное поле - предсказания на основе интерполяции данных от 9 станций слежения за качеством воздуха (максимальные значения за исследованный период), остальные изображения те же, что и на предыдущих рисунках.

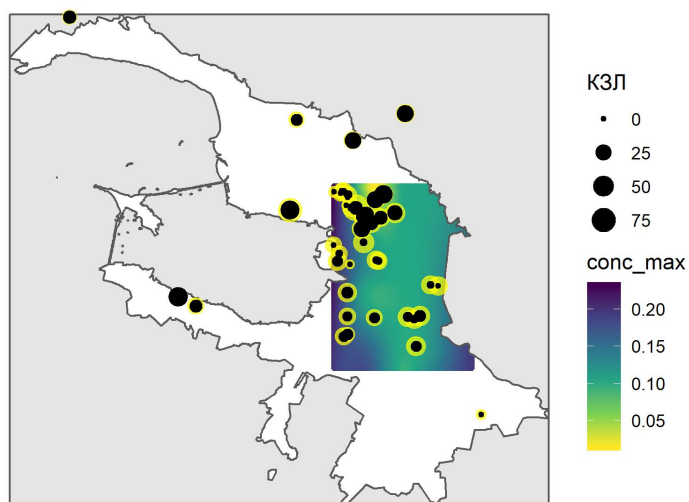


Рисунок 5. КЗЛ и максимальная концентрация SO₂ (conc_max) в атмосфере Санкт-Петербурге в “чувствительный” период для *Rhytisma acerinum* (13-17 мая). Цветное поле - предсказания на

основе интерполяции данных от 9 станций слежения за качеством воздуха (максимальные значения за исследованный период), остальные изображения те же, что и на предыдущих рисунках.

Обсуждение

Rhytisma acerinum встречается по всей обследованной территории Санкт-Петербурга и области, поскольку для нее здесь создаются необходимые условия: наличие деревьев - хозяев (клёнов *Acer platanoides*), а также необходимое количество перезимовавших особей гриба на листьях прошлого года. При этом концентрация SO₂ в воздухе намного ниже критической для заражения ритисмой. Максимальное зарегистрированное значение - 0,5 ПДК, то есть 25 мкг/м³ (СанПин 1.2.3685-21 от 28.01.2021). Между тем, для успешного прорастания *R. acerinum* концентрация SO₂ должна быть ниже 85 мкг/м³ (Bevan, Greenhalgh, 1976). Что касается Колпинского района, где мы не обнаружили заражённых ритисмой кленовых листьев, то выборка в 5 листьев представляется нам явно недостаточной для выявления заражённости. Следует отметить также, что мы не имеем выборки из четырёх районов Санкт-Петербурга: Кронштадского, Курортного, Красногвардейского и Пушкинского. Тем не менее, нет причин полагать, что в этих районах *R. acerinum* не представлена, например на страницах паблика “Сестрорецк” социальной сети “ВКонтакте” на фотографиях жителей отчётливо видны чёрные пятна на листьях клёнов.

Rhytisma acerinum распространена по исследованной нами территории неравномерно (рис. 2). Во-первых, за пределами Санкт-Петербурга обследованные нами участки Ленинградской области показали более высокий уровень заражения (табл. 1). Мы полагаем, что причина этого в том, что точки сбора листьев находятся либо в парке (Гатчинский парк), либо в пределах лесных массивов (Рощино, Песочное), либо на территории приусадебных участков (Мистолово, Всеволожский район). На всех этих территориях не производится систематическая уборка листьев клёна, вследствие чего сохраняется возможность успешного созревания спор паразита. Возможно, по сходным причинам более высокий уровень заражения клёнов наблюдается на севере города, в котором располагается больше зелёных зон в целом. Кроме того, показано, что деревья, растущие группой больше подвержены заболеванию, чем одиноко стоящие клёны (Leith, Fowler, 1987). Для парков и скверов такое

расположение деревьев более характерно, чем для стандартного озеленения улиц. Стоит отметить и тот факт, что выборки из северных районов города более многочисленны, чем из южных. Эта особенность, скорее всего, связана с местом проживания большинства учащихся ЭБЦ “Крестовский остров”, в том, числе, и наших волонтеров. На будущее стоит учесть этот момент и стимулировать территориально более равномерные сборы листьев. Суммарное количество найденных пятен на листьях естественным образом связано с количеством зараженных листьев (рис. 1). Однако, при одном и том же уровне заражения количество стром на листе может отличаться. Этот параметр зависит от количества успешно проросших спор гриба (Jones, 1925). А это, с свою очередь зависит, во-первых от количества инокулюма в перезимовавшем листовом опаде, от расположения листьев - мишеней над землей (Leith, Fowler, 1987), а также от размера самих листьев. Мы полагаем, что сочетание этих факторов привело к тому, что в Приморском районе количество стром на листьях меньше (рис.1), чем мы могли бы предполагать из уровня заражения. Действительно, если допустить, что в Приморском районе в основном зрелые деревья, то большинство листьев располагаются выше от земли. Это предположение ещё требует проверки. Кроме того, размер листьев - мишеней во время заражения ритисмой может быть меньше в Приморском районе, так как сумма градусодней здесь, на севере города меньше, чем, например, на юге.

