

УДК 630.116.64:57.045

ББК 43.47

Д-19

Данченко Матвей Анатольевич, кандидат географических наук, доцент; кафедра лесного хозяйства и ландшафтного строительства, Биологический институт Томского государственного университета; пр. Ленина, 36, г. Томск, Россия, 634050; e-mail: mtd2005@sibmail.com;

Кабанова Татьяна Валерьевна, кандидат физико-математических наук, доцент, кафедра теории вероятностей и математической статистики, институт прикладной математики и компьютерных наук Томского государственного университета; пр. Ленина, 36, г. Томск, Россия, 634050; e-mail: kabanova@fpmk.tsu.ru;

Кабанова Светлана Анатольевна, кандидат биологических наук, Казахский НИИ лесного хозяйства и агролесомелиорации; ул. Кирова, 58, г. Щучинск, Казахстан; e-mail: kabanova.05@mail.ru;

Зенкова Жанна Николаевна, кандидат физико-математических наук, доцент, кафедра теоретической кибернетики, институт прикладной математики и компьютерных наук Томского государственного университета; пр. Ленина, 36, г. Томск, Россия, 634050; e-mail: zhanna.zenkova@mail.tsu.ru

**ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ И КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ
НА СОСТОЯНИЕ ЛЕСОНАСАЖДЕНИЙ САНИТАРНО-ЗАЩИТНОЙ
ЗОНЫ ООО «ТОМСКНЕФТЕХИМ»**

(рецензирована)

Проведено изучение влияния естественных и техногенных факторов на развитие и экологическое состояние лесонасаждений санитарно-защитной зоны вблизи крупного промышленного предприятия ООО «Томскнефтехим». Контролем служили насаждения на особо охраняемой природной территории областного значения «Озеро Песчаное». Определено влияние на рост и развитие деревьев промышленного производства, в результате чего выявлено, что на контроле прирост сосны обыкновенной существенно больше, чем на участках, подверженных влиянию промышленных факторов. Изучение влияния климатических факторов на рост и развитие лесов показало, что для санитарно-защитной зоны имеется корреляционная зависимость между признаками: температурный режим повлиял на прирост биомассы. В годы с высокой средней температурой средний годичный прирост сосны обыкновенной уменьшается по сравнению с годами с более умеренным температурным режимом. Проанализировано влияние атмосферных осадков на среднегодовой радиальный прирост сосны обыкновенной, причем зависимость не была выявлена. Результатом проведенного исследования явилось построение двухфакторной модели зависимости роста и состояния древостоев СЗЗ ООО «Томскнефтехим» с учетом месторасположения и среднегодовой температуры. Построенная модель показала, что леса санитарно-защитной зоны могут сохранять устойчивость к негативным факторам внешней среды длительное время. Однако тенденция среднегодового радиального прироста сосны обыкновенной демонстрирует постепенное снижение данного показателя,

начиная с 1990 года, после увеличения техногенных нагрузок. Поэтому для сохранения насаждений С33 необходимо проведение ряда восстановительных мероприятий, которые позволят повысить их сопротивляемость внешним техногенным факторам, неблагоприятным климатическим условиям.

Ключевые слова: техногенное влияние, климатические факторы, дендрохронология, санитарно-защитная зона, сосна обыкновенная.

Danchenko Matvey Anatolyevich, Candidate of Geography, an associate professor; Department of Forestry and Landscape Construction, Biological Institute of Tomsk State University; 36 Lenin Avenue, Tomsk, Russia, 634050; e-mail: mtd2005@sibmail.com;

Kabanova Tatyana Valeryevna, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, an associate professor, Department of Probability Theory and Mathematical Statistics, Institute of Applied Mathematics and Computer Science, Tomsk State University; 36 Lenin Avenue, Tomsk, Russia, 634050; e-mail: kabanova@fpmk.tsu.ru;

Kabanova Svetlana Anatolyevna, Candidate of Biology, Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry; 58 Kirov str., Schuchinsk, Kazakhstan; e-mail: kabanova.05@mail.ru;

