

Д. С. Мюльгаузен, Л. А. Панкратова

ВЛИЯНИЕ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА РАДИАЛЬНЫЙ ПРИРОСТ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ НА КОЛЬСКОМ СЕВЕРЕ*

Санкт-Петербургский государственный университет, Российская Федерация, 199034, Университетская наб., 7–9

В статье приводятся результаты исследования взаимосвязи аэротехногенного загрязнения и радиального прироста сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Исследования проводились в Печенгском районе Мурманской области, в окрестностях пгт. Никель, где расположена промплощадка горно-металлургического комбината «Печенганикель». Основным методом исследования — корреляционный анализ. Дана оценка вклада климатических факторов в радиальный прирост сосны в условиях аэротехногенного загрязнения. Исследована динамика радиального прироста сосны обыкновенной в районе исследований за последние 115 лет. Библиогр. 19 назв. Ил. 2. Табл. 2.

Ключевые слова: аэротехногенное загрязнение, радиальный прирост, корреляционный анализ.

D. S. Miulgauzen, L. A. Pankratova

THE INFLUENCE OF AEROTECHNOGENIC POLLUTION ON SCOTS PINE'S RADIAL GROWTH IN KOLA NORTH

St. Petersburg State University, 7–9, Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034, Russian Federation

The article presents the results of studies on the relation between aerotechnogenic pollution and the radial growth of Scots pine. The studies were conducted in Pechengsky District of Murmansk Oblast, in the vicinity of the urban-type settlement Nikel, where the Pechenganikel Mining and Metallurgical Plant facility is located. The main method of the research is correlation analysis. This method was used to estimate the contribution of climatic factors in the radial growth of pine in terms of aerotechnogenic pollution. The dynamics of Scots pine radial growth over the past 115 years in the explored area was also examined. Refs 19. Figs 2. Tables 2.

Keywords: aerotechnogenic pollution, radial growth, correlation analysis.

Аэротехногенное загрязнение (загрязнение воздуха выбросами промышленных объектов) является одной из актуальных проблем современности и мощным фактором преобразования природной среды человеком. Его воздействие затрагивает все природные компоненты, но одним из наиболее восприимчивых является растительный покров. Под влиянием выбросов происходят различные преобразования в растительных сообществах, проявляющиеся в изменениях их состава и нарушении всех жизненных процессов растений, зачастую приводящих к их гибели [1–6]. В частности, многими исследователями установлена зависимость между влиянием аэротехногенного загрязнения на лесные массивы и радиальным приростом деревьев [1, 7–10]: большие объемы выбросов промышленных предприятий на протяжении длительного времени привели к резкому уменьшению толщины годичных колец.

В представляемой работе рассматривается влияние горно-металлургического комбината «Печенганикель», расположенного в Печенгском районе Мурманской области, на радиальный прирост сосны обыкновенной. Комбинат осуществляет

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

© Санкт-Петербургский государственный университет, 2016

добычу и переработку сульфидной медно-никелевой руды [11]. Сосна обыкновенная (точнее ее северный аналог сосна лапландская *Pinus friesiana* Wich) — основная лесообразующая порода в данной местности. На не затронутых загрязнением территориях она образует сосновые кустарничково-зеленомошные и лишайниково-кустарничково-зеленомошные леса. В условиях загрязнения леса — преимущественно смешанные сосново-березовые или березово-сосновые (содоминант — береза пушистая (*Betula pubescens* Ehrh.)) кустарничковые леса. Вблизи комбината значительная часть территории представляет собой пустошь. Средняя температура января в рассматриваемом районе составляет $-11,3^{\circ}\text{C}$, июля — $10-14^{\circ}\text{C}$. Продолжительность вегетационного периода — около 117 дней (конец мая — последняя декада сентября). Снежный покров устанавливается в начале октября и держится 190–200 дней в году. Средняя мощность снежного покрова варьирует от 40 см до 80 см. В зимний период преобладают южные и юго-западные ветры, летом — ветры преимущественно северных и северо-восточных направлений, но в течение года господствующими все же являются юго-западные ветры. Среднегодовое количество осадков 440–530 мм, 70 % от годовой суммы осадков выпадает в теплый период [12, 13].

