

РАДИАЛЬНЫЙ ПРИРОСТ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В РАЙОНЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ГМК «ПЕЧЕНГАНИКЕЛЬ»

Д. С. Мюльгаузен, Л. А. Панкратова

Санкт-Петербургский государственный университет, Россия

Поступила в редакцию 6 июня 2017 г.

Аннотация: В данной статье приводятся результаты исследования динамики радиального прироста сосны обыкновенной в окрестностях ГМК «Печенганикель». Изучена взаимосвязь прироста сосны с объемами выбросов комбината и климатическими факторами (температура воздуха, количество осадков) методом корреляционного анализа. Проведено зонирование нарушенных вследствие аэротехногенного загрязнения и сопутствующих им пожаров окрестностей комбината на основании полевых данных и расчетов индекса NDVI с целью сопоставления средних радиальных приростов сосны в разных зонах нарушения растительности по поколениям древостоев.

Ключевые слова: дендрохронологический анализ, дендроклиматология, индекс NDVI, аэротехногенное загрязнение, зонирование.

Abstract: This article presents the results of the study of the dynamics of the radial growth of Scots Pine in the Mining Metallurgical Combine «Pechenganikel» vicinity. The interrelation of pine growth with the combine's emissions and climatic factors (air temperature, precipitation) by correlation analysis has been studied. The authors performed the zoning of the combine's disturbed areas due to aerotechnogenic contamination on the basis of field data and calculations of the NDVI index for the purpose of comparing the medium radial increments of pine in different zones of vegetation damage by generations of stands.

Key words: dendrochronological analysis, dendroclimatology, NDVI index, aerotechnogenic pollution, zoning.

Металлургические предприятия в силу специфики производства оказывают неблагоприятное влияние на прилегающие территории, приводя к деградации ландшафтов вследствие механического нарушения и химического загрязнения. Активный перенос побочных продуктов производства воздушными и водными потоками приводит к их значительному распространению. В наибольшей степени загрязнение сказывается на растительном покрове, как одном из самых чувствительных компонентов ландшафтов. Вследствие загрязнения происходят изменения в видовом составе фитоценозов, смена одних фитоценозов другими (например, леса сменяются редколесьями), различные морфологические и физиологические изменения растений вплоть до их гибели [1, 5, 6, 13].

Примером многолетнего негативного влияния металлургического предприятия на окружающую территорию является экологическая обстановка в районе поселка городского типа (пгт.) Никель (Мурманская область), в окрестностях которого

расположена промплощадка Горно-металлургического комбината (ГМК) «Печенганикель», осуществляющего добычу и переработку сульфидной медно-никелевой руды с 1945 года [5]. Результаты международных и российских научно-исследовательских проектов в указанном районе, в ходе которых были изучены такие компоненты ландшафтов как водные объекты, растительность, почвы, представители животного мира [2, 5, 17, 18], свидетельствуют о ее значительном нарушении вследствие техногенного воздействия. Так, установлено, что аэральное загрязнение почв тяжелыми металлами (Ni, Cu) в окрестностях комбината «Печенганикель» в пределах 35-40 км на юг и 20-25 км на север на два-три порядка превышает фоновый показатель (удаленность 60-100 км) содержания указанных металлов в почвах и охватывает территорию более 3000 км² в радиусе 40 км от источника загрязнения [2].

Установлено, что загрязнение воздушного бассейна промышленными предприятиями влияет на радиальный прирост деревьев: длительные выбросы загрязняющих веществ приводят к резкому

уменьшению толщины годовых колец [9, 10, 11, 13]. Рассматриваемая территория располагается на стыке подзоны северной тайги и подзоны предтундровых лесов [4], основным доминантом которых является сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), точнее ее северный подвид сосна Фриза, или лапландская (*Pinus friesiana* Wich.), произрастающая на границе своего ареала [12]. Соответственно данное исследование направлено на изучение динамики радиального прироста сосны обыкновенной в окрестностях ГМК «Печенганикель» с целью выявления влияния аэротехногенного (воздушного) загрязнения на прирост.

Исследование основывается на полевых данных и материалах дистанционного зондирования поверхности Земли. Полевые данные включают в себя ландшафтные описания исследуемой территории, выполненные в соответствии с методикой [3], а также керны сосны обыкновенной, отбор которых выполнен по методике [7]. Полевые работы проведены в летние сезоны 2013, 2015 и 2016 годов в окрестностях пгт. Никель, в окрестностях поселков Раякоски и Янискоски, расположенных в 65 км и 75 км к юго-западу от пгт. Никель соответственно. Всего на территории площадью около 400 км² было выполнено 167 ландшафтных описаний, на 23 дендрохронологических площадках отобрано 242 керна. Датировка кернов выполнена на измерительном комплексе LINTAB 6 в программе TSAPWin Professional (RINNTECH), стандартизация¹ полученных хронологий произведена в программе ARSTAN (E. R. Cook & R. L. Holmes).