Zenkova Zhanna Nikolaevna, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, an associate professor, Department of Theoretical Cybernetics, Institute of Applied Mathematics and Computer Science, Tomsk State University; 36 Lenin Avenue, Tomsk, Russia, 634050; e-mail: zhanna.zenkova@mail.tsu.ru

INFLUENCE OF TECHNOGENIC AND CLIMATIC FACTORS ON THE CONDITION OF FOREST STAND IN THE SANITARY AND PROTECTIVE AREA OF OOO “TOMSKNEFTEKHIM”

(reviewed)

The influence of natural and man-made factors on the development and ecological state of forest plantations in the sanitary protection zone near the large industrial enterprise OOO “Tomskneftekhim” has been studied. Plantings in “Sandy Lake” specially protected natural area of regional significance served as control ones. The influence of industrial production on growth and development of trees has been determined, as a result of which it has been revealed that the growth rate of Scots pine in control plantings is significantly higher than in areas subject to the influence of industrial factors. The study of the influence of climatic factors on the growth and development of forests has showed that there is a correlation relationship between the signs in the sanitary protection zone: the temperature regime has influenced the increase in biomass.

In years with a high average temperature, the average annual growth of Scots pine decreases in comparison with years with a more moderate temperature regime. The influence of precipitation on the average annual radial increment of Scots pine has been analyzed, no dependence has identified. The construction of a two-factor model of the dependence of growth and state of tree stands of the SPZ of OOO “Tomskneftekhim”, taking into account the location and average annual temperature has become the result of the study. The constructed model has shown that the forests of the sanitary protection zone can remain resistant to negative environmental factors for a long time. However, the trend of an average annual radial growth of Scots pine has been showing a gradual decrease in this indicator since 1990 as a result of an increase in man-made loads. Therefore, in order to preserve the

plantings of the SPZ, it is necessary to carry out a number of restoration measures that will increase their resistance to external man-made factors and adverse climatic conditions.

Keywords: *technogenic influence, climatic factors, dendrochronology, sanitary protection zone, Scots pine.*

Введение. Средозащитные и климаторегулирующие функции лесов широко известны. В настоящее время, по мере развития промышленности и роста территорий городов, роль леса в жизни общества значительно усиливается. Однако земель занятых лесами становится все меньше. Ученые-лесоводы установили, что в мире уже уничтожено более 40% лесных территорий, в основном за счет масштабных промышленных рубок [1]. Особенно остро в настоящее время стоит проблема городских лесов. Городские леса, как известно, являются важнейшей частью экологического каркаса города, и последствия человеческой деятельности негативно влияют на городские лесные экосистемы. Причинами ухудшения качественного состояния и устойчивости лесов можно назвать следующие факторы: лесные пожары, негативное воздействие промышленных предприятий, неконтролируемая рекреационная нагрузка, нерациональное ведение хозяйства в лесах, а часто и отсутствие такового, болезни и вредители леса, необоснованные и некачественные лесохозяйственные мероприятия и их крайне недостаточное финансирование [2, 3].

Особенностью города Томска является расположение в непосредственной близости от города крупных химических производств (Сибирский химический комбинат, ООО «Томскнефтехим»). В атмосферу города выбрасывается более 100 видов загрязняющих веществ. Противостоять негативным последствиям загрязнения окружающей среды города призвана санитарно-защитная зона. В работе рассматривается оценка состояния городских насаждений вблизи промышленной зоны города. Санитарно-защитная зона (далее – СЗЗ) является обязательным элементом промышленного предприятия и объекта, являющегося источником химического, биологического или физического воздействия [4]. Существующие проверки не учитывают состояние лесонасаждений санитарно-защитных зон, которые наиболее подвержены влиянию вредных факторов и, соответственно, нуждаются в мониторинге состояния и проведении мероприятий по повышению устойчивости к негативным влияниям. В настоящее время проверка экологического состояния СЗЗ ограничиваются лабораторными исследованиями атмосферного воздуха и измерениями физических воздействий на атмосферный воздух на границе санитарно-защитной зоны промышленных объектов, а также, в жилой застройке [5]. Мониторинг экологического состояния СЗЗ осуществляется с помощью анализа почвы, несмотря на то, что от состояния лесонасаждений зависит, выполняет ли санитарно-защитная зона свои функции. Предполагается, что наблюдение за состоянием лесонасаждений сделает мониторинг состояния СЗЗ более эффективным. Отдельные исследователи предлагают учитывать природно-климатические условия при проектировании санитарно-защитных зон [6], но в текущий момент климатические факторы не принимают во внимание при оценке экологического состояния.