Полевые работы проведены в июне 2015 г. в окрестностях поселка городского типа (пгт.) Никель, где расположены плавильный цех и сернокислотный цех комбината «Печенганикель», а также в окрестностях поселков Раякоски и Янискоски, в 65 км и 75 км к юго-западу от пгт. Никель соответственно. Поселки выбраны в качестве неких эталонных, условно фоновых территорий. Отбор древесных кернов сосны обыкновенной осуществлялся при помощи возрастного бурава по стандартной дендрохронологической методике [14–16]. Дендрохронологические площадки были организованы на мезорельефе трех типов: равнинах с хорошим дренажем (преимущественно), вершинах/склонах возвышенностей, равнинах с избыточным увлажнением (заболоченных). В районе исследования отобран 241 керн (около пгт. Никель — 133, на площадках Раякоски и Янискоски — 109).

После предварительной подготовки (вклейка в деревянные основы, шлифовка, полировка) керны датированы при помощи измерительного комплекса LINTAB 6 в программе TSAPWin Professional. Затем выполнена стандартизация каждой хронологии (хронология — полученный при измерении ряд толщины годичных колец) в программе ARSTAN: подбор к каждому хронологическому графику наиболее точно описывающей его кривой (из вариантов, предлагаемых программой) и автоматический пересчет значений прироста за каждый год из реальных значений в миллиметрах в безразмерные индексы прироста. Выбор аппроксимирующей кривой определялся в ходе визуального анализа хронологических графиков, получаемых в программе ARSTAN: при наличии возрастного тренда использовалась негативная экспонента (negative exponential curve), в его отсутствие — горизонтальная прямая (horizontal line).

Изучение взаимосвязи между радиальным приростом и изменением уровня загрязнения комбинатом «Печенганикель» проведено методом корреляционного анализа. Показателями уровня загрязнения выступили данные о годовых объемах выбросов комбината по диоксиду серы (SO_2) за 1977–2011 гг., по меди и никелю за 1977–2009 гг. [11, 17]. При анализе были использованы также климатические данные (данные метеостанции Янискоски [18]): среднемесячные значения температуры воздуха за 1959–2014 гг., среднемесячное количество осадков за 1969–2014 гг. Коэффици-

коэффициенты корреляции (Пирсон, уровень значимости $p < 0,05$) рассчитаны в программе STATISTICA version 6 с помощью опции Basic Statistics and Tables: Correlation Matrices. В конечном итоге учитывались только значимые коэффициенты со значениями $\geq 0,3$.

В изменении уровня загрязнения комбинатом «Печенганикель», а именно объемов выбросов основных загрязнителей, в целом наблюдается тренд снижения (рис. 1). Выбросы диоксида серы практически за весь рассматриваемый период сокращались. Возврат на прежний уровень выбросов в 1995–1997 гг. связан, по-видимому, с восстановлением производства после перестройки. В последние годы наблюдается стабилизация выбросов на уровне около 100 тыс. т/год. Устойчивое сокращение выбросов медной и никелевой пыли происходило до начала 1990-х гг., затем выбросы никеля даже несколько возросли и в настоящее время колеблются в районе 250 т/год. Небольшое увеличение выбросов меди в 1990-е гг. сменилось все же уменьшением в 2000-х гг. Сегодня они находятся на уровне примерно 130 т/год. Различие в динамике выбросов разных загрязнителей объясняется различием в содержании самого элемента в руде и в объемах ее переработки. До 2002 г. на комбинате использовалась привозная руда с высоким содержанием серы (30%), соответственно с прекращением ее использования прекратились и значительные выбросы диоксида серы (содержание серы в местной руде 6,5%) [5]. Содержание металлов в выбросах связано только с объемами используемой руды. В годы перестройки объемы производства сокращались, поэтому и выбросы были на низком уровне, при восстановлении производства наблюдается некоторое увеличение выбросов металлов.

Радиальный (годовой) прирост любого дерева очень изменчив от года к году и имеет свои особенности. Как правило, помимо возрастного тренда (возрастной тренд — интенсивный рост дерева в молодом возрасте с последующим его замедле-