Мы не обнаружили заметной связи уровня заражения *R. acerinum* клёнов и содержанием сернистого газа в атмосфере (рис. 3-5), несмотря на то, что ритисма предлагалась в качестве индикатора загрязнения воздуха (Bevan, Greenhalgh, 1976). Объяснений этому факту может быть несколько: во-первых, уровень загрязнения SO₂ в Санкт-Петербурге по сравнению территорией северной Великобритании, ограниченной исследованием 1976 г. (Bevan, Greenhalgh, 1976) сильно ниже - по их классификации наш уровень загрязнения относится к категории “относительно чистый воздух” (“relatively pure air”). Следовательно, в любом случае это благоприятные условия для *R. acerinum*. Кроме того, в этой же работе показано, что после заражения ритисма невосприимчива к загрязнению воздуха. По всей видимости, использовать поэтому среднегодовые данные по концентрации SO₂ некорректно. Однако, даже в “чувствительные” для ритисмы периоды мы не нашли пространственной взаимосвязи SO₂ с уровнем заражения (рис. 4-5). Помимо первого соображения относительно низкого базового уровня загрязнения в СПб, отметим ещё, что количество станций слежения (9) для наших целей явно недостаточно, а также что ими

охвачена гораздо меньшая площадь, чем обследованная нами на предмет заражённости *R. acerinum* территория.

Сравнение наших данных по заражённости клёнов в парке Сергиевка с литературными (Адамчик и др., 2017) показало, что она остаётся примерно на таком же уровне (95-100% в 2017 году против 95,3% в 2021). Вероятно, этот факт свидетельствует об относительном постоянстве условий в данном месте. С другой стороны, возможно, что динамика обилия *R. acerinum* циклична, и наши наблюдения застали одну и ту же численность в фазе цикла. Для выяснения этого вопроса необходим ежегодный мониторинг на протяжении хотя бы 4-5 лет.

Выводы

1. Ритисма *Rhytisma acerinum* распространена на всей обследованной нами территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области, в среднем каждый третий-четвертый лист имеет на своей поверхности чёрные пятна стром гриба. Это означает, что здесь условия для произрастания *R. acerinum* довольно благоприятные.

2. Распределение стром *Rhytisma acerinum* по исследованной территории неоднородно: больше всего заражённых листьев на северо-западе города. Мы связываем этот факт с особенностями локальных условий для заражения листьев - в основном, количества листового опада, оставшегося с прошлой осени.

3. Мы не обнаружили связи между содержанием SO₂ в атмосфере и уровнем заражения ритисмой. Скорее всего, причина этого в том, что на всей территории Санкт-Петербурга уровень загрязнения SO₂ довольно низок и слабо колеблется от станции к станции мониторинга.

4. Несмотря на практически одинаковый уровень заражения клёнов в парке Сергиевка в 2017 и 2021 году, мы не можем утверждать, что ситуация здесь стабильна, так как для этого необходимы ежегодные наблюдения.

Литература

1. Адамчик М. и др. Изучение заболеваемости листьев клёна черной пятнистостью (на примере ООПТ Парк" Сергиевка")// Сохранение природной среды и особо охраняемые природные территории (К 100-летию мониторинга экосистем Петергофа и его окрестностей). – 2017. – С. 167-171.
2. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2020 году/ Под редакцией Д.С. Беляева, И.А. Серебрицкого – Ижевск.: ООО «ПРИНТ», 2021. - 253с.
3. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 N2 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы от 28.01.2021 N 1.2.3685-21
4. Bai L. et al. (2019). MapGAM: Mapping Smoothed Effect Estimates from Individual-Level Data. R package version 1.2-5. <https://CRAN.R-project.org/package=MapGAM>
5. Bevan R. J., Greenhalgh G. N. *Rhytisma acerinum* as a biological indicator of pollution //Environmental Pollution (1970). – 1976. – Т. 10. – №. 4. – С. 271-285.
6. Jones S. G. Life-history and cytology of *Rhytisma acerinum* (Pers.) Fries //Annals of Botany. – 1925. – Т. 39. – №. 153. – С. 41-75.
7. Leith I. D., Fowler D. Urban distribution of *Rhytisma acerinum* (Pers.) Fries (tar spot) on sycamore //New Phytologist. – 1988. – Т. 108. – №. 2. – С. 175-181.
8. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing// 2019.- Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.