

Муниципальное общеобразовательное учреждение
«Будогощская средняя школа имени Героя Советского Союза М.П. Галкина»

**Исследование качества воздуха
в посёлке Будогощь
по состоянию хвои сосны**

Подготовила:

Уемлянина Ксения Ярославовна,
обучающаяся 8 класса

Руководитель:

Павлова Татьяна Александровна,
учитель химии и биологии МОУ
«Будогощская СОШ им. М.П. Галкина»

гп. Будогощь Ленинградская область

2023

Оглавление

Введение.....	3
Глава 1. Изучение экологического состояния природной среды в условиях антропогенной нагрузки.....	5
1.1. Экологическое состояние атмосферного воздуха в Ленинградской области и Киришском районе.....	5
1.2. Влияние загрязнения атмосферного воздуха на состояние сосны обыкновенной.....	6
1.3. Степень изученности объекта исследования.....	8
Глава 2. Методы и результаты исследования.....	9
2.1. Методика оценки качества воздуха по состоянию сосны обыкновенной.....	9
2.2. Результаты исследования.....	13
Выводы.....	19
Заключение.....	20
Список использованной литературы.....	21
Приложения.....	22

Введение

Атмосферный воздух – важнейший компонент окружающей среды, во многом определяющий условия жизни всех живых существ в природе. Загрязнение атмосферы под влиянием антропогенных факторов оказывает отрицательное влияние на все среды обитания, состояние здоровья человека и жизнедеятельность живых организмов [6, 8,10].

На территории Киришского района расположены промышленные предприятия, оказывающие влияние на состояние природной среды, в частности на качество атмосферного воздуха. В связи с этим **актуально** проведение мониторинговых исследований экологического состояния воздуха, выявление **проблем** и планирование мероприятий по улучшению экологической обстановки местности.

Социальная значимость исследования обусловлена тем, что территория Будогощского городского поселения служит местом массового отдыха людей, в окрестностях поселка расположены оздоровительные комплексы и детские лагеря отдыха. Исследуемая территория находится на границе комплексного памятника природы «Сосновые леса на камах в окрестностях поселка Будогощь», организованного в 1993 году с целью сохранения уникальных форм водно-ледникового рельефа и сосновых лесов [7].

Исходя из актуальности и социальной значимости исследования, **целью работы** является *определение экологического состояния воздуха в поселке Будогощь по состоянию и продолжительности жизни хвои сосны.*

Для достижения цели поставлены следующие **задачи**:

1. Оценить уровень антропогенной нагрузки на пробных площадках.
2. Охарактеризовать состояние хвои сосны обыкновенной на площадках с разным уровнем антропогенной нагрузки.
3. Определить класс загрязнения атмосферного воздуха на пробных площадках.
4. Сравнить результаты исследований, полученные методом биоиндикации в 2017 и 2022 гг.

Объект исследования – экологическое состояние атмосферного воздуха в посёлке Будогощь.

Предмет исследования – определение качества воздуха по состоянию сосны обыкновенной, растущей в окрестностях посёлка Будогощь.

Рабочая гипотеза: если хвоя сосны чувствительна к загрязнению атмосферы, то биоиндикация качества воздуха по состоянию хвои должна подтвердить, что состояние воздуха в посёлке Будогощь соответствует норме и экологическая оценка качества воздуха не противоречит результатам, полученным с использованием других методик.

Основными **методами исследования** являются оценка степени повреждения и продолжительности жизни хвои сосны по стандартной методике [1,8,12] и сравнение полученных результатов с результатами 2017г.

Для изучения качества воздуха были использованы материалы исследовательских работ, выполненных обучающимися школы в период с 2013г. по 2017г. [3,4,5].

Исследование проводилось в апреле – июне 2022 г. на территории поселка Будогощь Киришского района Ленинградской области.

Глава 1. Изучение экологического состояния природной среды в условиях антропогенной нагрузки

1.1. Экологическое состояние атмосферного воздуха в Ленинградской области и Киришском районе

Ленинградская область расположена на северо-западе России и является важной промышленной территорией страны. В области отмечено около 16000 источников загрязнения атмосферного воздуха [10].

Наибольшие выбросы загрязняющих веществ отмечаются в следующих муниципальных образованиях области: Бокситогорский МР - 16 483 тонн; Волховский МР – 15 388 тонн; Всеволожский МР - 20 768 тонн; Выборгский МР - 32 634 тонн; Гатчинский МР - 23 169 тонн; Кингисеппский МР - 38 962 тонн; **Киришский МР - 23 314 тонн** и Тихвинский МР - 10 247 тонн [13].

Основными загрязнителями атмосферного воздуха являются **предприятия (стационарные источники)**, подлежащие федеральному государственному экологическому надзору. В г. Кириши таким предприятием является ОАО «Киришинефтеоргсинтез». В непосредственной близости к Киришскому району находятся Волховский и Тихвинский районы, на территории которых расположены металлургическое производство и производство готовых металлических изделий, химическое производство (г. Волхов), Тихвинский ферросплавный завод. Данные предприятия тоже могут оказывать воздействие на экологическое состояние атмосферного воздуха в Киришском районе. [14].

По данным Федеральной службы Росприроднадзора РФ выбросы в атмосферу загрязняющих веществ за **2021 год** в Ленинградской области составили 234 тыс. тонн, в том числе: диоксид серы– 10,2 тыс. тонн, оксид углерода – 56,3 тыс. тонн, оксид азота (в пересчете на NO₂) – 32,8 тонн, углеводороды (без ЛОС) – 61,4 тонн, летучие органические соединения (ЛОС) – 46,9 тыс. тонн [14].

За экологическим состоянием атмосферного воздуха в Киришском районе наблюдения проводятся на 2-х стационарных постах. Таким образом, В Киришах среднегодовая концентрации аммиака составила 0,7 ПДК, сероводорода - 0,5 ПДК. Наиболее высокие значения СИ (стандартный индекс: наибольшая разовая концентрация любого вещества, делённая на ПДК) были отмечены для взвешенных веществ - 2,4, для оксида углерода – 1,4, для сероводорода – 1,4.

Уровень загрязнения воздуха в г. Кириши **в июне 2022 года** квалифицировался как **повышенный** (наибольшая повторяемость превышения ПДКм.р. – 12 %) [15].