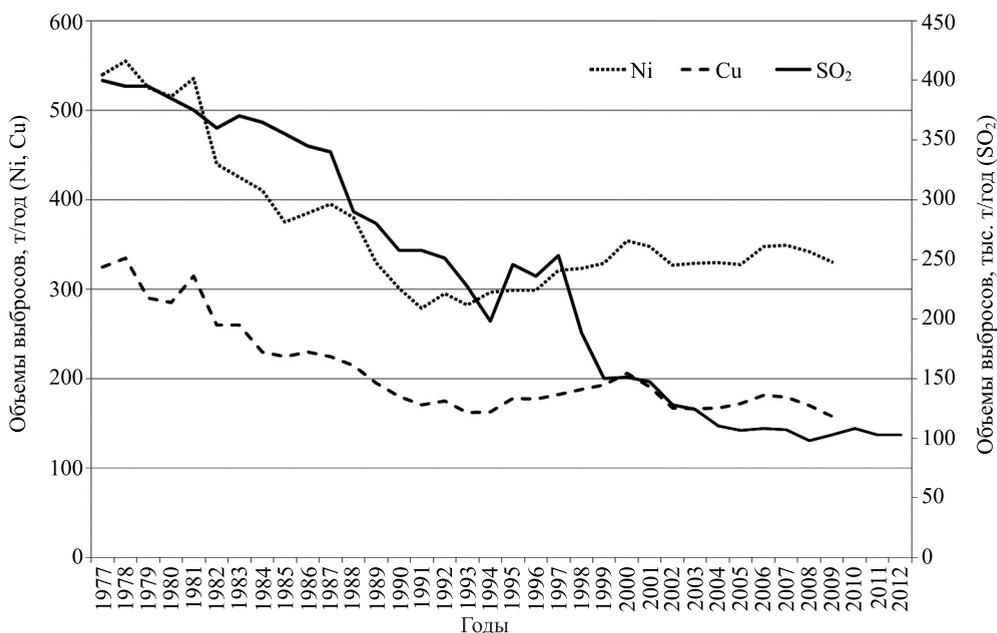


Рис. 1. График изменения объемов выбросов основных загрязнителей комбината «Печенганикель» (построен авторами по [18])

нием и падением, для сосны примерно первые 30–40 лет [7, 19]), отмечаются также и тренды, обусловленные некоторыми внешними факторами, обычно лимитирующими для конкретного местопроизрастания. График изменения годичного прироста сосны обыкновенной (рис. 2) представляет собой осреднение всех полученных хронологий, но из-за обобщения его необходимо рассматривать с определенной долей условности. Как видно на графике, период наиболее интенсивного годичного прироста и в условиях загрязнения (пгт. Никель), и в фоновых условиях (п. Раякоски, п. Янискоски) приходится на 1920–1930-е гг., что совпадает с потеплением климата северного полушария в этот период. Интересно, что такому сильному росту предшествует значительное его падение в 1910–1912 гг., что показывают образцы, отобранные в окрестностях Никеля и Янискоски, однако оно не характерно для района Раякоски. На сегодняшний день мы не располагаем какими-либо данными, позволяющими выявить причину наблюдаемых особенностей.

В условиях загрязнения (пгт. Никель) падение прироста наблюдается до середины 1940-х гг., что может быть связано и с начавшимся похолоданием, и с началом металлургического освоения этого района в 1937 г., и далее прирост несколько стабилизируется. В 1970-е — первой половине 1980-х гг. вновь наблюдается заметный спад годичного прироста с минимумом в 1987 г. Если учесть, что это период понижения зимних температур в данном районе, то подобная особенность объясняется климатическими причинами, однако свой вклад здесь могло внести и аэротехногенное загрязнение, которое в 1970–1980-е гг. было наиболее интенсивным [11]. Затем прирост начинает стремительно увеличиваться, что также может быть связано и с улучшением климатических условий, и с уменьшением техногенной нагрузки. На