Основная задача исследований состояла в выявлении взаимосвязи радиального прироста сосны обыкновенной с аэротехногенным загрязнением через годовые объемы выбросов диоксида серы, медной и никелевой пыли комбината «Печенганикель» за 1977-2009 (11) годы [14], а также с климатическими параметрами: ежемесячное и годовое количество осадков за 1969-2014 годы, среднемесячная и годовая температура воздуха за 1959-2014 годы (имеющиеся данные метеостанции Янискоски [15]). Исследование выполнено методом корреляционного анализа в программе STATISTICA v.6 (Пирсон, уровень значимости $p < 0,05$).

Также проведено погодичное (за период 1900-2014 (15) годы, как период интенсивного антропо-

¹ Стандартизация – процедура аппроксимации и пересчета реальных величин годового прироста (в мм) в безразмерные индексы прироста, что позволяет исключить влияние возрастного тренда и внутренних факторов роста дерева на прирост при его анализе.

погенного воздействия на рассматриваемой территории [5]) сопоставление средних радиальных приростов сосны по поколениям (по 40 лет) в пределах каждой выделенной по степени нарушенности растительного покрова зоне. Средние приросты для каждого представленного поколения на каждой дендрохронологической площадке рассчитаны как среднее арифметическое каждого года у всех деревьев одного поколения. Аналогичным образом рассчитаны средние приросты дендрохронологических площадок по поколениям для каждой зоны нарушения растительности.

Зоны нарушения диагностированы на основании дистанционных данных, а именно нормализованного вегетационного индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), с верификацией полевыми данными. NDVI – безразмерный показатель (от -1,0 до 1,0) количества фотосинтетически активной биомассы, определяемый по разнице интенсивностей отражения света листовыми пластинами растений в красном (0,6-0,7 мкм) и ближнем инфракрасном (0,7-1,0 мкм) световых диапазонах, деленной на сумму их интенсивностей [16]. Индекс рассчитан по снимкам со спутника дистанционного зондирования Landsat 8 [снимки получены с сайта 19] в программе IDRISI Kilimandjaro (Clark Labs). Для выявления зон нарушения растительного покрова полученное изображение индекса NDVI было реклассифицировано по 7 укрупненным диапазонам (шаг 0,1: от 0-0,1 – водные объекты до 0,6-0,7 – густые ивняки), каждый из которых был сопоставлен с полевыми данными – типом растительного сообщества, его видовым составом, проективным покрытием, что позволило идентифицировать менее или более однородные по степени нарушенности территории².

Анализ полученных хронологий сосны обыкновенной позволил выявить динамику радиального прироста, представленную на рисунке. Данный график является осреднением всех полученных хронологий, «идеализированной картинкой», т.к. у большинства исследованных сосен в возрасте до 60 лет (у некоторых и с большим возрастом) практически не проявляется ни возрастной, ни какой-либо другой тренд, соответственно, они не описываются данным графиком. Как видно из графика, сосны во всех трех районах отличаются сходной динамикой радиального прироста, обусловленной, следовательно, одинаковыми факторами среды, которые в сочетании друг с другом и с локаль-

² Расчеты индекса, таблицы с коэффициентами корреляции и графики прироста по поколениям в статье не приводятся во избежание чрезмерной подробности.

Радиальный прирост сосны обыкновенной в районе деятельности ГМК «Печенганикель»

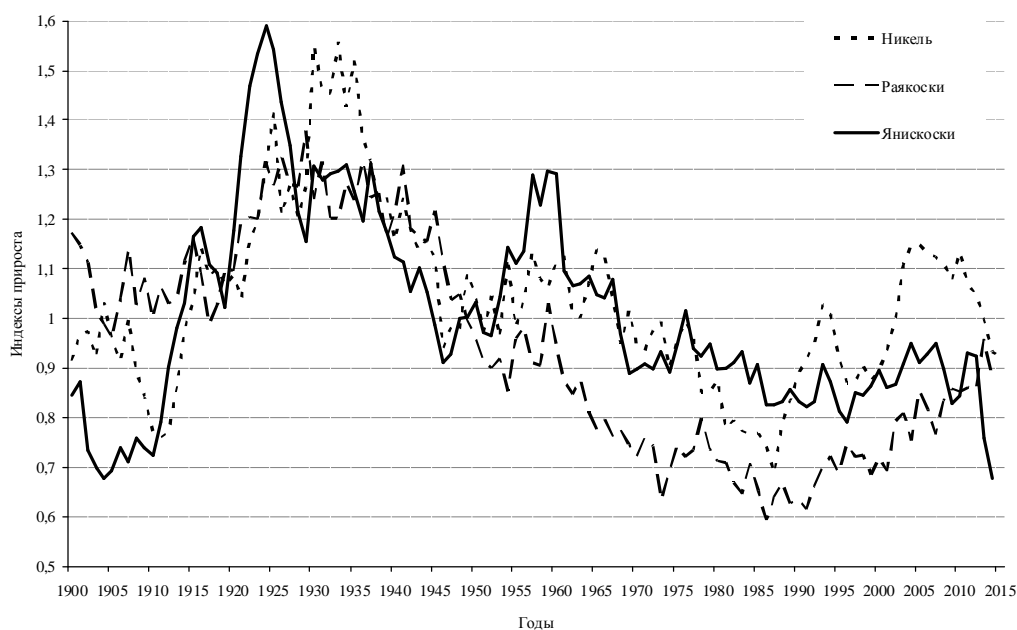


Рис. Динамика радиального прироста сосны обыкновенной в окрестностях ГМК «Печенганикель» за 1900-2015 годы [18]

ными особенностями условий произрастания конкретного дерева и дают наблюдаемую картину. В данной статье в качестве основных факторов были приняты аэротехногенное загрязнение и климатический фактор.