В целом, в Киришском районе за период наблюдения с 2012 по 2021 гг. наблюдается тенденция к возрастанию средних концентраций аммиака, диоксида азота, оксида азота; концентрации взвешенных веществ, диоксида серы, суммы ксилолов, бенз(а)пирена, толуола и бензола снизились [14].

Наряду с промышленными предприятиями существенный вклад в загрязнение атмосферы вносят передвижные источники – **автотранспорт и**

железнодорожный транспорт. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от данных источников дополнительно составляют порядка 46,6 тыс. тонн в год. Причем доля автотранспорта по сравнению с промышленностью неуклонно растет [14].

За последние 10-15 лет уровень загрязнения воздушного бассейна области заметно снижается, но все же вызывает опасение. Одной из важнейших мер по сокращению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу является увеличение объемов финансирования на повышение эффективности действующих и на ввод в эксплуатацию новых очистных установок, на совершенствование технологических процессов.

Для снижения экологической нагрузки на города Ленинградской области необходимо обновление подвижного состава общественного транспорта (автобусы, работающие на газомоторном топливе). Также возможно снижение выбросов от личного автомобильного транспорта за счет использования населением автомобилей с наилучшими экологическими характеристиками, в том числе работающие на газомоторном топливе [13].

Таким образом, по суммарному показателю антропогенного воздействия на природные среды, экологическая ситуация на территории Ленинградской области и Киришского района оценивается как «стабильная и умеренно-напряженная».

1.2. Влияние загрязнения атмосферного воздуха на состояние сосны обыкновенной

Наиболее сильно реагируют на загрязнение среды хвойные древесные растения, которые могут служить биоиндикаторами круглогодично. Использование хвойных весьма информативно не только на обширных, но и на малых территориях (например, влияние автодороги на прилегающую зону, если она примыкает к хвойному лесу) [9,11].

Считается, что для условий лесной полосы России наиболее чувствительны к загрязнению воздуха сосновые леса. Это обуславливает выбор сосны как важнейшего индикатора антропогенного влияния, принимаемого в настоящее время за «эталон биодиагностики». Информативными по техногенному загрязнению являются *морфологические и анатомические изменения*, а также продолжительность жизни хвои.

В незагрязненных лесных экосистемах основная масса хвои сосны здорова, не имеет повреждений. Лишь около 10% хвои имеет светло-зеленые пятна и некротические точки микроскопических размеров, равномерно рассеянные по всей поверхности хвоинок. Площадь, занимаемая хлорозами и некрозами, не превышает 5% поверхности хвоинок [8,12].

По мере приближения к источнику загрязнения состояние хвои резко ухудшается, снижается продолжительность ее жизни. Характерными признаками неблагополучия газового состава атмосферы служат появление разного рода хлорозов и некрозов, уменьшение размеров ряда органов (длины хвои, побегов текущего года и прошлых лет, их толщины, размера шишек, сокращение величины и числа заложенных почек). Ввиду меньшего

роста побегов и хвои в длину в загрязненной зоне наблюдается сближенность расстояния между хвоинками, уменьшение ветвления, чем на контрольных (условно-чистых) участках [8,11].

Под действием загрязнителей происходит *подавление репродуктивной деятельности сосны*: снижается число шишек на дереве, уменьшается число нормально развитых семян в шишках. Размеры шишек снижаются на 15-20%, а объем и масса – на 40-50% [8, 12]. Эти явления прогрессируют, вплоть до полного отмирания дерева [2].

В биоиндикации используются следующие видимые *морфологические изменения у сосны обыкновенной, происходящие под влиянием загрязняющих веществ*:

1. *Хлороз* – раннее старение (побурение, побронзовение) хвои.
2. *Некроз* – омертвление участков хвои.

При развитии некрозов вначале изменяется окраска, затем пораженные участки высыхают, разрываются, выцветают или окрашиваются в бурый цвет за счет дубильных веществ.

3. *Увядание и опадение хвои* (часто наблюдается при развитии хлорозов и некрозов).
4. *Изменение размеров хвои*. И увеличение размеров хвои, и уменьшение ее размеров свидетельствует о действии загрязнителей (так, хвоя удлиняется под действием нитратов и укорачивается при действии диоксида серы и т.д.) [8].

В таблице 1 приводится *краткая характеристика основных примесей, содержащихся в выбросах промышленных предприятий и транспорта, и диагностические признаки поражения хвои сосны под их воздействием* [5].

Поражение хвои сосны под действием выбросов промышленных предприятий и автотранспорта

Таблица 1

№ п/п	Компонент	ПДК, мг/м ³	Источники	Признаки поражения сосны
1	Диоксид серы (двуокись серы, сернистый газ, сернистый ангидрид) SO ₂	0,4	Работа предприятий теплоэнергетики, котельных, транспорта (сгорание серосодержащего топлива)	Темно-красная окраска хвои, которая распространяется от основания иглы к ее острию; затем хвоя отмирает и опадает, просуществовав один год.
2	Соединения фтора(в твердом или газообразном состоянии)	0,01	Заводы по производству алюминия, кирпича, керамических изделий, фосфатных удобрений	Побеление хвои, а затем потемнение её концов, которое распространяется к основанию игл. В высоких концентрациях прекращение фотосинтеза, нарушение роста и развития хвои.

3	Хлор (Cl ₂) и хлористый водород(HCl)	1	Заводы по изготовлению калийных солей, применяют в производстве пластмасс и инсектицидов	Темный цвет хвои с серебристым оттенком, появление обесцвеченных участков разных размеров. Хвоинки крошатся, образуя отверстия. При длительном действии низких концентраций края хвоинок краснеют.
4	Смесь окисей азота	2	Заводы по производству азотной, серной кислот и нитратных удобрений; отработанные газы автотранспорта	Покраснение кончиков хвои.

Изучение экологического состояния сосны является одним из наиболее доступных, безопасных и информативных направлений биоиндикации и позволяет оценить уровень антропогенного влияния на окружающую среду, прогнозировать последствия и принимать меры по охране природы [8].

1.3. Степень изученности объекта исследования

Для исследования качества воздуха на территории поселка Будогощь в 2022 году было выбрано 5 пробных площадок размером около 50 x 50 м (см. рис.1; Приложение 2).