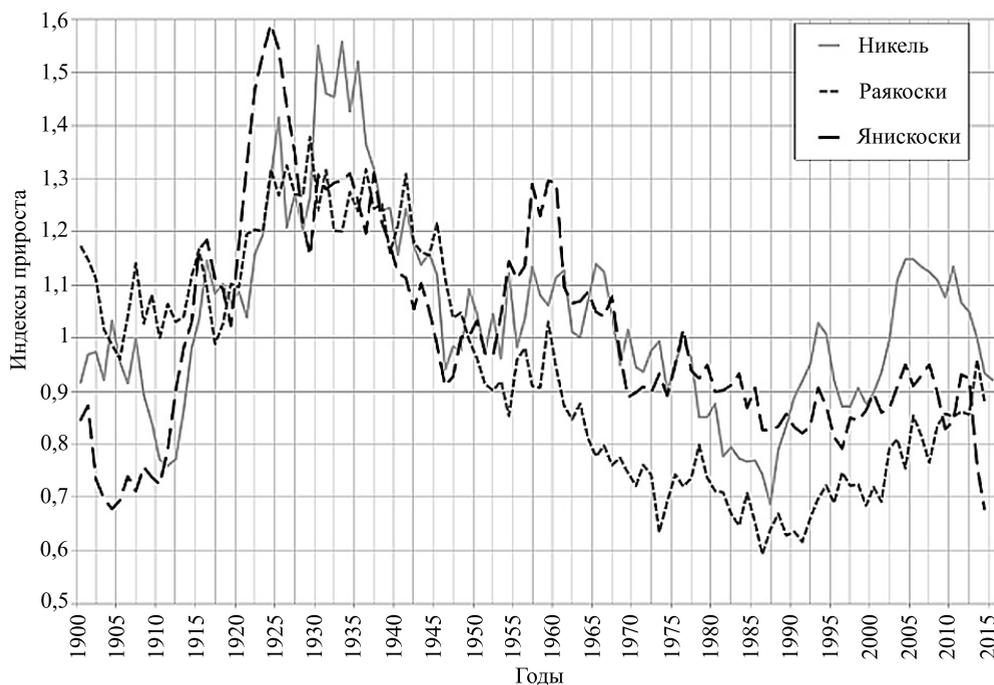


Рис. 2. График осредненного годичного прироста сосны обыкновенной для окрестностей пгт. Никель, п. Раякоски и п. Янискоски

общем фоне заметно выделяется резкое падение прироста в конце 1990-х гг. В этом случае также возможно влияние климата — в 1998 г. из-за понижения зимних температур наблюдается резкое падение годовой температуры воздуха до $-2,6^{\circ}\text{C}$ ($-0,5^{\circ}\text{C}$ в 1997 г.), и влияние аэротехногенного загрязнения — увеличение выбросов из-за восстановления производства в 1995–1997 гг. Уменьшение прироста в последнее пятилетие может быть связано с некоторым понижением зимних температур в 2010–2011 гг., однако возможно и негативное влияние увеличения объемов выбросов.

В целом для древостоя в окрестностях п. Раякоски характерен тот же тренд в изменении прироста, что и для древостоев в окрестностях пгт. Никель, но он отличается большей плавностью, отсутствием резких падений и взлетов роста и, как ни странно, меньшими величинами прироста. На отрезке 1960–2015 гг. прирост древостоев в окрестностях Никеля превышает таковой для Раякоски. Возможно, причина заключается в изменении водного режима, что негативно сказалось на растительном покрове и радиальном приросте сосны в частности. Раякоски расположен на правом берегу р. Паз, где в 1950-х гг. было построено три ГЭС, одна из которых находится в поселке [11]. После строительства ГЭС значительных антропогенных изменений в районе п. Раякоски не происходило, следовательно, густота лесов начала возрастать, что могло привести к усилению фактора конкуренции и взаимоугнетению деревьев. Возможно, что повышение годовой температуры воздуха, стабилизация водного режима территории привели к возрастанию годичного прироста в последние 20 лет. Влияние аэротехногенного загрязнения на эту территорию не исключено, но маловероятно в связи со значительной удаленностью от источника загрязнения (около 70 км) и наличием видов — индикаторов благоприятных экологических условий [1–3] в составе растительного покрова лесов (эпифитный лишайник усnea бородатая (*Usnea barbata* (L.) Weber ex F. H. Wigg), кустистые лишайники рода *Cladonia* и др., мхи родов *Pleurozium*, *Hylocomium* и др.)

Характер изменения прироста сосны обыкновенной в окрестностях п. Янискоски отличен от остальных районов. Интересно, что значения прироста после 1945 г. у деревьев из окрестностей п. Янискоски выше, чем из окрестностей п. Раякоски, расположенного всего в 10 км к северо-востоку и практически не отличающегося от него по природным условиям. В 1955–1965 гг. характерны более высокие значения прироста, чем у деревьев из двух других районов. Затем прирост сокращается, слабо выраженный минимум приходится на вторую половину 1990-х гг. В последние 20 лет заметно небольшое возрастание годичного прироста. Все отмеченные особенности во многом согласуются и с имеющимися климатическими данными, и с возможным влиянием изменения увлажненности территории из-за строительства ГЭС (в поселке расположена ГЭС «Янискоски»), и отдаленным влиянием аэротехногенного загрязнения.

Необходимо подчеркнуть, что в данном исследовании рассматривается лишь влияние аэротехногенного загрязнения на лесные массивы, в то время как важным фактором лесной динамики, отражающимся и на радиальном приросте, являются рубки и пожары. Наличие резких перепадов в приросте древостоев может быть связано именно с такими явлениями. Анализ графиков прироста сосны обыкновенной по 3 районам отбора позволяет говорить об определенном сходстве в их изменении, что можно интерпретировать не иначе, как подчиненность примерно одним и тем же внешним факторам среды, которые в сочетании друг с другом и с локальными особенностями условий произрастания конкретного дерева и дают наблюдаемую картину.