Наиболее интенсивное загрязнение выбросами ГМК «Печенганикель» происходило в 1970-80-е годы, когда на производстве использовалась руда из норильского района добычи с повышенным содержанием серы (30 %, в местной руде – 6,5 % [17]). Снижение выбросов, начавшееся в конце 1980-х годов в связи с переоснащением комбината для переработки такой руды и внедрением серноокислотного производства [5], наблюдается на протяжении всего рассматриваемого временного промежутка (1977-2009(11) гг.). Прекращение переработки норильской руды в 2002 году и современная модернизация комбината позволили снизить выбросы диоксида серы с 400000 т/год в 1977 году до 100000 т/год в 2011 году, никелевой пыли с 540 т/год в 1977 году до 330 т/год в 2009 году, медной пыли с 325 т/год в 1977 году до 160 г/год в 2009 году [5, 14].

Результаты корреляционного анализа между радиальным приростом сосны и объемами выбросов ГМК «Печенганикель» показали, что выбросы оказывают отрицательное влияние на прирост, однако такие результаты получены как для явно испытывающих негативное влияние выбросов окрестностей пгт. Никель, так и для территорий, определенных как фоновые (п. Раякоски, п. Янискос-

ки). Радиальный прирост сосен, произрастающих в окрестностях пгт. Никель, имеет сильную отрицательную связь с выбросами диоксида серы (средний коэффициент корреляции: $-0,82$), возможную отрицательную связь с выбросами никеля (средний коэффициент корреляции: $-0,57$) и значительную связь с выбросами меди (средний коэффициент корреляции: $-0,68$). При этом аналогичный показатель для сосен, произрастающих в районе п. Раякоски, равен $-0,70$ (диоксид серы), $-0,52$ (никель), $-0,62$ (медь), в районе п. Янискоски $-0,69$ (диоксид серы), $-0,55$ (никель), $-0,60$ (медь). С одной стороны, полученные результаты могут свидетельствовать о том, что загрязнение распространяется на территории свыше 60 км, и поселки Раякоски и Янискоски являются лишь условно фоновыми, наименее нарушенными территориями при том, что фитоценотический облик растительности здесь соответствует «зональному» – сосновые (лишайниково)-кустарничково-зеленомошные леса. Следовательно, на таком удалении от источника загрязнения оно не приводит к заметным нарушениям в составе растительности. С другой стороны, полученные результаты могут являться случайным совпадением, т.к. в период 1977-2010 годов для большей части сосен характерно увеличение прироста, а объемы выбросов падают.

Как правило, на северной границе леса, климатический фактор (прежде всего, температурный) имеет определяющее значение для роста деревьев, в том числе и радиального прироста [7]. Если

рассмотреть динамику годовых значений температур и осадков, рассчитанных по данным метеостанции Янискоски, то можно отметить некоторое сходство в характере их изменения за последние 20 лет, а именно возрастание как температуры, так и количества осадков. Годовое количество осадков за последние 45 лет увеличилось заметно: с 508 до 593 мм с пиком 661 мм в 1992 году. Среднегодовая температура воздуха с 1959 года до середины 1980-х годов снижалась от положительных значений, близких к 1°C, до отрицательных, близких к -1°C, а затем возросла до настоящего времени (соответственно от отрицательных до положительных, близких к 1°C).

Корреляционный анализ между радиальным приростом сосны и указанными климатическими параметрами показал наличие возможной положительной связи между данными показателями, но это характерно, во-первых, лишь для 40 % образцов, во-вторых, в основном для годовых температур воздуха и количества осадков октября предыдущего вегетационного периода. Интересно, что годовые температуры воздуха оказывают более сильное влияние на радиальный прирост сосен, произрастающих в окрестностях пгт. Никель (средний коэффициент корреляции составил 0,46), в то время как связь прироста с количеством осадков октября (средний коэффициент корреляции 0,34) наблюдается во всех трех районах отбора кренов. Как указывалось выше, температурный фактор является основным лимитирующим фактором для северных границ леса (пгт. Никель расположен на 70 км севернее, чем п. Раякоски и п. Янискоски), кроме того, его выраженность в окрестностях пгт. Никель может усиливаться «эффектом одеяла» из-за загрязнения и усилением температурных контрастов из-за расчлененного рельефа (пгт. Никель окружен несколькими массивами возвышенностей со средними высотами 300-400 м). Осадки октября приходятся на конец вегетации, когда годичное кольцо текущего года уже сформировано, соответственно закладывается потенциал для будущего вегетационного сезона, при этом октябрь для рассматриваемой территории характеризуется интенсивным выпадением осадков из-за циклонической деятельности над Баренцевым морем [12], а «фоновые» территории отличаются равнинным рельефом, часто заболочены, поэтому для них более значителен фактор увлажнения. Таким образом, влияние климатического фактора на прирост на рассматриваемой территории выражено слабо.