Рис. 1. Карта-схема места исследования

Выбор площадок был определен с учетом различного уровня антропогенной нагрузки в указанных местах и в соответствии с проведенным аналогичным исследованием в 2017 году. Источниками антропогенного загрязнения воздуха на данных площадках являются:

1. Автомобильная и железная дороги,
2. Просёлочная дорога с незначительным движением,
3. Котельная Будогощской школы и дорога с незначительным движением,
4. Автомобильная дорога с интенсивным движением,
5. Просёлочная дорога с незначительным движением.

Степень антропогенной нагрузки была оценена в баллах по следующей шкале (см. табл. 2):

Шкала оценки антропогенной нагрузки

Таблица 2

<i>Интенсивность антропогенной нагрузки</i>	<i>Баллы</i>
Незначительная или отсутствует	1
Низкая	2
Средняя	3
Повышенная	4
Высокая	5

На основании проведенных обучающимися школы исследований можно сделать вывод, что в период с 2013 по 2017г. уровень антропогенной нагрузки на указанных пробных площадках практически не изменился. Учет автотранспортной нагрузки на тех же исследуемых участках в 2022 г. показывает незначительное увеличение потока автотранспорта в сравнении с 2017г. (см. Приложение 1, таблица 13).

В весенне-зимний период 2013г. на этих участках воспитанники объединения «Юные экологи» провели исследование проб снега с целью оценки качества воздуха на территории посёлка Будогощь. Большинство химических показателей в пробах талой воды соответствовало норме, что позволило оценить состояние окружающей среды в исследуемом районе как относительно благоприятное [3].

Определение степени загрязненности воздушной среды в поселке Будогощь было продолжено в 2014г. с использованием метода лишеноиндикации. Выявлено достаточное видовое разнообразие лишайников, в том числе наличие кустистых форм. Результаты исследования свидетельствует о том, что территория посёлка Будогощь относится к «зоне нормальной жизнедеятельности лишайников» [4].

В весенний период 2017г. исследовательской группой учащихся проведено исследование по оценке качества воздуха в окрестностях поселка Будогощь, используя метод биоиндикации по состоянию хвои сосны. Класс чистоты воздуха соответствовал I-III классу и определен как чистый и относительно чистый. Таким образом, качество атмосферного воздуха в поселке Будогощь соответствовало норме [5].

Глава 2. Методы и результаты исследования

2.1. Методика оценки качества воздуха по состоянию сосны

Для оценки качества воздуха в поселке Будогощь в 2022 г. проведено повторное мониторинговое исследование с применением метода биоиндикации по состоянию и продолжительности жизни хвои сосны обыкновенной.

Проведение повторного исследования через 5 лет и сравнение полученных результатов обусловлено продолжительностью жизни хвои, поскольку при её повреждении наращивание нормального количества (и качества) хвои требует 3-5 и более лет [8, 10].

Биоиндикация качества атмосферного воздуха по хвое сосны проводилась в несколько этапов:

1. Визуальное определение степени антропогенного воздействия, а также оценка жизненного состояния сосен на пробных площадках [2,8].
2. Оценка состояния и продолжительности жизни хвои сосны на каждой исследуемой площадке [1,8,12].
3. Сравнение результатов исследования на разных пробных площадках и оценка состояния воздушной среды.
4. Сравнение результатов исследования, полученных в 2017г. и 2022г.

Оценка жизненного состояния сосен

Визуальная оценка состояния сосен и степени их нарушенности проводится по следующей шкале (см. табл. 3)[2,5,6,8]:

Шкала оценки состояния сосен

Таблица 3

<i>Балл</i>	<i>Состояние</i>	<i>Характеристика состояния</i>
0	Здоровые деревья	Без внешних признаков повреждения, с густой зеленой кроной. Нормальный для данного места и условий произрастания подрост. Мертвые и отмирающие ветви сосредоточены в нижней части кроны. Продолжительность жизни хвои типична для региона. Повреждения хвои незначительны(не более 5% общей площади) и не сказываются на состоянии дерева.
1	Поврежденные (ослабленные) деревья	Крона слабо ажурная, повреждено насекомыми и болезнями не более 30-40% хвои, укороченный прирост в высоту, усыхание отдельных ветвей в нижней трети кроны. Хлорозы и некрозы занимают не более 10% площади всей хвои дерева. Снижение продолжительности жизни хвои на 1-2 года.
2	Сильно поврежденные (сильно ослабленные) деревья	Крона ажурная, повреждение и усыхание до 60-70% хвои, сильно укороченный прирост или его полное отсутствие, суховершинность. Значительные повреждения и поражения ствола и корневых лап. Появление сухих ветвей в средней и верхней частях кроны, значительные повреждения и поражения ствола, корневых лап. Хлорозы и некрозы занимают более 10% площади хвои всех возрастов, снижение продолжительности жизни хвои в 2-3 раза.
3	Усыхающие деревья	Сильно изреженная крона или отдельные живые ветви с повреждением более 70-80% хвои, отсутствие текущего прироста по высоте, по стволу и корням насечки и свежие единичные поселения стволовых вредителей. Оставшаяся на деревьях хвоя хлоротична, отличается бледно-зеленым, желтоватым или оранжево-красным цветом. Некрозы коричневого, оранжево-красного или черного цвета. Продолжительность жизни хвои не более 1-2 лет, часто на деревьях сохраняется только хвоя текущего года. Большая часть некротичных хвоинок быстро опадает.
4	Свежий сухостой	Деревья, усохшие в текущем году, с желтой или бурой хвоей, часто без нее, по стволу свежие поселения короедов.
5	Старый сухостой	Деревья, усохшие в прошлые годы, хвоя отсутствует, кора и мелкие веточки легко отваливаются, стволовые вредители вылетели.

Оценка состояния и продолжительности жизни хвои сосны

Определение состояния хвои сосны

Для оценки состояния хвои на пробной площадке выбирается 5-10 молодых деревьев сосны с 8-15 мутовками боковых побегов на главном стволе. Всего на площадке отбирают 200-300 пар хвоинок второго и третьего года жизни (на побегах во второй или третьей мутовках сверху).

Анализ хвои проводится в школьной лаборатории. Вся хвоя делится на три части:

- 1 – неповрежденная хвоя,
- 2 – хвоя с пятнами,
- 3 – хвоя с признаками усыхания.

Подсчитывается количество хвоинок в каждой группе. Данные заносятся в таблицу с указанием даты отбора проб на каждом участке (см. табл. 4) [8, 12].