Материалы и методы исследований. В работе использовались дендрохронологический метод и методы прикладной статистики. На территории ООО «Томскнефтехим» и ООПТ «Озеро Песчаное» заложены по 5 временных пробных

площадей с числом деревьев более 70 на каждой. Был проведен сплошной пересчет деревьев сосны обыкновенной (*Pinus Sylvestris*). Керны древесины отбирались на высоте 1,3 м северной экспозиции. Отбор образцов и предварительная подготовка выполнялись согласно общепринятым методикам [7, 8]. Керны древесины отбирались буравом Пресслера, ширина годичных колец определялась на измерительной установке LINTAB-6. Сбор полевого материала проводился в 2015-2016 годах на территориях санитарно-защитной зоны ООО «Томскнефтехим» (объект изучения) и ООПТ «Озеро Песчаное» (в качестве контроля). На взятых кернах проводился дендрохронологический анализ среднегодового радиального прироста. Изучался период с 1981 года, так как в этом году на ООО «Томскнефтехим» началось производство полипропилена, с 1983 года производился метанол, а с 1985 года – формалин.

Для выявления взаимосвязей между показателями применялись методы прикладной статистики, с использованием пакета «Statistica», а именно – корреляционный и регрессионный анализ. Были построены парные и множественные регрессионные модели [9].

Породный состав и структура лесонасаждений на территории СЗЗ ООО «Томскнефтехим»: береза повислая занимает 43,9% площади лесного фонда, осина – 37,5%, хвойные – 18,4%, в том числе сосна – 10,4%. 91,5% хвойных лесов отнесено к средневозрастным. Средняя полнота насаждений СЗЗ составляет 0,59, при этом хвойных пород – 0,60, а лиственных – 0,58. Средний возраст сосновых насаждений 67 лет. Для лесов санитарно-защитной зоны характерно преобладание насаждений разнотравной группы типов леса, которые занимают три четверти лесопокрытой площади [10].

ООПТ «Озеро Песчаное» расположено в границах муниципальных образований «Томский район» и «Город Томск». Основной лесобразующей породой являются сосна обыкновенная, занимающая 97,7 % покрытой лесом площади.

Результаты исследований и обсуждение. На первом этапе работы изучались закономерности радиального прироста сосны обыкновенной на территории СЗЗ «Томскнефтехим» и ООПТ «Озеро Песчаное» и выявление статистически значимых связей между показателями ними. Было сформулировано первое направление исследований о техногенном влиянии крупного промышленного предприятия на рост и развитие лесов СЗЗ.

Согласно инвентаризаций производств и на объектах ООО «Томскнефтехим» действуют 572 источника выбросов загрязняющих веществ. В районе Томского нефтехимического комбината и его окрестностях концентрация сернистого газа достигает в отдельных случаях по СПУ до 0,4 мг/м³, сероводорода – 0,001 мг/м³, двуокиси азота – до 0,14 мг/м³. Имеют значение двуокись азота и аммиак. В атмосферу поступают метанол, формальдегид, уксусная кислота, карбамидная пыль и окись углерода и др. Травянистая растительность несколько обогащена цезием, стронцием, марганцем, танталом, европием, тербием, торием, гафнием и особенно сурьмой, оловом, свинцом [11].

В результате проведенного корреляционного анализа установлено, что зависимость между факторами ($r = 0,628$) прямая, средняя и статистически значимая на 5% уровне.

Средний радиальный прирост сосны на территории СЗЗ ООО «Томскнефтехим» за 35 лет изменялся от низкого (2,36 мм) в 2005 году, до очень высокого значения (3,45 мм) в 1984 году. На ООПТ «Озеро Песчаное» радиальный прирост сосны имел наименьшее

значение в 1981 году – 2,64 мм, наибольшее в 1984 году – 3,2 мм. В среднем прирост сосны на территории ООПТ «Озеро Песчаное» больше, чем на территории санитарно-защитной зоны.