Подобные результаты для Кольского полуострова получены и другими исследователями [13].

В связи с неоднозначными результатами корреляционного анализа дополнительно проведено сопоставление средних радиальных приростов сосны по поколениям деревьев и по зонам нарушения растительного покрова. Анализ проводился с целью выявления каких-либо различий в величинах прироста у деревьев разных поколений (так как в разном возрасте деревья по-разному реагирует на различные воздействия), произрастающих в условиях разной экологической напряженности.

Выделены следующие зоны нарушения.

1. «Зона 1 степени нарушения» – значения NDVI: преимущественно 0,1-0,2; растительный покров: преобладание сильно эродированных пустошей, изредка слабо задернованных, выветренных выходов пород. Охватывает наиболее приближенную к источнику загрязнения (ГМК «Печенганикель») территорию, на которую выпадает максимальное количество загрязнителей в силу возвышенного рельефа (Набс. 200-300 м). Вытянута с юго-запада на северо-восток, согласно преобладающему направлению ветров [12]. Встречаются единичные лишённые вершин, низкорослые (2-3 м) березы (*Betula pubescens Ehrh.*), куртины черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus L.*) или водяники черной (*Empetrum nigrum L.*), овсяницы овечьей (*Festuca ovina L.*). Многочисленны сухие и горелые остатки стволов и стеблей кустарничков. На участках, укрытых от ветрового потока, а также по долинам рек и ручьев сохраняются фрагменты березовых криволесий с черникой, водяникой черной, хвощем полевым (*Equisetum arvense L.*). На защищенных от ветра участках может встречаться незначительное количество зеленых мхов (проективное покрытие (ПП) < 5 %).

2. «Зона 2 степени нарушения» – значения NDVI: 0,2-0,4, местами в ложбинах до 0,5; растительный покров: преимущественно пустоши и выходы пород, реже разреженные березовые криволесья, зарастающие березой гари. Прилегающая к предыдущей зоне она аналогичным образом вытянута с юго-запада на северо-восток по направлению ветров, а также на восток/юго-восток, что объясняется, во-первых, отклоняющим влиянием возвышенностей, во-вторых, распространением выбросов с соседней промплощадки ГМК «Печенганикель», расположенной в г. Заполярный в 28 км к востоку от пгт. Никель. Наиболее подверженные загрязнению наветренные территории представля-

ют собой пустоши или сильно разреженные криволесья, где сохранились единичные угнетенные березы и кустарнички, а подветренные покрыты более густым криволесьем с вышеупомянутыми видами кустарничков, луговика извилистого (*Avenella flexuosa* (L.) Drejer), овсяницы овечьей (общее ПП до 40 %). У деревьев наблюдаются хлороз³, суховершинность, вплоть до полного усыхания, чрезмерное искривление, низкорослость (сред. 3 м). Моховой покров также фрагментарен. На склонах ложбин и переувлажненных равнинах, выполняющих роль «убежищ» от загрязнения и сопутствующих им пожаров, произрастают переувлажненные березовые криволесья (Набс. > 200 м) и березовые леса (Набс. < 200 м).

3. «Зона 3 степени нарушения» – значения NDVI: преимущественно 0,3-0,4, реже 0,4-0,5. Зона отличается не сплошным распространением и состоит из трех участков. Первый участок прилагает к предыдущей зоне с востока, здесь развиты разреженные криволесья кустарничковые и появляются первые экземпляры сосны обыкновенной, отличающиеся крайней низкорослостью (до 6 м), суховершинностью, хлорозом хвои. Второй участок прилагает к предыдущей зоне с запада, где наблюдаются разреженные смешанные и сосновые кустарничковые, часто переувлажненные леса, нередко «проплешины» зарастающих вырубков и гарей. Этот участок прилагает к промлощадке ГМК «Печенганикель» и скоплению шлаковых отвалов, что, даже несмотря на расположение в стороне от основного направления распространения загрязнения, может сказываться на растительности данной территории. На крайнем северо-востоке восточного участка и на западном участке встречаются первые лишайники, представленные кладонией трубчатой (*Cladonia scabriuscula* (Delise) Leight) и кладонией бокальчатой (*Cladonia pyxidata* (L.)). Третий участок расположен примерно в 5 км к юго-западу-западу от пгт. Никель и представляет собой зарастающие березой, овсяницей овечьей и кустарничками гари, однако помимо пирогенной трансформации необходимо учесть, что эти территории (возвышенности с высотами до 150 м) располагаются на пути преобладающих в летний сезон северо-восточных ветров [12], следовательно, могут выступать барьерами для загрязнителей и подвергаться их выпадению. Но в целом же можно говорить об улучшении экологических условий в этой зоне.