Определение состояния хвои сосны для оценки загрязнения атмосферы

Таблица 4

<i>Повреждение и усыхание хвоинок</i>	<i>Пробные площадки</i>				
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
Общее число обследованных хвоинок					
Количество хвоинок с пятнами					
Процент хвоинок с пятнами					
Количество хвоинок с усыханием					
Процент хвоинок с усыханием					

Пользуясь рис. 2, определяется класс повреждений и усыхания хвои сосны [1,8].

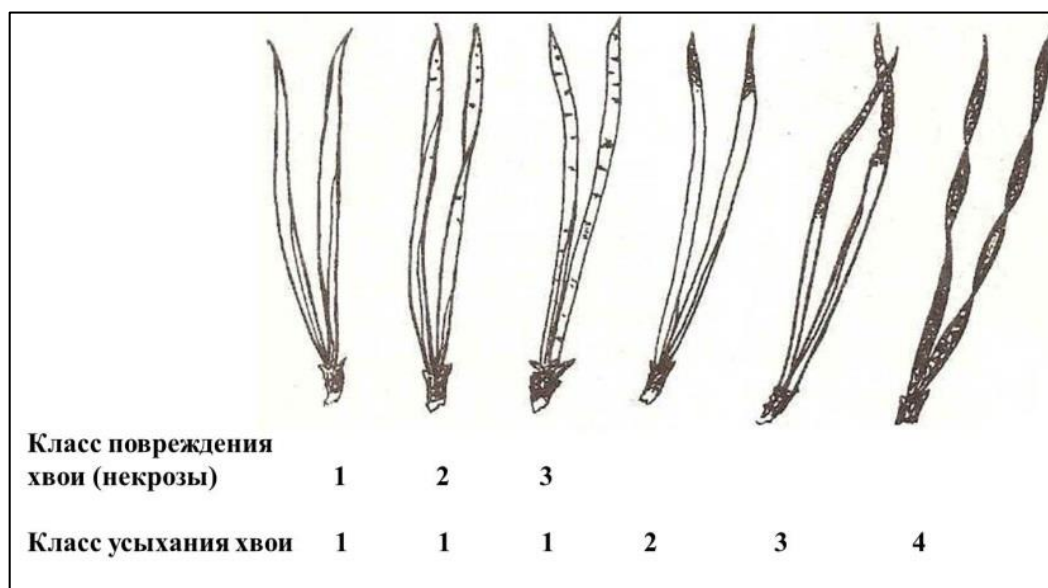


Рис. 2. Классы повреждения и усыхания хвои сосны

Классы повреждения хвои:

- 1 – хвоинки без пятен,
 2 – хвоинки с небольшим числом мелких пятен,
 3 – хвоинки с большим числом чёрных и жёлтых пятен, некоторые из них крупные (во всю ширину хвоинки).

Классы усыхания хвои:

- 1 – нет сухих участков,
 2 – усох кончик 2-5 мм и пожелтел,
 3 – усохла треть хвоинки,
 4 – вся хвоинка желтая или более половины ее длины – сухая.

Определение продолжительности жизни хвои сосны

На исследуемом участке необходимо осмотреть не менее 10-20 невысоких деревьев в возрасте 10-15 лет. С использованием рис.3 определяется продолжительность жизни хвои [1,8].

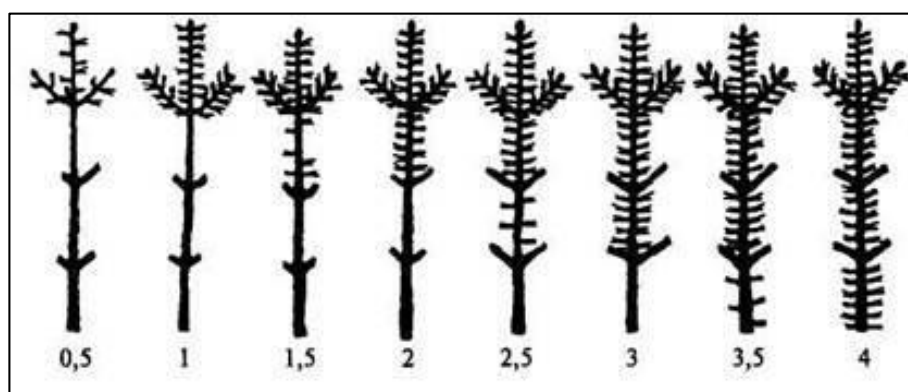


Рис. 3. Схема определения продолжительности жизни хвои сосны

Для этого обследуется верхушечная часть ствола за последние годы: каждая мутовка, считая сверху, – это год жизни. Определяется, сколько лет сохраняется хвоя (ее максимальный возраст), причем, если на самом нижнем из освоенных участков часть хвоинок опала, то оценивают примерную долю сохранившихся. Таким образом, полный возраст хвои определяется числом участков ствола с полностью сохраненной хвоей плюс доля сохраненной хвои на следующем за ним участке. Например, если верхушечная часть и два участка между мутовками полностью сохранили хвою, а на следующем участке сохранилась половина хвои, то показатель продолжительности жизни хвои составляет: $3 + 0,5 = 3,5$. Результаты осмотра заносят в таблицу 5.

Определение продолжительности жизни хвои сосны обыкновенной

Таблица 5

<i>Количество деревьев с разной продолжительностью жизни хвои</i>	<i>Пробные площадки</i>				
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
Деревья с хвоей 4 года и более, V_1					
Деревья с хвоей 3 года, V_2					
Деревья с хвоей 2 года, V_3					
Деревья с хвоей только текущего года, V					

По данным таблицы 5 рассчитывается *индекс продолжительности жизни хвой сосны Q* по формуле:

$$Q = \frac{3B_1 + 2B_2 + 1B_3}{B_1 + B_2 + B_3},$$

где B_1, B_2, B_3 – количество осмотренных деревьев с данной продолжительностью жизни хвой.

Чем выше индекс Q, тем больше продолжительность жизни хвой сосны и чище воздух.

Оценка загрязнённости воздуха

По полученным данным о продолжительности жизни и классах усыхания хвой определяется класс загрязнения воздуха по таблице 6 [1,8,12].

Экспресс-оценка загрязнения воздуха

Таблица 6

Максимальный возраст хвой	Класс повреждения хвой на побегах второго года жизни			
	1	2	3	4
4	I	I-II	III	III-IV
3	I	II	III-IV	III-IV
2,5	II	III	IV	IV
2	-	III	IV-V	IV-V
1,5	-	IV	V-VI	V-VI
1	-	-	VI	VI

Условные обозначения классов загрязнения воздуха:

- I – идеально чистый,
 - II – чистый,
 - III – относительно чистый («норма»),
 - IV – загрязненный («тревога»),
 - V – грязный («опасно»)
 - VI – очень грязный («вредно»),
- Прочерком обозначены невозможные сочетания.