На рисунке 1 представлен среднегодовой радиальный прирост сосны обыкновенной на обеих территориях. За основу взяты данные по ООПТ «Озеро Песчаное» и относительно их рассмотрены значения признака по СЗЗ ООО «Томскнефтехим».

Видно, что совокупность полученных результатов на территории СЗЗ может быть разделена на 2 кластера:

1. период 1982-1989 г.г., когда на территории санитарно-защитной зоны «Томскнефтехим» был отмечен наибольший средний радиальный прирост (темные точки на рисунке 1);

2. период 1990-2015 г.г. (производство ООО «Томскнефтехим» работает в полную силу).

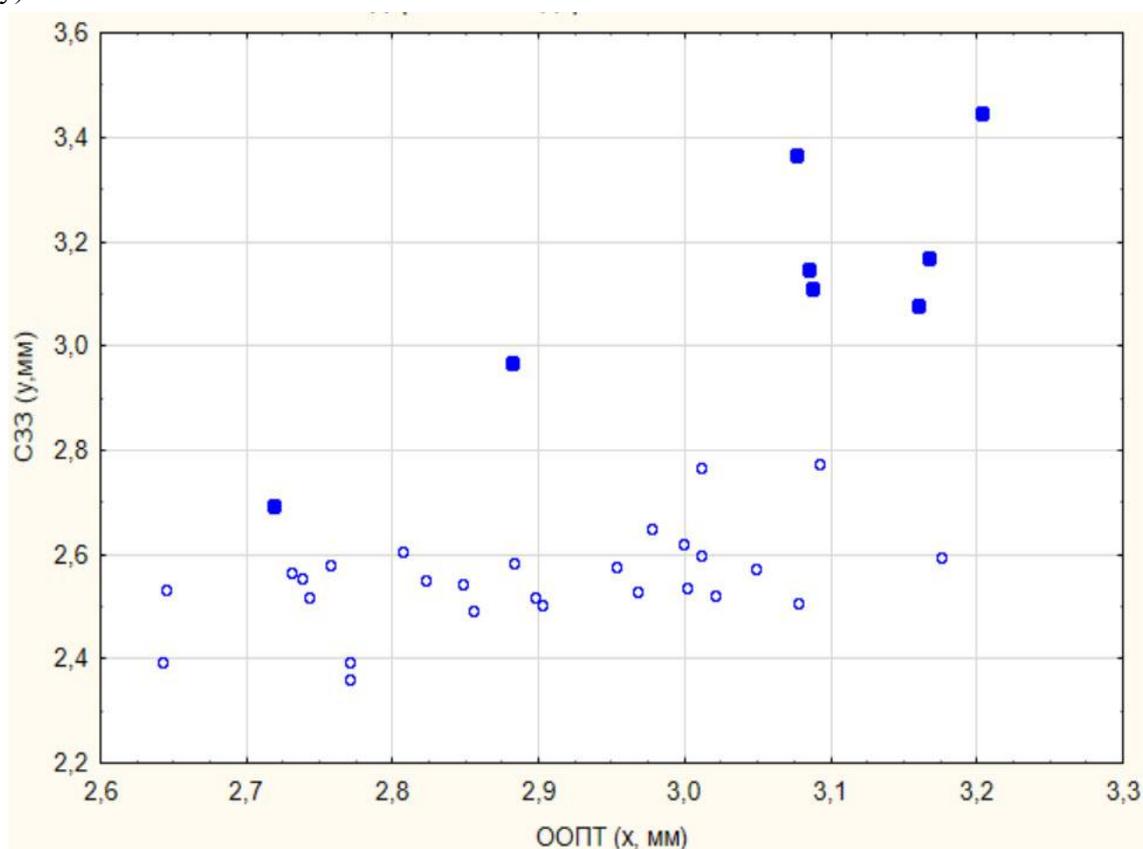


Рис. 1. Диаграмма рассеяния среднегодового радиального прироста сосны обыкновенной в период 1981-2015 гг.