³ Хлороз – нарушение образования хлорофилла и снижение активности фотосинтеза.

4. «Зона 4 степени нарушения» – значения NDVI: преимущественно 0,4-0,6; растительный покров: преобладание сосново-березовых/березово-сосновых кустарничковых (с доминированием брусники обыкновенной (*Vaccinium vitis-idaea* L.)) лесов. По долинам рек произрастают березовые кустарничково-травяные (брусника, багульник болотный (*Ledum palustre* L.), дерен шведский (*Chamaepericlymenum suecicum* (L.) Asch. & Graebn.), хвощ лесной (*Equisetum sylvaticum* L.)) леса. В этой зоне встречаются отличающиеся наибольшими показателями NDVI (0,6-0,7) сообщества осушенных торфяников – густые (ПП 50 %) ивовые заросли из ивы филиколистной (*Salix phylicifolia* L.), ивы козьей (*Salix caprea* L.), а также разнотравно-злаковые луга (доминанты: щучка дернистая (*Deschampsia cespitosa* (L.) P. Beauv.), овсяница луговая (*Festuca pratensis* Huds.), горошек заборный (*Vicia sepium* L.), чина луговая (*Lathyrus pratensis* L.)). Главным диагностическим признаком зоны является возрастание проективного покрытия (до 10 %) и частоты встречаемости лишайников, главным образом рода *Cladonia*; увеличение проективного покрытия характерно и для мхов (до 20 %), встречаются не только зеленые, но и политриховые мхи. В целом облик растительного покрова близок к зональному, «фоновому».

5. «Условно фоновая» зона (п. Раякоски, п. Янискоски) – за условную северную границу принято расстояние около 60 км от пгт. Никель (согласно данным [2]). Значения NDVI: 0,4-0,6. Растительный покров: сосновые и березово-сосновые (лишайниково)-кустарничково-зеленомошные леса, доминанты травяно-кустарничкового яруса – брусника, черника, багульник болотный, водяника черная; доминанты мохово-лишайникового покрова (общее ПП около 100 %, местами ПП лишайников составляет 30 %) – плевроциум Шребера (*Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt.), гилокомиум блестящий (*Hylocomium splendens* (Hedw.) W.P. Schimp.), кладония приальпийская (*Cladonia alpestris* (L.) Rabenh.), кладония лесная (*Cladonia sylvatica* (L.) Hoffm.), кладония оленья (*Cladonia rangiferina* (L.) Web.). На деревьях произрастает эпифитный индикатор благоприятной экологической обстановки – усnea бородастая (*Usnea barbata* (L.) Weber ex F.H. Wigg.).

Для каждой зоны (кроме зоны 1 степени нарушения, где растительность отсутствует) выделены следующие поколения сосны:

1) зона 2 степени нарушения – 2 поколения

(3 экземпляра, не составляющих одну площадку): 0-40 лет, 40-80 лет;

2) зона 3 степени нарушения – 8 поколений: 0-40 лет, 40-80 лет, 80-120 лет, 120-160 лет, 160-200 лет, 200-240 лет, 240-280 лет (1 экземпляр), 280-320 лет (1 экземпляр);

3) зона 4 степени нарушения – 7 поколений: 0-40 лет, 40-80 лет, 80-120 лет, 120-160 лет (1 экземпляр), 160-200 лет, 200-240 лет (1 экземпляр), 240-280 лет (1 экземпляр);

4) «Условно фоновая» зона – 7 поколений: 40-80 лет (1 экземпляр), 80-120 лет, 120-160 лет, 160-200 лет, 200-240 лет, 240-280 лет, 280-320 лет (1 экземпляр).

В целом в окрестностях ГМК «Печенганикель» преобладают сосны первого и второго поколений (до 80 лет), в «фоновых» районах – третьего, четвертого и пятого поколений (от 80 до 200 лет). Следовательно, леса окрестностей комбината гораздо моложе лесов «фоновых» территорий, экземпляры старше 200 лет сохранились единично, что связано с их интенсивной эксплуатацией на протяжении большей части XX века (вырубки при строительстве комбината, поселка, дорог, пожары).

За исходную гипотезу было принято следующее положение: если аэротехногенное загрязнение оказывает влияние на радиальный прирост сосны в данном районе, то в период 1970-80-х годов в «фоновых» условиях будет наблюдаться превышение величины прироста по сравнению с приростом сосен в условиях интенсивного загрязнения (окрестности ГМК «Печенганикель»), в 2000-е годы – постепенный рост и либо равенство прироста в «фоновых» условиях приросту в условиях загрязнения, либо даже превышение последнего в связи с улучшением экологических условий над приростом «фоновых» территорий.