2.2. Результаты исследования

Сравнительная характеристика пробных площадок

Пробные площадки на исследуемой территории подвержены разному антропогенному влиянию. Площадки 2 и 5, расположенные вблизи Будогощской школы, не испытывают существенной техногенной нагрузки, а площадки 1, 3, 4 находятся в зоне воздействия выбросов автотранспорта, железной дороги и котельной (см. рис.2). Максимальное движение автомобильного транспорта отмечено на площадке 4 (140-160 авт./ч) (см. табл. 13 в Приложении 1).

Сравнительная характеристика антропогенной нагрузки на пробных площадках представлена в таблице 7.

Источники и формы антропогенной нагрузки на пробных площадках

Таблица 7

№ п/п	Ближайшие источники загрязнения	Расстояние до источника загрязнения	Основные формы антропогенных воздействий	Степень антропогенной нагрузки (баллы)
1	Автомобильная дорога с умеренным движением (100-110 автомобилей в час) Железная дорога	5 м 20 м	Отработавшие газы двигателей внутреннего сгорания, нефтепродукты, продукты износа шин Отработавшие газы дизельных двигателей тепловозов Обугливание стволов сосен в результате поджогов сухой травы Бытовой мусор	3
2	Просёлочная дорога с очень незначительным движением (единичные автомобили) Частные дома	20 м	Обугливание стволов сосен в результате поджогов сухой травы Бытовой мусор	2
3	Котельная Будогощской школы (работает круглосуточно) Просёлочная дорога с незначительным движением автомобилей	10 м	Выбросы продуктов сгорания топочного мазута Отработавшие газы двигателей внутреннего сгорания	3,5
4	Автомобильная дорога с интенсивным движением (130-160 автомобилей в час)	5 м	Отработавшие газы двигателей внутреннего сгорания, продукты износа шин, нефтепродукты	4
5	Просёлочная дорога с очень незначительным движением (единичные автомобили)	10 м	Отработавшие газы двигателей внутреннего сгорания Обугливание стволов сосен в результате поджогов сухой травы	1

**Сравнительная характеристика жизненного состояния сосен
на пробных площадках**

Преобладающей древесной породой на изучаемой территории является сосна обыкновенная (*Pinus silvestris*). На всех пробных площадках большинство сосен взрослые (от 30 лет и старше) с диаметром стволов 30-40

см; имеющийся на данной территории подрост использовался в качестве объекта исследования.

Визуальная оценка состояния древостоя показала, что в целом обследованные деревья здоровые, жизненность достаточно хорошая (полная). Сосны не имеют внешних признаков повреждений кроны и ствола. Однако встречаются единичные поврежденные (сильно поврежденные), старые сухостойные и суховершинные сосны (см. табл. 8 в Приложении 1). В прибрежной зоне озера Острочинное (пл. 2), на окраине школьного стадиона (пл. 5), а также вблизи автомобильной и железной дорог (пл. 1) заметно обугливание оснований стволов сосен в результате поджогов сухой травы и хвойного опада в весенний период.

Характеристика состояния и продолжительности жизни хвои сосен на пробных площадках

На исследуемых участках длина хвоинок и состояние хвои неодинаковы.

Характеристика хвои сосен на пробных площадках приведена в таблице 9 (Приложение 1). Диаграммы, построенные на основании указанной таблицы, позволяют выявить зависимость некоторых показателей состояния хвои сосны от степени антропогенной нагрузки и провести сравнение результатов, полученных в 2017г. и 2022г.

В прибрежной зоне озера Острочинное и на окраине школьного стадиона (площадки 2 и 5 с минимальной антропогенной нагрузкой) в основном хвоя выглядит здоровой и без следов повреждения. Средняя длина хвоинок составляет 5,4 – 6 см. Не более 12% хвои с усыханием, а количество игл с некротическими пятнами не превышает 30%.

На площадках 1, 3 и 4 (с повышенным антропогенным воздействием) количество поврежденной и усохшей хвои достаточно большое, средняя длина хвоинок составляет 4,0 – 4,9 см. На площадке 4 (около автобусной остановки) отмечено наибольшее число больных и мертвых игл – 57% и 29% соответственно.

На пробных площадках 1, 3, 4 с повышенной антропогенной нагрузкой степень пожелтения крон сосен составляет 11-23%. На площадках 2 и 5 пожелтения нет, потеря общей окраски кроны не более 10%.

Установлено, что *средняя длина хвоинок обратно пропорциональна уровню антропогенной нагрузки*, и минимальна на площадке 4 (4 см), а максимальна на площадках 2 и 5 (5,4 и 6 см). Аналогичная зависимость была выявлена в 2017г. Однако, отмечается увеличение средней длины хвоинок на площадке 1 (+0,4 см) (см. рис. 4, диаграмма 1).