Корреляционный анализ между индексами прироста сосны обыкновенной и климатическими параметрами для исследуемого района позволил установить наличие возможной (коэффициент корреляции 0,3–0,6) положительной связи между данными показателями (табл. 1). В таблицу включены только те месяцы, для которых было получено наибольшее число достоверных корреляций. Значимые значения получены лишь для 40 % отобранных образцов. Интересно, что влияние годовых температур воздуха на годичный прирост сильнее проявляется в окрестностях пгт. Никель (средний коэффициент корреляции составил 0,46), в то время как влияние количества осадков октября предыдущего вегетационного периода (средний коэффициент корреляции 0,34) проявляется во всем рассматриваемом районе.

Таблица 1. Средние значения коэффициентов корреляции между климатическими параметрами и радиальным приростом сосны обыкновенной по дендрохронологическим площадкам для района исследований

Район	№ площадки	Период	Коэффициент корреляции	
			Tr	Or
Никель	1	август	0,40	—
		год	0,43	—
	2	год	0,46	—
		3	апрель	—
	октябрь			
	4	октябрь	0,31	—
		7	год	0,47
	8	год	0,48	—
23		октябрь	—	0,32
	Янискоски	20	апрель	0,28
май			—	0,34
октябрь			—	0,34
Раякоски	14	октябрь	—	0,35

Примечание. Tr — коэффициент корреляции прироста с температурой, Or — коэффициент корреляции прироста с осадками.

Именно такая обусловленность прироста вполне очевидна. Район исследований расположен на северном пределе распространения растительности, где температурный фактор, как правило, играет главную роль среди лимитирующих в целом. 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 развития в это время циклонической деятельности над Баренцевым морем [13]. Температурный фактор ярче проявляется в районе пгт. Никель, возможно, вследствие того, что интенсивное загрязнение может вызывать эффект «одеяла». Каких-либо закономерностей полученных коэффициентов, связанных с различием дендрохронологических площадок по типам мезорельефа, выявить не удалось.

В целом полученные результаты не позволяют говорить о том, что климатический фактор играет ведущую роль в радиальном приросте деревьев в районе исследований, однако полностью отрицать климатическое влияние не стоит. Сходные

результаты корреляционного анализа между радиальным приростом сосны обыкновенной и климатическими параметрами для Кольского полуострова получены и другими исследователями [7, 10].

Результаты корреляционного анализа между индексами прироста сосны обыкновенной и объемами выбросов комбината «Печенганикель» довольно противоречивы (табл. 2). С одной стороны, получены высокие коэффициенты корреляции для наиболее подверженной загрязнению территории — окрестностей пгт. Никель, свидетельствующие о наличии сильной отрицательной связи с выбросами диоксида серы (в среднем $-0,82$), возможной отрицательной связи с выбросами никелевой пыли (в среднем $-0,57$) и значительной отрицательной связи с выбросами медной пыли (в среднем $-0,68$). С другой стороны, схожие результаты характерны и для территорий, которые можно считать условно фоновыми: для п. Раякоски в среднем $-0,70$ (SO_2), $-0,52$ (Ni), $-0,62$ (Cu), для п. Янискоски в среднем $-0,69$ (SO_2), $-0,55$ (Ni), $-0,60$ (Cu) соответственно. Данные результаты могут свидетельствовать либо о значительном распространении загрязняющего эффекта даже не территориях, считающихся фоновыми и визуально не нарушенными, либо являются случайным совпадением, так как за период 1977–2010 гг. большая часть деревьев имеет повышение прироста, а объемы выбросов падают. Не наблюдается различий в коэффициентах

Таблица 2. Средние значения коэффициентов корреляции между объемами выбросов комбината «Печенганикель» и радиальным приростом сосны обыкновенной по дендрохронологическим площадкам для района исследований

Район	№ площадки	Коэффициент корреляции		
		SO ₂	Ni	Cu
Никель	1	-0,94	-0,65	-0,78
	2	-0,9	-0,61	-0,75
	3	-0,91	-0,66	-0,76
	4	-0,61	-0,47	-0,51
	5	-0,9	-0,62	-0,78
	6	-0,82	—	—
	7	-0,86	-0,45	-0,7
	8	-0,85	-0,65	-0,75
	9	-0,88	-0,61	-0,64
	10	-0,82	-0,42	-0,66
	11	-0,9	—	—
	16	-0,62	—	—
	17	-0,78	—	-0,63
	23	-0,76	-0,53	-0,57
Раякоски	12	—	—	—
	13	-0,69	-0,62	-0,66
	14	-0,71	-0,53	-0,58
Янискоски	18	-0,69	-0,45	-0,61
	19	-0,7	—	-0,58
	20	-0,83	-0,65	-0,7
	21	-0,67	—	-0,58
	22	-0,56	—	-0,51