Результаты по первому (0-40 лет) поколению показали, что радиальный прирост сосны в зоне 2 степени нарушения до 2000-х годов был ниже, а с начала 2000-х годов превосходит таковой для остальных зон нарушения, что вполне может свидетельствовать об улучшении экологических условий, на которые более молодые деревья реагируют более интенсивно. Однако сосны первого поколения не присутствуют на дендрохронологических площадках в «фоновых» условиях, поэтому, не имея возможности сравнить его с приростом в «фоновых» условиях, нельзя говорить о подтверждении исходной гипотезы.

Результаты по второму поколению (40-80 лет) также не дают четкого подтверждения исходной

гипотезы. Прирост в зоне 2 степени нарушения в 1980-е годы был ниже, чем в «фоновых» условиях, затем так же, как и прирост в «фоновых» условиях, начал возрастать. Однако в период 1970-1980-е годы не наблюдалось значимых различий между приростом в «фоновых» условиях и остальных зонах нарушения, а в 2000-е годы прирост в зонах нарушения по сравнению с приростом в условиях фона падает. Такое поведение прироста может быть связано, во-первых, с более выраженной реакцией на загрязнение у более молодых сосен, во-вторых, с проявлением влияния загрязнения на прирост лишь в непосредственной близости (в пределах первых нескольких км) от источника загрязнения.

Что касается третьего поколения (80-120 лет), то здесь гипотеза подтвердилась: в 1970-80-е годы на фоне общего падения прирост в «фоновых» условиях превышает таковой во всех зонах нарушения, а затем становится значительно ниже прироста в зонах нарушения.

Результаты по четвертому поколению (120-160 лет) неоднозначны. В период 1970-80-х годов прирост во всех зонах нарушения оказывается ниже прироста в «фоновых» условиях, а затем прирост в зоне 3 степени нарушения несколько возрастает по отношению к приросту в «фоновых» условиях, а прирост в зоне 4 степени нарушения продолжает падать.

Что касается 5 поколения (160-200 лет), то результаты мало показательны, так как различия в приросте в «фоновых» условиях и на нарушенных территориях (резкое падение последнего по сравнению с фоновым) наблюдается лишь в период 1985-90-х годов.

Результаты по 6 поколению (200-240 лет) в целом подтверждают исходную гипотезу, т.к. имеет место заметное превышение прироста в «фоновых» условиях над приростом в зонах нарушения в 1970-е–80-е годы, затем наблюдается постепенный рост и выравнивание всех приростов и, наконец, в последние годы даже незначительное превышение прироста в зонах нарушения над фоном.

Результаты по 7 поколению (240-280 лет) показывают сходную динамику. В целом до 1970-х годов и после 1990 года прирост в «фоновых» условиях ниже прироста в зонах 3 и 4 степени нарушения растительности, но на отрезке 1982-1993 годов прирост в «фоновых» условиях превышает таковой в зонах нарушения.

Результаты по 8 поколению (280-320 лет) также нельзя принимать во внимание, т.к. всего 2 дере-

ва из 242 исследованных попадают в эту возрастную категорию, однако и здесь можно проследить сходный характер изменения прироста.

Таким образом, исходная гипотеза не получила достаточного подтверждения. Если учесть, что в силу недостаточного количества экземпляров (1-2 экземпляра) из рассмотрения исключены сосны моложе 40 лет и старше 280 лет, то близкие к высказанной гипотезе результаты получены для третьего (80-120 лет), шестого (200-240 лет) и седьмого (240-280 лет) поколений. Можно предположить, что влияние аэротехногенного загрязнения на радиальный прирост сильнее проявляется у деревьев в спелых и перестойных древостоях, а также, возможно, в молодняках (моложе 40 лет). Однако в целом, такие нечеткие результаты не могут быть приняты в качестве подтверждения влияния загрязнения на радиальный прирост сосны обыкновенной в рассматриваемом районе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных исследований позволяют сделать следующие выводы.

1. Между радиальным приростом сосны обыкновенной и объемами выбросов ГМК «Печенганикель» наблюдается отрицательная связь, т.е. под влиянием загрязнения происходит уменьшение толщины годовых колец деревьев. Однако данная связь наблюдается не только у сосен, произрастающих вблизи источника загрязнения (до 40 км), но и на более удаленных территориях (70 км), морфологический и фитоценотический облик растительности которых позволяет отнести их к «фоновым». Следовательно, указанные характеристики растительности в данном случае не отражают реальной экологической обстановки, что подчеркивает значимость дендрохронологических исследований при изучении изменений растительного покрова в условиях аэротехногенного загрязнения.

2. Климатический фактор (температура воздуха, количество осадков) оказывает незначительное влияние на формирование годовых колец сосны обыкновенной в рассматриваемом районе, так как слабая положительная взаимосвязь указанных показателей была выявлена лишь у 40 % исследованных образцов. Возможно, такие результаты объясняются спецификой экологической ситуации, т.е. аэротехногенное загрязнение выступает в качестве «шума», который перебивает климатический сигнал в хронологиях. И, таким образом, оба фактора взаимодополняют друг друга.