Для первого кластера было получено уравнение регрессии $y = 1,025 \cdot x$, где y – среднегодовой прирост на территории СЗЗ ООО «Томскнефтехим», x – среднегодовой прирост на территории ООПТ «Озеро Песчаное». Следовательно, зеленые насаждения на обеих территориях развивались практически одинаково, и в эти годы техногенное влияние на леса СЗЗ проявлялось слабо.

Для второго кластера было получено уравнение регрессии $y = 0,88 \cdot x$.

Таким образом, видно, что с 1990 года прирост на территории СЗЗ существенно снизился (рисунок 2). За анализируемый период количественные характеристики

приращения биомассы на рассматриваемых участках различаются. В ООПТ «Озеро Песчаное», начиная с 1991 года, прирост сосны обыкновенной существенно больше, чем на участках, подверженных влиянию промышленных факторов (СЗЗ ООО «Томскнефтехим»). Это можно объяснить, в частности, тем, что после 1990 года Томский нефтехимический комбинат был запущен на полную мощность и экологически негативное влияние производственной деятельности (выбросы и отходы) стало сказываться на состоянии лесонасаждений санитарно-защитной зоны.

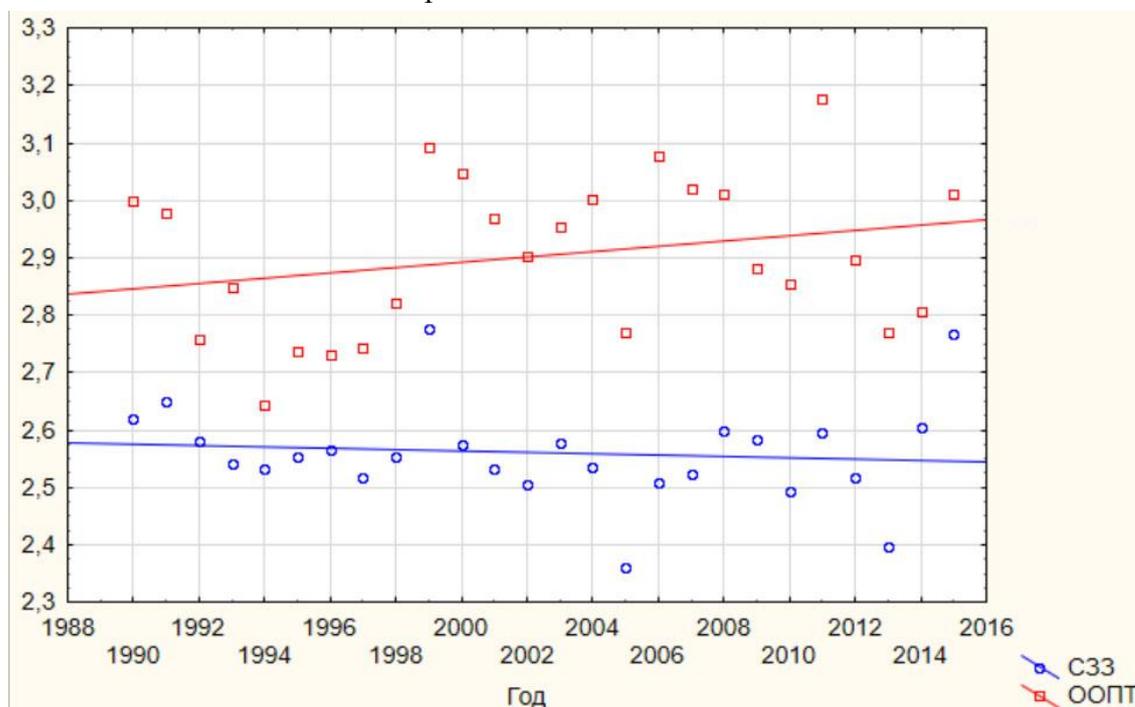


Рис. 2. Динамика радиального прироста сосны обыкновенной на СЗЗ и ООПТ за период с 1990 по 2015 годы

Для уточнения данных выводов было сформулировано второе направление исследований: влияние климатических факторов на рост и развитие лесов на рассматриваемых территориях. Рассматривалась зависимость между радиальным приростом сосны на выбранных площадях и средней температурой воздуха в вегетационный период с апреля по сентябрь каждого года (рисунок 3).