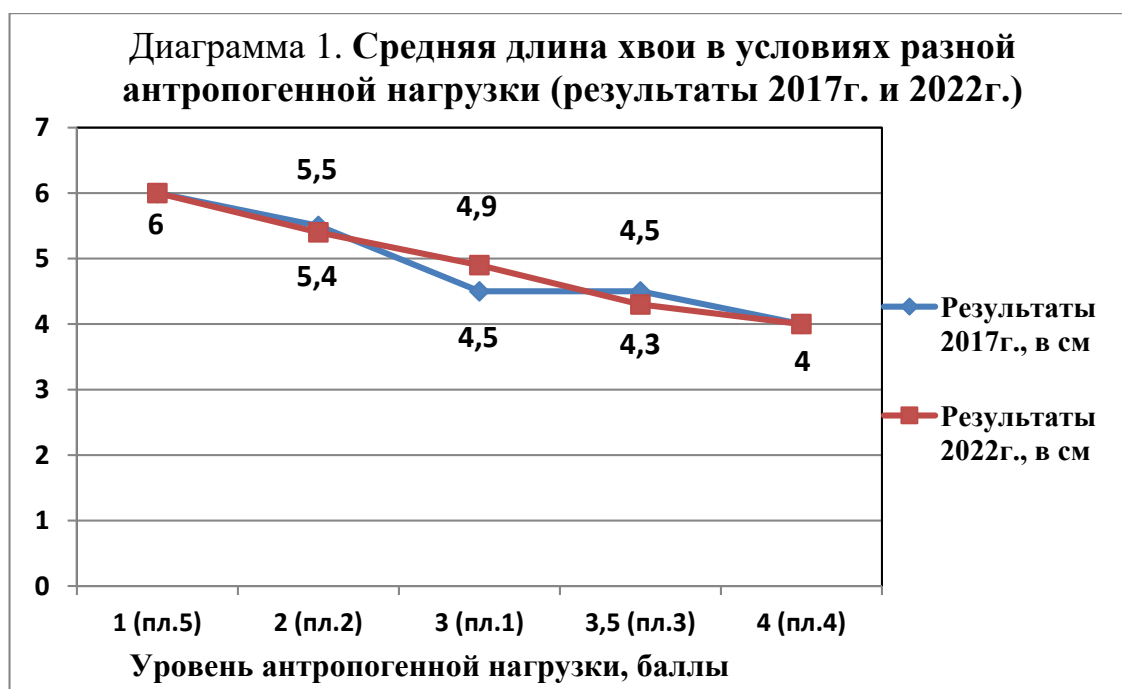


Рис. 4. Средняя длина хвои в условиях разной антропогенной нагрузки

В ходе исследования установлена та же закономерность, что была получена в предыдущей работе: *по мере возрастания антропогенного воздействия увеличивается число хвои с пятнами и признаками усыхания* (см. рис. 5, диаграмма 2; рис. 6, диаграмма 3). На площадках 5 и 2 преобладает число здоровой хвои, что свидетельствует о достаточной чистоте воздуха. Однако, в сравнении с результатами 2017г., число хвои с пятнами и признаками усыхания увеличилось на 2-3%. Вероятно, это связано с более интенсивным использованием территории стадиона после реновации, проведенной в 2017г. Тем не менее техногенное влияние на данных контрольных участках ниже, чем на остальных площадках.

Увеличение числа хвоинок с пятнами и признаками усыхания на площадках 1, 3 и 4 связано с большей антропогенной нагрузкой и с высокой требовательностью сосен к чистоте воздуха. В сравнении с 2017г. отмечается возрастание числа поврежденной хвои на площадке 3 (у школьной котельной) до 3-4%. На площадке 1, наоборот, отмечено снижение числа хвои с повреждениями: с пятнами на 11%, с усыханием на 4%. Видимо, это связано с тем, что сократилось количество железнодорожного транспорта, работающего на дизельном топливе. (см. рис. 5, диаграмма 2; рис. 6, диаграмма 3).



Рис. 5. Состояние хвои в условиях разной антропогенной нагрузки (повреждения с пятнами)

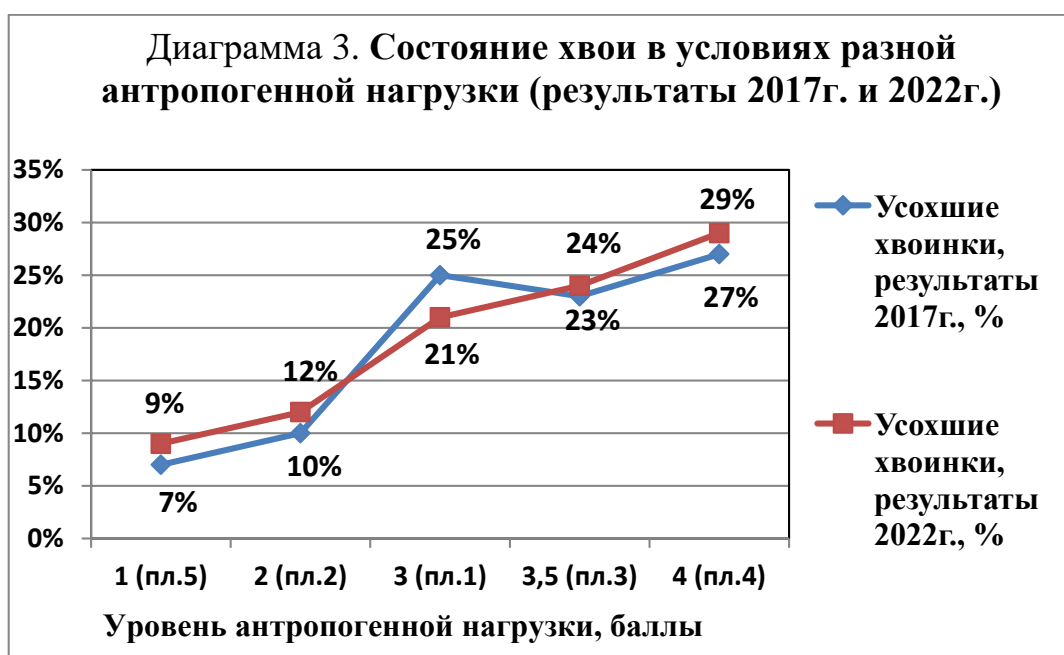


Рис. 6. Состояние хвои в условиях разной антропогенной нагрузки (повреждения в виде усыхания)

Хвоя, собранная на площадках 5 и 2, в среднем соответствует 1 и 1-2 классам повреждения: хвоинки без пятен или имеют небольшое число пятен. Хвоя с площадок 1,3 и 4 имеет большое количество мелких и крупных пятен и отнесена к 2-3 и 3 классам повреждения соответственно. Определение классов повреждения и усыхания хвои сосен на разных площадках приведено в таблице 10 (Приложение 1). В 2017 г. хвоя с площадки 3 отнесена к 2 классу повреждения, с площадки 1 и 4 к 2-3 классу повреждения.

На исследуемых участках была определена продолжительность жизни хвои сосен. Результаты осмотра занесены в таблицу 11 (Приложение 1).

Максимальный возраст хвои (4 года) зарегистрирован на окраине школьного стадиона (пл. 5) и в прибрежной зоне озера Острочинное (пл. 2). Из данных таблицы 11 видно, что по мере увеличения степени антропогенной нагрузки снижается продолжительность жизни хвои. Зависимость индекса продолжительности жизни хвои сосен (Q) от уровня антропогенной нагрузки отражена на диаграмме 4 (см. рис. 7). Наиболее высок он на площадках 2 и 5 (с наименьшей антропогенной нагрузкой) и составляет 2,4 и 2,6 соответственно.