3. Молодые, спелые и перестойные древостои, произрастающие в условиях аэротехногенного за-

грязнения, оказываются более чувствительными к неблагоприятным условиям среды, чем средневозрастные, и выраженность этого проявления возрастает с приближением к источнику загрязнения. Однако, в связи с выявлением довольно нечеткой динамики прироста у разных поколений в зонах с разной степенью повреждения растительного покрова, данное утверждение для рассматриваемой территории пока носит гипотетический характер.

4. Использование корреляционного анализа в качестве основного метода исследований не является достаточным для выявления теоретических закономерностей, и в целях предотвращения случайного характера полученных результатов, в дальнейшем необходимо провести дополнительные аналитические исследования.

Работа выполнена при поддержке Санкт-Петербургского государственного университета (проект № 18.38.418.2015).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воздействие металлургических производств на лесные экосистемы Кольского полуострова / под общ. ред. В. В. Сычева. – Санкт-Петербург : Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов, 1995. – 251 с.
2. Загрязнение почв лесных экосистем тяжелыми металлами в зоне влияния комбината «Печенганикель» / Г. Н. Копчик [и др.] // Почвоведение. – 1998. – № 8. – С. 988-995.
3. Исаченко Г. А. Методы полевых ландшафтных исследований и ландшафтно-экологическое картирование: курс лекций / Г. А. Исаченко. – Санкт-Петербург : Издательство Санкт-Петербургского государственного университета, 1998. – 112 с.
4. Классификационные типологические схемы лесов и лесорастительное районирование Мурманской области. – Архангельск : Архангельский институт леса и лесохимии, 1979. – 35 с.
5. Кольская горно-металлургическая компания (промышленные площадки «Никель» и «Заполярный»): влияние на наземные экосистемы / под общ. ред. О. А. Хлебосоловой. – Рязань : Голос губернии, 2012. – 92 с.
6. Лукина Н. В. Техногенные дигрессии и восстановительные сукцессии в северотаежных лесах / Н. В. Лукина, Т. А. Сухарева, Л. Г. Исаева. – Москва : Наука, 2005. – 244 с.
7. Методы дендрохронологии / С. Г. Шиятов [и др.] : учебно-методическое пособие. – Красноярск : Издательство Красноярского государственного университета, 2000. – Ч. I. Сбор и получение древесно-кольцевой информации. – 80 с.
8. Мюльгаузен Д. С. Влияние аэротехногенного загрязнения на радиальный прирост сосны обыкновенной на Кольском Севере / Д. С. Мюльгаузен, Л. А. Панкратова // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер.7, Геология. География. – 2016. – Вып. 4. – С. 124-133.

9. Неверова О. А. Применение фитоиндикации в оценке загрязнения окружающей среды / О. А. Неверова // Биосфера : междисциплинарный научный и прикладной журнал по проблемам познания и сохранения биосферы и использования ее ресурсов. – 2009. – Т. 1, № 1. – С. 82-92.

10. Полякова Г. Р. Влияние техногенного загрязнения на дендрохронологические параметры сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) / Г. Р. Полякова, Р. В. Уразгильдин // Вестник Челябинского государственного университета. Биология. – 2013. – Вып. 2, № 7(298). – С. 191-194.

11. Попов А. С. Влияние мезоклимата и атмосферных промышленных загрязнений на радиальный прирост сосны обыкновенной / А. С. Попов, В. В. Фомин, Ю. В. Шалаумова // Аграрный вестник Урала. – 2011. – № 4(83). – С. 15-18.

12. Птицы Пасвика / Е. И. Хлебосолов [и др.]. – Рязань : Голос губернии, 2007. – 175 с.

13. Ярмишко. В. Т. Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на европейском Севере / В. Т. Ярмишко. – Санкт-Петербург : Издательство Научно-исследовательского института химии, 1997. – 210 с.

14. <http://www.kolagmk.ru/> – Официальный сайт ОАО «Кольская ГМК»

15. <http://meteo.ru/> – Официальный сайт ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД»

16. <http://gis-lab.info/> – NDVI: теория и практика, официальный сайт сообщества GIS-Lab

17. Pasvik Programme Summary Report. – Jyväskylä : Kopijyvä Oy, 2008. – 24 p.

18. State of the Environment in the Norwegian, Finnish and Russian Border Area / Ed. K. Stebel [et al] // The Finnish Environment. – Rovaniemi, 2007. – № 6. – 98 p.

19. www.earthexplorer.usgs.gov – Портал спутниковых снимков Геологической службы США (in English)

REFERENCES

1. Vozdejstvie metallurgicheskikh proizvodstv na lesnye ehkosistemy Kol'skogo poluoostrova / pod obshh. red. V. V. Sycheva. – Sankt-Peterburg : TSentr po problemam ehkologii i produktivnosti lesov, 1995. – 251 s.

2. Zagryaznenie pochv lesnykh ehkosistem tyazhelymi metallami v zone vliyaniya kombinata «Pechenganikel» / G. N. Koptsik [i dr.] // Pochvovedenie. – 1998. – № 8. – S. 988-995.