Коэффициенты корреляции между температурой вегетационного периода и радиальным приростом сосны составили $-0,527$ (СЗЗ ООО «Томскнефтехим») и $-0,198$ (ООПТ «Озеро Песчаное»). Для санитарно-защитной зоны выявлена отрицательная зависимость между указанными признаками, по ООПТ статистически значимой зависимости не выявлено.

Зависимость среднегодовой температуры и среднегодовым радиальным приростом сосны описывается уравнением: $y = a + bt$, где y – среднегодовой радиальный прирост сосны обыкновенной, a – постоянный прирост (общий среднегодовой радиальный прирост), b – изменение среднегодового радиального прироста на 1° увеличения температуры. Среднегодовой прирост сосны на территории СЗЗ ООО «Томскнефтехим» с учетом температурного фактора описывается уравнением: $y = 4,66 - 0,17 t$.

Выявлено, что в течение вегетационного периода при повышении температуры воздуха радиальный прирост сосны обыкновенной за период исследования уменьшался. Следовательно, в годы с высокой средней температурой во время вегетационного периода средний годичный прирост сосны обыкновенной уменьшается по сравнению с годами с более умеренным температурным режимом.

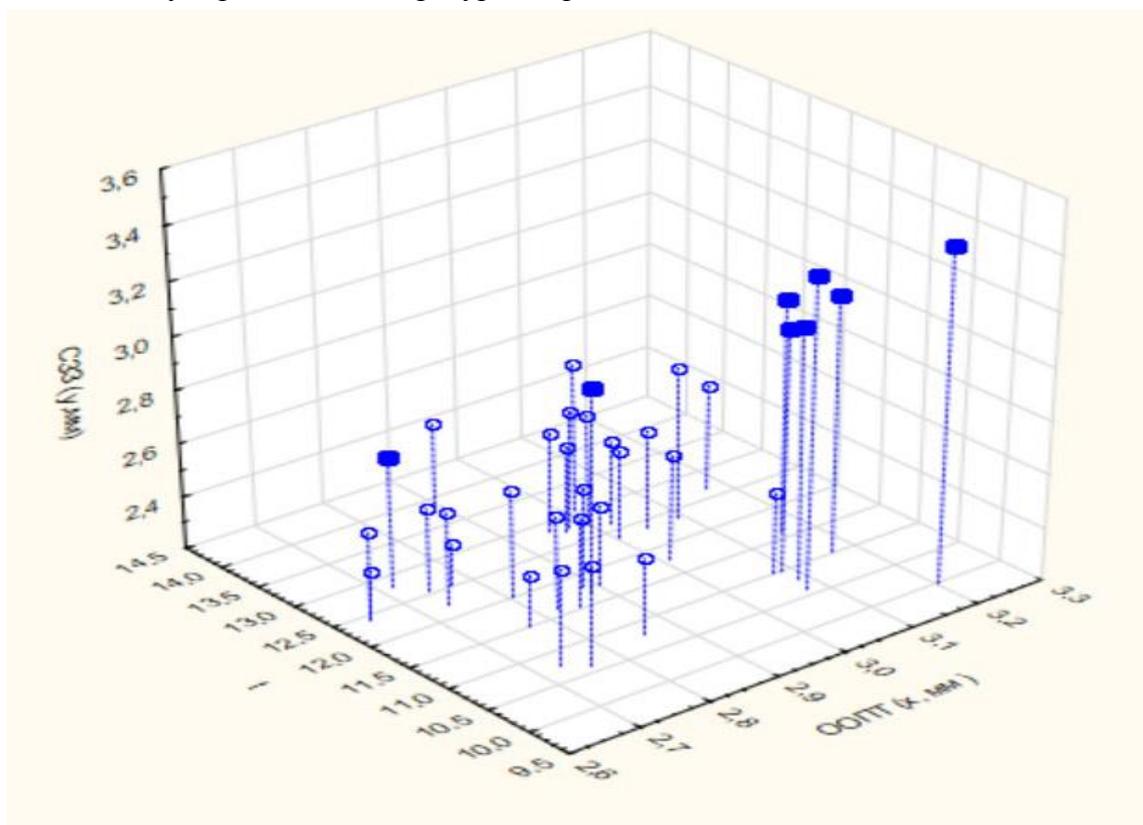


Рис. 3. Диаграмма рассеяния, отражающая зависимость радиального прироста сосны от средней температуры воздуха в вегетационный период в СЗЗ и ООПТ