На диаграмме 4 (см. рис. 7) также отражена зависимость индекса продолжительности жизни хвои сосен (Q) от уровня антропогенной нагрузки, полученная в ходе исследования в 2017г. Установленная зависимость подтвердилась в 2022г., но следует отметить, что данный индекс наиболее отличается на площадке 3 (школьная котельная) и составляет 1,7, что на 0,5 ниже, чем в 2017г. Вероятно, это связано с работой котельной на мазутном топливе и перекрёстным влиянием антропогенных факторов площадок 3 и 4 (автобусная остановка), т.к. они расположены на близком расстоянии друг к другу.



Рис. 7. Значения индекса продолжительности жизни хвои в условиях разной антропогенной нагрузки

На основании данных о продолжительности жизни и степени повреждения хвои методом экспресс-оценки был определён **уровень загрязнённости воздуха** (см. табл. 12, Приложение 1). На пробных площадках 2 (берег озера Острочинное) и 5 (окраина школьного стадиона) качество воздуха соответствует I-II классу загрязнения, т.е. является чистым. На площадках 1, 3, 4 воздух относительно чистый (соответствует II-III классу загрязнения). Это указывает, что на данных участках имеется некоторое загрязнение воздуха из-за попадания выбросов автомобильного и железнодорожного транспорта, а также котельной. Полученные результаты совпадают с оценкой класса качества воздуха, выявленной в 2017г.

Таким образом, на территории поселка Будогощь соблюдаются санитарные нормы потока автотранспорта в жилой зоне (интенсивность не более 200 авт./ч), концентрация выбросов вредных веществ в воздухе, очевидно, не превышает ПДК. [6, 12].

Выводы

Сосна является хорошим индикатором загрязнения окружающей среды благодаря своей высокой чувствительности к загрязнению воздуха. Изучение состояния и продолжительности жизни хвои сосен позволило оценить качество воздуха на исследуемой территории п. Будогощь.

По результатам исследования сделаны следующие **выводы**:

1. Наибольшая антропогенная нагрузка выявлена на пробных площадках около автобусной остановки и вблизи котельной Будогощской школы; минимальная – у окраины школьного стадиона.
2. Состояние хвои сосен на исследуемых участках различно и зависит от степени антропогенной нагрузки:
 - Средняя длина хвоинок обратно пропорциональна уровню антропогенной нагрузки и составляет от 4 до 6 см;
 - По мере увеличения степени антропогенного (техногенного) воздействия уменьшается продолжительность жизни хвои (индекс продолжительности жизни хвои Q составляет от 1,6 до 2,6); максимальный возраст хвои составляет 3-4 года;
 - По мере возрастания антропогенного влияния увеличивается число хвои с пятнами (от 21 до 57%) и признаками усыхания (от 9 до 29%). Наибольшее число больных и мертвых игл отмечено на соснах около автобусной остановки.
3. На берегу озера Острочинное и окраине школьного стадиона воздух чистый (I-II классы загрязнения); на остальных площадках – относительно чистый (II-III классы загрязнения). Таким образом, *качество атмосферного воздуха в посёлке Будогощь соответствует норме.*
4. Сравнение результатов исследований, полученных методом биоиндикации в 2017 и 2022гг., позволило выявить одинаковые закономерности в изменении состояния хвои сосны от степени антропогенной нагрузки. Отмечено улучшение экологического состояния воздуха на площадке у железной дороги и незначительное ухудшение качества воздуха у котельной школы.

Заключение

Практическая значимость работы заключается в том, что в процессе исследования был освоен метод биоиндикации по хвое сосны, и дана экологическая оценка состояния воздуха на исследуемой территории.

В ходе исследования **подтверждена рабочая гипотеза:** методом биоиндикации качества воздуха по состоянию хвои сосны определено, что *состояние воздуха в посёлке Будогощь соответствует норме.* Экологическая оценка качества воздуха подтверждает результаты, полученные ранее с использованием других методик.

Однако, территория поселка подвергается определённому антропогенному воздействию, поэтому рекомендуется проведение следующих мероприятий для сохранения благоприятной экологической обстановки:

1. Продолжение учащимися комплексных мониторинговых исследований по оценке качества воздуха в посёлке Будогощь;
2. Проведение экологических акций и бесед с учащимися, популяризация знаний о состоянии окружающей среды, что способствует развитию у обучающихся навыков экологически грамотного поведения.
3. Освещение через средства массовой информации результатов мониторинговых исследований экологического состояния окружающей среды в посёлке.

Список использованной литературы

1. Алексеев С.В., Груздева Н.В., Муравьев А.Г., Гущина Э.В. Практикум по экологии: учеб. пособие./Под ред. С.В. Алексеева. – М.: АО МДС,1996. – 192 с.
2. Боголюбов А.С., Буйволлов Ю.А., Кравченко М.В. Оценка жизненного состояния леса по сосне. – М.: Экосистема, 1999. – 12 с.
3. Вдовина А.В., Павлова А.Ю., Шульженко Д.С. Исследование качества снегового покрова в пос. Будогощь – Кириши-Будогощь, 2013. – 20 с.
4. Капустина Д.К., Павлова И.Ю. Исследование качества воздуха методом лишеноиндикации в посёлке Будогощь – Кириши – Будогощь, 2014.– 15 с.
5. Капустина Д.К., Павлова И.Ю. Оценка качества воздуха в посёлке Будогощь по состоянию хвои сосны – Кириши – Будогощь, 2017. – 19 с.
6. Комплексная экологическая практика школьников и студентов. Программы. Методики. Оснащение. Учебно-методическое пособие. / Под ред. проф. Л.А. Коробейниковой. Изд. 3-е, перераб. и дополн. – СПб.: Крисмас+. 2002. – 268 с.
7. Красная книга природы Ленинградской области. Том 1. Особо охраняемые природные территории. /Сост. Г.А. Носков, М.С. Боч. – СПб.: Биологический НИИ СПбГУ, изд-во «Акционер и К», 1999. – 352 с.
8. Методика и практика проведения школьных экологических экспедиций в Ленинградской области: учеб. пособие./ Авт. коллектив – СПб, 2007. – 446с.
9. Тарасов В.В., Тихонова И.О., Кручинина Н.Е. Мониторинг атмосферного воздуха: учеб. пособие. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2007. – 128 с.
10. Томанова З.А., Шаталов М.А., Любарский А.Н. Экологическое состояние и природопользование Ленинградской области: учеб. пособие для 10-11 классов. – СПб.: Специальная литература, 2007. – 158 с.
11. Федорова А.И., Никольская А.Н. Практикум по экологии и охране окружающей среды: Учеб. Пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 2001. – 288 с.
12. Школьный экологический мониторинг. Учебно-методическое пособие /Под ред. Т.Я. Ашихминой. – М.:АГАР, 2000. – 386 с.
13. Об экологической ситуации в Ленинградской области в 2020 году. [Электронный ресурс: Комитет по природным ресурсам Ленинградской области] - Режим доступа: <https://clck.ru/XseFH>
14. Об экологической ситуации в Ленинградской области в 2021 году. [Электронный ресурс: Комитет по природным ресурсам Ленинградской области] - Режим доступа: https://vk.com/away.php?to=https%3A%2F%2Fnature.lenobl.ru%2Fru%2Fdei%2Fohrana-i-monitoring-okruzhayushej-sredy%2F&cc_key
15. Справка о загрязнении атмосферного воздуха городов Ленинградской области в июне 2022г. [Электронный ресурс: ФГБУ «Северо-Западное управление гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды»] - Режим доступа :<http://www.meteo.nw.ru/articles/index.php?id=1466>