3. Isachenko G. A. Metody polevykh landshaftnykh issledovaniy i landshaftno-ehkologicheskoe kartirovanie: kurs lektsij / G. A. Isachenko. – Sankt-Peterburg : Izdatel'stvo Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta, 1998. – 112 s.

4. Klassifikatsionnye tipologicheskie skhemy lesov i lesorastitel'noe rajonirovanie Murmanskoy oblasti. – Arkhangel'sk : Arkhangel'skij institut lesa i lesokhimii, 1979. – 35 s.

5. Kol'skaya gorno-metallurgicheskaya kompaniya (promyshlennye ploshhadki «Nikel» i «Zapolyarnyj»): vliyaniye na nazemnye ehkosistemy / pod obshh. red. O. A. KHlebosolovoj. – Ryazan' : Golos gubernii, 2012. – 92 s.

6. Lukina N. V. Tekhnogennye digressii i vosstanovitel'nye suksessii v severotaezhnykh lesakh / N. V. Lukina, T. A. Sukhareva, L. G. Isaeva. – Moskva : Nauka, 2005. – 244 s.

7. Metody dendrokronologii / S. G. SHiyatov [i dr.] : uchebno-metodicheskoe posobie. – Krasnoyarsk : Izdatel'stvo Krasnoyarskogo gosudarstvennogo universiteta, 2000. – CH. I. Sbor i poluchenie drevesno-kol'tsevoj informatsii. – 80 s.

8. Myul'gauzen D. S. Vliyaniye aehrotekhnogennogo zagryazneniya na radial'nyj prirost sosny obyknovennoj na Kol'skom Severe / D. S. Myul'gauzen, L. A. Pankratova // Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Ser. 7, Geologiya. Geografiya. – 2016. – Vyp. 4. – S. 124-133.

9. Neverova O. A. Primeneniye fitoindikatsii v otsenke zagryazneniya okruzhayushhej sredy / O. A. Neverova // Biosfera : mezhdistsiplinarnyj nauchnyj i prikladnoj zhurnal po problemam poznaniya i sokhraneniya biosfery i ispol'zovaniya ee resursov. – 2009. – Т. 1, № 1. – С. 82-92.

10. Polyakova G. R. Vliyaniye tekhnogennogo zagryazneniya na dendrokronologicheskie parametry sosny obyknovennoj (*Pinus sylvestris* L.) / G. R. Polyakova, R. V. Urazgil'din // Vestnik CHelyabinskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya. – 2013. – Vyp. 2, № 7(298). – S. 191-194.

11. Popov A. S. Vliyaniye mezklimata i atmosferynykh promyshlennykh zagryaznenij na radial'nyj prirost sosny obyknovennoj / A. S. Popov, V. V. Fomin, YU. V. SHalaumova // Agrarnyj vestnik Urala. – 2011. – № 4(83). – S. 15-18.

12. Ptitsy Pasvika / E. I. KHlebosolov [i dr.]. – Ryazan' : Golos gubernii, 2007. – 175 s.

13. YArmishko. V. T. Sosna obyknovennaya i atmosfernoye zagryazneniye na evropejskom Severe / V. T. YArmishko. – Sankt-Peterburg : Izdatel'stvo Nauchno-issledovatel'skogo instituta khimii, 1997. – 210 s.

14. <http://www.kolagmk.ru/> – Ofitsial'nyj sajт ОАО «Kol'skaya GМK»

15. <http://meteo.ru/> – Ofitsial'nyj sajт FGBU «VNIIGMI-MTSD»

16. <http://gis-lab.info/> – NDVI: teoriya i praktika, ofitsial'nyj sajт soobshhestva GIS-Lab

17. Pasvik Programme Summary Report. – Jyväskylä : Kopijyvä Oy, 2008. – 24 p.

18. State of the Environment in the Norwegian, Finnish and Russian Border Area / Ed. K. Stebel [et al] // The Finnish Environment. – Rovaniemi, 2007. – № 6. – 98 p.

19. www.earthexplorer.usgs.gov – Portal sputnikovyx snimkov Geologicheskoy sluzhby SSHA (in English)

Мюльгаузен Дарья Сергеевна
аспирант, инженер-исследователь Института наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета, г. Санкт-Петербург, т. (8 812) 323-39-13, E-mail: dariadauria@yandex.ru

Панкратова Любовь Александровна
кандидат географических наук, ассистент Института наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета, г. Санкт-Петербург, т. (8 812) 323-39-13, E-mail: l.pankratova@spbu.ru

Miul'gauzen Daria Sergeevna
Postgraduate student, Research Engineer of the Institute of Earth Sciences of St. Petersburg State University, St. Petersburg, tel. (8 812) 323-39-13, E-mail: dariadauria@yandex.ru

Pankratova Liubov' Alexandrovna
Candidate of Geographical Sciences, Assistant of the Institute of Earth Sciences of St. Petersburg State University, St. Petersburg, tel. (8 812) 323-39-13, E-mail: l.pankratova@spbu.ru