Корреляционная зависимость радиального прироста сосны обыкновенной и среднегодовой температурой не выявила существенной связи. Таким образом, нельзя рассматривать среднегодовую температуру для оценки прироста сосны обыкновенной, т.к. наличие отрицательных и положительных средних температур в течение года создает высокую погрешность оценки результатов.

Третье направление исследований заключалось в анализе влияния атмосферных осадков в вегетационный период на среднегодовой радиальный прирост сосны обыкновенной. Выявлено, что количество атмосферных осадков вегетационного периода не влияет на радиальный прирост сосны. Для СЗЗ ООО «Томскнефтехим» коэффициент корреляции составил $-0,15$, а для ООПТ «Озеро Песчаное» $-0,096$. Отсутствие зависимости между рассматриваемыми признаками можно объяснить почвенными условиями. Основу почвенного покрова обследуемой территории составляют нормально увлажненные серые лесные почвы. Для них характерно среднее содержание гумуса (4-4,2%) и нормальная обменная кислотность (около 6 рН). По сложению профиля, физическим и химическим свойствам почвы на пробных площадях характеризуются как продуктивные для создания хвойных и лиственных лесов и защитных посадок. Поэтому количество выпавших атмосферных осадков существенно не влияло на рост деревьев.

Результатом проведенного исследования явилось построение двухфакторной модели зависимости роста и состояния древостоев СЗЗ ООО «Томскнефтехим» с учетом месторасположения и среднегодовой температуры. Модель можно представить в виде: $y = bx + ct$, где y – среднегодовой радиальный прирост сосны обыкновенной, a – постоянный прирост (общий среднегодовой радиальный прирост), b – изменение среднегодового радиального прироста по ООПТ «Озеро Песчаное», c – изменение среднегодового радиального прироста на 1° увеличения температуры. Среднегодовой радиальный прирост сосны обыкновенной на территории санитарно-защитной зоны ООО «Томскнефтехим» можно описать уравнением: $y = 1,26x - 0,085 t$. Модель подтверждает влияние обоих факторов: техногенного (расположения возле крупного промышленного объекта) и климатического (среднегодовой температуры воздуха).

Выводы. На основании проведенных исследований можно констатировать, что за анализируемый период среднегодовой радиальный прирост сосны обыкновенной на рассматриваемых участках отличается. На опытном участке СЗЗ ТОО «Томскнефтехим» прирост деревьев, начиная с 1991 года значительно меньше, чем в естественных насаждениях ООПТ «Озеро Песчаное», которое не подвержено техногенному воздействию. Данное наблюдение можно объяснить тем, что начиная с указанного периода предприятие ООО «Томскнефтехим» начало свою работу на полную мощность и негативное влияние производственной деятельности (выбросы вредных веществ в атмосферу и отходы) стало сказываться на состоянии лесонасаждений СЗЗ.

Исследование также показало, что леса санитарно-защитной зоны могут сохранять устойчивость к негативным факторам внешней среды длительное время. Однако тенденция среднегодового радиального прироста сосны обыкновенной демонстрирует постепенное снижение данного показателя, начиная с 1990 года. Поэтому для сохранения насаждений СЗЗ необходимо проведение ряда восстановительных мероприятий, которые позволят повысить их сопротивляемость внешним техногенным факторам, неблагоприятным климатическим условиям. В качестве основных лесохозяйственных мероприятий рекомендуется проведение рубок обновления и переформирования, работы по уборке сухостоя и очистке леса от захламленности, посадка перспективных видов насаждений [10]. В том числе, нужно выполнить содействие естественному возобновлению.