Приложение 1

Данные, полученные с пробных площадок

Шкала визуальной оценки состояния сосен

Таблица 8

Балл	Состояние	Пробные площадки				
		1	2	3	4	5
		в 10 м от ж/д и 5 м от а/д	берег озера Острочинное	у котельной Будоговской школы	в 5 м от автобусной остановки	окраина школьного стадиона
0	Здоровые деревья	11	11	10	8	14
1	Поврежденные (ослабленные) деревья	3	3	4	3	2
2	Сильно поврежденные (сильно ослабленные) деревья	1	-	2	1	-
3	Усыхающие деревья	-	-	-	-	-
4	Свежий сухостой	1	-	-	1	-
5	Старый сухостой	-	-	-	1	2
<i>Процент здоровых деревьев</i>		69%	79%	63%	57%	78%

Характеристика состояния хвои сосен на пробных площадках

Таблица 9

Определяемые параметры	Пробные площадки				
	1	2	3	4	5
	в 10 м от ж/д и 5 м от а/д	берег озера Острочинное	у котельной Будоговской школы	в 5 м от автобусной остановки	окраина школьного стадиона
Уровень антропогенной нагрузки	3	2	3,5	4	1
Общее число обследованных хвоинок	300	300	300	300	300
Средняя длина хвоинок	4,9	5,4	4,3	4,0	6,0
Степень пожелтения хвоинок	11%	9%	14%	23%	6%
Количество хвоинок с пятнами	144	90	162	171	63
Процент хвоинок с пятнами	48%	30%	54%	57%	21%
Количество хвоинок с усыханием	63	36	72	87	27
Процент хвоинок с усыханием	21%	12%	24%	29%	9%

Классы повреждений и усыхания хвои сосен на пробных площадках

Таблица 10

Классы повреждения и усыхания хвоинок	Пробные площадки				
	1	2	3	4	5
	в 10 м от ж/д и 5 м от а/д	берег озера Острочинное	у котельной Будоговской школы	в 5 м от автобусной остановки	окраина школьного стадиона
<i>Классы повреждения хвои</i>					
1(хвоинки без пятен)	93	174	66	42	210
2(хвоинки с небольшим числом мелких пятен)	83	57	90	95	47
3(хвоинки с большим числом пятен)	61	33	72	76	16
Средний класс повреждения	2-3	1-2	2-3	3	1
<i>Классы усыхания хвои</i>					
1(нет сухих участков)	237	264	228	213	273
2(усох кончик)	28	18	38	42	13
3(усохла треть хвоинки)	21	11	23	29	9
4(более половины длины хвоинки сухая)	14	7	11	16	5

Продолжительность жизни хвои сосен на пробных площадках

Таблица 11

Количество деревьев с разной продолжительностью жизни хвои	Пробные площадки				
	1	2	3	4	5
	в 10 м от ж/д и 5 м от а/д	берег озера Острочинное	у котельной Будоговской школы	в 5 м от автобусной остановки	окраина школьного стадиона
Деревья с хвоей 4 года и более, В ₁	-	5	-	-	7
Деревья с хвоей 3 года, В ₂	9	4	7	7	2
Деревья с хвоей 2 года, В ₃	1	1	3	2	1
Деревья с хвоей только текущего года, В	-	-	-	1	-
Индекс продолжительности жизни хвои сосны \bar{Q}	1,9	2,4	1,7	1,6	2,6

Класс чистоты воздуха на пробных площадках

Таблица 12

Определяемые параметры	Пробные площадки				
	1	2	3	4	5
	в 10 м от ж/д и 5 м от а/д	берег озера Острочинное	у котельной Будоговской школы	в 5 м от автобусной остановки	окраина школьного стадиона
Результаты исследования 2022г					
Максимальный возраст хвои	3	4	3	3	4
Класс повреждения хвои 2-го года жизни	2-3	1-2	2-3	3	1
Класс качества воздуха	II-III	I-II	II-III	III	I
Результаты исследования 2017г					
Максимальный возраст хвои	3	4	3	3	4
Класс повреждения хвои 2-го года жизни	2-3	1-2	2	2-3	1
Класс качества воздуха	II-III	I-II	II	II-III	I

Учет автотранспорта на пробных площадках (2022г.)

Таблица 13

№ площадки	Транспортная нагрузка			
	Легковые машины		Грузовые машины	
	10 мин	1 час	10 мин	1 час
1	16	96	2	12
2	-	-	-	-
3	2	12	1	6
4	23	136	4	24
5	1	6	-	-

Фотоматериалы

Фото 1. Пробная площадка 1
(Вблизи автомобильной и
железной дорог)



Фото 2. Пробная площадка 2
(Берег озера Острочинное)



Фото 3. Пробная площадка 3
(У котельной школы)



Фото 4. Пробная площадка 4
(Вблизи автобусной остановки)



Фото 5. Пробная площадка 5
(Окраина школьного стадиона)



Фото 6. Отбор хвои
для анализа



Фото 7. Определение
длины хвои сосны



Фото 8. Определение
классов повреждения и
усыхания хвои сосны