корреляции ни по розе ветров, ни по изменению расстояния от источника загрязнения — комбината «Печенганикель». Тип мезорельефа, на котором расположена дендрохронологическая площадка, также в целом не влияет на степень связи, но отмечается падение коэффициентов корреляции, особенно для тяжелых металлов, на переувлажненных местоположениях, возможно из-за их поглощения моховым покровом. Дополнительные исследования показали, что в целом коэффициент корреляции по загрязнению не зависит ни от высоты, ни от возраста дерева. Но все же наименьшей корреляцией отличались самые молодые (примерно <30 лет) и самые старые в древостое деревья (в зависимости от среднего возраста древостоя).

Таким образом, корреляционный анализ между индексами прироста сосны обыкновенной и объемами выбросов комбината «Печенганикель» позволил выявить устойчивую отрицательную связь между данными параметрами. Аналогичные результаты для условно фоновых территорий, возможно, свидетельствуют о распространении загрязнения даже на тех территориях, где не отмечается визуальных признаков нарушений.

В итоге проведенное исследование показало:

1. Радиальный прирост сосны обыкновенной в условиях интенсивного аэротехногенного загрязнения и на условно фоновых территориях определяется некоторым набором сходных факторов. Такими факторами могут выступать климатические параметры (температура воздуха, количество осадков), аэротехногенное загрязнение (в данном случае — выбросы диоксида серы, медно-никелевой пыли), изменения общей увлажненности территории (связанные со строительством ГЭС), периодические рубки леса и пожары и т. д.

2. Климатический фактор в условиях, аналогичных району исследований, не является главным лимитирующим фактором, определяющим радиальный прирост деревьев.

Однако достоверное наличие возможной положительной связи с годовой температурой воздуха и количеством осадков октября предшествующего вегетационного периода, установленное для 40 % исследованных деревьев, не позволяет полностью исключать влияние климатического фактора.

3. Аэротехногенное загрязнение выбросами горно-металлургического комбината «Печенганикель» оказывает значительное влияние на радиальный прирост сосны обыкновенной. Наличие значительной отрицательной связи между уровнем загрязнения и радиальным приростом сосны на условно фоновых территориях может свидетельствовать о распространении загрязнения на более значительные расстояния (60–70 км), нежели диагностируется визуально. Однако для четкого подтверждения/опровержения данного факта требуются дополнительные исследования.

Литература

1. Влияние промышленного атмосферного загрязнения на сосновые леса Кольского полуострова / под ред. Б. Н. Норина, В. Т. Ярмишко. Л.: БИН, 1990. 195 с.
2. Лукина Н. В. Техногенные дигрессии и восстановительные сукцессии в северотаежных лесах. М.: Наука, 2005. 244 с.
3. Мэннинг У. Д. Биомониторинг загрязнения атмосферы с помощью растений / пер. с англ. Т. А. Головиной, Л. Ф. Сальникова; под ред. Л. М. Филипповой. Л.: Гидрометеоздат, 1985. 143 с.
4. Мюльгаузен Д. С., Панкратова Л. А. Проблема аэротехногенного загрязнения окрестностей посёлка Никель (Мурманская область) // Материалы IX Международной экологической Школы-

конференции в усадьбе «Сергиевка» — «Сохранение природной среды и оптимизация ее использования в Балтийском регионе». СПб., 2014. С. 257–265.

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

6. State of the Environment in the Norwegian, Finnish and Russian Border Area // The Finnish Environment / eds K. Stebel, G. Christinsen, J. Derome, I. Grekela. Rovaniemi, 2007. N 6. 98 p.

7. Ярмишко В. Т. Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на европейском Севере. СПб.: Изд-во Науч.-исслед. ин-та химии, 1997. 210 с.

8. Неворова О. А. Применение фитоиндикации в оценке загрязнения окружающей среды // Междисциплинарный научный и прикладной журнал по проблемам познания и сохранения биосферы и использования ее ресурсов «Биосфера». 2009. Т. 1, № 1. С. 82–92.

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

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

11. Кольская горно-металлургическая компания (промышленные площадки «Никель» и «Заполярный»): влияние на наземные экосистемы / под общ. ред. О. А. Хлебосоловой. Рязань: НП «Голос губернии», 2012. 92 с.

12. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1–6. Вып. 2. Мурманская область. Л.: Гидрометиздат, 1988. 320 с.

13. Хлебосолов Е. И., Макарова О. А., Хлебосолова О. А. и др. Птицы Пасвика. Рязань: Голос губернии, 2007. 175 с.

14. Ваганов Е. А., Круглов В. Б., Васильев В. Г. Дендрохронология: учебное пособие. Красноярск: Издательство Сибирского федерального университета, 2008. 200 с.

15. Шиятов С. Г., Ваганов Е. А., Кирдянов А. В., Круглов В. Б., Мазена В. С., Наурзбаев М. М., Хантамиров Р. М. Методы дендрохронологии. Часть I. Сбор и получение древесно-кольцевой информации: учебно-методич. пособие. Красноярск: КрасГУ, 2000. 80 с.

16. Speer James H. Fundamentals of Tree-Ring Research. Tucson, Arizona: University of Arizona Press, 2010. 368 p.

17. Официальный сайт АО «Кольская ГМК». Презентация «Мониторинг окружающей среды в зоне влияния АО “Кольская ГМК” и рекультивация нарушенных земель». URL: <http://www.kolagmk.ru/> (дата обращения: 29.02.2016).

18. Официальный сайт ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». Единый Государственный фонд данных. URL: <http://meteo.ru/> (дата обращения: 14.02. 2016).

19. Матвеев С. М., Румянцев Д. М. Дендрохронология: учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. Воронеж, 2013. 140 с.

Для цитирования: Мюльгаузен Д. С., Панкратова Л. А. Влияние аэротехногенного загрязнения на радиальный прирост сосны обыкновенной на Кольском Севере // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. Геология. География. 2016. Вып. 4. С. 124–133. DOI: 10.21638/11701/spbu07.2016.410

References

1. Vliianie promyshlennogo atmosfernogo zagriazneniia na sosnovye lesa Kol'skogo poluostrova [The influence of industrial air pollution on pine forests of Kola Peninsula]. Eds B. N. Norin, V. T. Iarmishko. Leningrad, BIN Publ., 1990. 195 p. (In Russian)

2. Lukina N. V. Tekhnogennye digressii i vosstanovitel'nye suksessii v severotaezhnykh lesakh [Pollution-induced digressions and rehabilitation successions in northern taiga forests]. Moscow, Nauka Publ., 2005. 244 p. (In Russian)

3. Biomonitoring zagriazneniia atmosfery s pomoshch'iu rastenii [Biomonitoring air pollutants with plants]. Transl. from Engl. by T. A. Golovina, L. F. Sal'nikov, ed. by L. M. Filippova. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1985. 143 p. (In Russian)

4. Miul'gauzen D. S., Pankratova L. A. Problema aerotekhnogenogo zagriazneniia okrestnostei poselka Nikel' (Murmanskaia oblast') [The problem of aerotechnogenic pollution in the vicinity of Nikel' (Murmansk oblast)]. Materialy IX Mezhdunarodnoi ekologicheskoi Shkoly-konferentsii v usad'be "Sergievka" — "Sokhranenie prirodnoi sredy i optimizatsiia ee ispol'zovaniia v Baltiiskom regione" [Conservation of the environment and the optimization of its use in the Baltic region. Proceedings of the IX International Ecological school conference in the estate "Sergievka"]. St. Petersburg, 2014, pp. 257–265. (In Russian)