Литература:

1. Nilsson S. Do we have enough forests? Occasional Paper #5, IUFRO. Vienna, 1996. 56 p.
2. Данченко М.А. Эколого-экономическое обоснование лесохозяйственных мероприятий в городских лесах (на примере г. Томска). Томск: ТГУ, 2011. 200 с.
3. Таран И.В., Спиридонов В.Н., Беликова Н.Д. Леса города. Новосибирск: СО РАН, 2004. 196 с.
4. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов: постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 25 сентября 2007 г. №74 г. // Российская газета. 2008. 9 февр. С. 12.

5. Экологическое состояние санитарно-защитных зон нефтеперерабаты-вающих предприятий современных индустриальных городов (на примере Волгограда) / Желтобрюхов В.Ф. [и др.] // Социология города. 2012. №2. С. 20-29.
6. Сравнительная оценка состояния зеленых насаждений урбанизированной территории: фоновые территории и санитарно-защитные зоны / Белицкая М.Н. [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18, №2. С. 409-411.
7. Методы дендрохронологии. Сбор и получение древеснокольцевой информации: учебно-методическое пособие / Шиятов С.Г. [и др.]. Красноярск: Краснояр. ун-т, 2000. 80 с.
8. Шиятов С.Г., Мазепа В.С. Цикличность радиального прироста деревьев в высокогорьях Урала // Дендрохронология и дендроклиматология. Новосибирск: Наука, 1986. С. 134-160.
9. Айвазян С.А., Мхитарян В.С. Прикладная статистика и основы эконометрики. Москва: Юнити, 1998. 1000 с.
10. Мясников А.Г., Данченко М.А. Расчет и обоснование создания лесных насаждений на территории санитарно-защитной зоны Томского нефтехимического комбината // Вестник Томского государственного университета. 2010. №341. С. 214-217.
11. Данные инвентаризации предприятия за 2013 и 2015 год, выполненные ЗАО «ТАРПАН» (Из фонда центральной независимой лаборатории ЗАО «ТАРПАН»).

Literature:

1. Nilsson S. *Do we have enough forests? Occasional Paper # 5, IUFRO. Vienna, 1996. 56 p.*
2. Danchenko M.A. *Ecological and economic substantiation of forestry measures in urban forests (on the example of Tomsk). Tomsk: TSU, 2011. 200 p.*
3. Taran I.V., Spiridonov V.N., Belikova N.D. *Forests of a city. Novosibirsk: SB RAS, 2004. 196 p.*
4. *Sanitary protection zones and sanitary classification of enterprises, buildings and other objects: Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation of September 25, 2007 No. 74 // Russian Newspaper. 2008. Feb 9 P. 12.*
5. *Ecological state of the sanitary protection zones of oil refineries of modern industrial cities (on the example of Volgograd) / Zheltobryuhov V.F. [et al.] // Sociology of a city. 2012. № 2. P. 20-29.*
6. *Comparative assessment of the state of greenery in urbanized areas: background areas and sanitary protection zones / Belitskaya M.N. [et al.] // Bulletin of Kazan Technological University. 2015. Vol. 18, No. 2. P. 409-411.*
7. *Methods of dendrochronology. Collecting and obtaining wood circle information: a teaching guide / Shiyatov S.G. [et. al]. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk. Univ., 2000. 80 p.*
8. *Shiyatov S.G., Mazepa V.S. Cyclicity of radial growth of trees in the highlands of the Urals // Dendrochronology and dendroclimatology. Novosibirsk: Science, 1986. P. 134-160.*
9. *Ayvazyan S.A., Mkhitaryan V.S. Applied statistics and basics of econometrics. Moscow: Unity, 1998. 1000 p.*
10. *Myasnikov A.G., Danchenko M.A. Calculation and justification of the creation of forest plantations on the territory of the sanitary protection zone of Tomsk Petrochemical Plant // Tomsk State University Bulletin. 2010. No. 341. P. 214-217.*

11. The inventory data of the enterprise for 2013 and 2015, made by ZAO "TARPAN" (From the fund of the central independent laboratory of OOO "TARPAN").