5. *Pasvik Programme Summary Report*. Jyväskylä, Kopijyvä Oy, 2008. 24 p.
 6. State of the Environment in the Norwegian, Finnish and Russian Border Area. *The Finnish Environment*. Eds K. Stebel, G. Christinsen, J. Derome, I. Grekela. Rovaniemi, 2007, no. 6. 98 p.
 7. Iarmishko V. T. *Sosna obyknovennaia i atmosfernoie zagriaznenie na evropeiskom Severe [Scots pine and air pollution in the European North]*. St. Petersburg, Nauch.-issled. in-ta khimii Publ., 1997. 210 p. (In Russian)
 8. Neverova O. A. *Primenenie fitoindikatsii v otsenke zagriazneniia okruzhaiushchei sredy [Phytoindication in assessing of environmental pollution]*. *Mezhdistsiplinarnyi nauchnyi i prikladnoi zhurnal po problemam poznaniia i sokhraneniia biosfery i ispol'zovaniia ee resursov "Biosfera" [Interdisciplinary journal of basic and applied sciences "Biosphere"]*, 2009, vol. 1, no. 1, pp. 82–92. (In Russian)
 9. Poliakova G. R., Urazgil'din R. V. *Vliianie tekhnogenogo zagriazneniia na dendrokronologicheskie parametry sosny obyknovЕННОI (Pinus sylvestris L.) [The influence of technogenic pollution on dendrochronological characteristics of Scots pine (Pinus sylvestris L.)]*. *Vestnik Cheliabinskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya [Bulletin of Chelyabinsk State University. Biology]*, 2013, issue 2, no. 7 (298), pp. 191–194. (In Russian)
 10. Popov A. S., Fomin V. V., Shalaumova Iu. V. *Vliianie mezoklimata i atmosferynykh promyshlennykh zagriaznenii na radial'nyi prirrost sosny obyknovЕННОI [The influence of the mesoclimate and industrial air pollution on the radial growth of Scots pine]*. *Agrarnyi vestnik Urala [Agrarian Bulletin of the Urals]*, 2011, no. 4 (83), pp. 15–18. (In Russian)
 11. *Kolskaia gorno-metallurgicheskaiia kompaniia (promyshlennye ploshchadki "Nikel" i "Zapoliarnyi"): vliianie na nazemnye ekosistemy [Kola Mining and Metallurgical Company ("Nikel" i "Zapolyarnyi" industrial sites): The Impact on the Land Ecosystems]*. Ed. by O. A. Khlebosolova. Riazan', NP "Golos gubernii" Publ., 2012. 92 p. (In Russian)
 12. *Nauchno-prikladnoi spravochnik po klimatu SSSR. Seriiia 3. Mnogoletnie dannye. Chasti 1–6. Vyp. 2. Murmanskaiia oblast' [Scientific and Applied Climate Data sheet of USSR. Library 3. Long-term data. Part 1–6. Vol. 2. Murmansk oblast]*. Leningrad, Gidrometizdat, 1988. 320 p. (In Russian)
 13. Khlebosolov E. I., Makarova O. A., Khlebosolova O. A. et al. *Ptitsy Pasvika [The Birds of Pasvik]*. Riazan', Golos gubernii Publ., 2007. 175 p. (In Russian)
 14. Vaganov E. A., Kruglov V. B., Vasilev V. G. *Dendrokronologiya: uchebnoe posobie [Dendrochronology: study guide]*. Krasnoiaarsk, Izdatel'stvo Sibirskogo federal'nogo universiteta, 2008. 200 p. (In Russian)
 15. Shiiatov S. G., Vaganov E. A., Kirdianov A. V., Kruglov V. B., Mazepa V. S., Naurzbaev M. M., Khan-temirov R. M. *Metody dendrokronologii. Chast' I. Sbor i poluchenie drevnesno-kol'tsevoi informatsii: uchebno-metodich. posobie [Methods of dendrochronology. Part 1. Collecting and receiving tree-ring data: study guide]*. Krasnoiaarsk, KrasGU Publ., 2000. 80 p. (In Russian)
 16. Speer James H. *Fundamentals of Tree-Ring Research*. Tucson, Arizona, University of Arizona Press, 2010. 368 p.
 17. Official website of Kola MMC. Presentation "Environmental monitoring of Kola MMC affected area and land reclamation". Available at: <http://www.kolagmk.ru/> (accessed 29.02.2016). (In Russian)
 18. Official website of RIHMI-WDC. Single State Data Fund. Available at: <http://meteo.ru/> (accessed 14.02.2016). (In Russian)
 19. Matveev S. M., Rumiantsev D. M. *Dendrokronologiya: uchebnoe posobie [Dendrochronology: study guide]*. 2nd ed. Voronezh, 2013. 140 p. (In Russian)
- For citation:** Miulgauzen D. S., Pankratova L. A. The influence of aerotechnogenic pollution on Scots pine's radial growth in Kola North. *Vestnik of Saint Petersburg University. Series 7. Geology. Geography*, 2016, issue 4, pp. 124–133. DOI: 10.21638/11701/spbu07.2016.410

Статья поступила в редакцию 23 сентября 2016 г.

Контактная информация:

Мюльгаузен Дарья Сергеевна — магистр; darja_sergeevna22@rambler.ru
 Панкратова Любовь Александровна — кандидат географических наук; steppeluba@mail.ru
 Miulgauzen Daria S. — master; darja_sergeevna22@rambler.ru
 Pankratova Lubov A. — PhD; steppeluba@mail.ru