УДК 630*114.12:582.475.3:504.61(470.13-924.82) doi: 10.25750/1995-4301-2024-4-073-083

Состояние древостоев среднетаёжных ельников черничных на автоморфных почвах в зоне воздействия аэротехногенного загрязнения лесопромышленного комплекса (Республика Коми)

© 2025. А. В. Манов, к. с.-х. н., н. с., Е. А. Робакидзе, к. б. н., н. с.,
Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук,
167982, Россия, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28,
e-mail: manov@ib.komisc.ru

Проведена оценка влияния аэротехногенных выбросов целлюлозно-бумажного производства на состояние еловых древостоев. По динамике радиального прироста стволовой древесины ели выявлена направленность развития древостоев при длительном техногенном воздействии. Объектами исследования являются старовозрастные ельники черничные, расположенные на удалении 4, 5, 11, 24, 50 км от источников эмиссии по направлению преобладающих ветров. По наблюдениям на пробных площадях выполнен анализ жизненности древостоев ельников, основанный на визуальной оценке состояния деревьев по характеристике кроны. Древостои ельников относятся к категории «здоровые» с начальной стадией ослабления, которая немного усиливается в сторону уменьшения расстояния до дымовых труб предприятия. Методами дендрохроноиндикации выполнена оценка воздействия аэротехногенных выбросов от целлюлозно-бумажного производства на радиальный прирост стволовой древесины деревьев ели. Материалом изучения послужили образцы древесины (керны), отобранные со стволов старовозрастных деревьев ели в пределах пробных площадей. Обнаружено увеличение радиального прироста ели в импактной зоне. На расстояниях более 11 км от источника аэрополлютантов прирост стволовой древесины ели остаётся относительно стабильным на всём протяжении времени функционирования производства.

Ключевые слова: жизненное состояние, повреждённость, дендрохроноиндикация, аэротехногенное загрязнение, целлюлозно-бумажное производство, радиальный прирост стволовой древесины, ельники черничные, средняя тайга.

The condition of tree stands in middle taiga *Piceetum myrtillosum* on automorphic soils in the plots affecting by aerotechnogenic pollution from the timber industry complex (the Komi Republic)

© 2025. A. V. Manov ORCID: 0000-0002-5070-0078,
E. A. Robakidze ORCID: 0000-0003-3395-3767,
Institute of Biology of Komi Science Centre
of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
28, Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Russia, 167982,
e-mail: manov@ib.komisc.ru

The authors accessed the effect of aerotechnogenic emissions from the pulp-and-paper plant of the Syktyvkar timber industry complex on the condition of spruce stands. Carbon monoxide, nitrogen dioxide, inorganic dust, hydrogen sulfide, sulfur dioxide and mercaptans are the main pollutants. By the radial growth dynamics of spruce stem wood we identified the development trend of forest stands affected by the long-term technogenic impact. The old-growth blueberry spruce forests located at distances of 4, 5, 11, 24, 50 km from the emission source in the direction of prevailing winds were studied. The vitality of spruce forest stands has been analyzed via visual evaluation of tree crowns at the sample plots. The studied spruce stands are 'healthy' with initial weakening signs which slightly intensify towards the discharge chimneys of the enterprise. the impact of aerotechnogenic emissions from pulp-and-paper production on the radial increment of spruce stem wood was assessed by the tree-ring indication methods. The study by this methods has utilized wood samples (cores) taken from trunks of old-growth spruce trees within sample plots. Finally, we have identified the increased radial growth of spruce in the impact zone. At distances longer than 11 km from the air pollution source, the radial growth of spruce stem wood resists relatively stable from the very beginning of the timber industry enterprise (from 1969 to the present). The increase in radial growth of spruce trees is associated to the time when the enterprise attained its installed capacity in the late 1980s. This was followed by a long-time decrease in radial growth of trees. This period is character-

ized by a production decline due to the deterioration of the financial situation in Russia during the 1990s and production modernization from 2008 to 2018 which reduced gas and dust emissions of the enterprise.

Keywords: life condition, destruction, tree-ring indication, aerotechnogenic pollution, pulp and paper production, stem wood radial growth, *Piceetum myrtillosum*, middle taiga.

В районах с высокой лесистостью территории большую нагрузку аэротехногенного загрязнения окружающей среды принимает на себя лесной покров. Лесные экосистемы выступают естественным фильтром загрязняющих веществ на биосферном уровне, вовлекая их в биогеохимические циклы [1]. Постоянно испытывающая промышленный (техногенный) пресс лесная растительность требует вовлечения новых способов оценки её состояния. Методы дендроиндикации в отличии от химико-аналитических позволяют определить влияние вредных веществ на растения и численно оценить длительность и силу реакции их на влияние сразу всех токсикантов.

Ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.), являясь долгоживущим и отзывчивым на изменения внешних условий древесным растением, хорошо подходит для древесно-кольцевого анализа [2]. Она доминирует в лесах на территории Республики Коми и распространена во всех подзонах тайги [3]. Ельники черничные являются довольно распространёнными лесорастительными ассоциациями средней тайги [4, 5]. Здесь они формируют, как правило, смешанные по составу, разновозрастные древостои. Спелые и перестойные еловые насаждения подвержены интенсивной лесоэксплуатации [6].

Известно, что на прирост древесных растений, не находящихся в очагах болезней и вредителей леса, влияют в основном климатические показатели – температура и осадки. Со стремительным развитием промышленности в последнее время добавился новый фактор – поллютанты, которые вызывают снижение продуктивности лесных фитоценозов. Однако в ряде случаев реакция древесных растений оказывается положительной на некоторые условия повышенного загрязнения [7–10].

Мониторинг лесов представляет собой систему наблюдений, оценки и прогноза состояния и динамики лесного фонда (ст. 69 Лесного кодекса Российской Федерации). При его реализации в ряде случаев возникает необходимость определять жизненное состояние древостоев. Понятия «жизненное состояние» или «жизненность» (дерева, древостоя) нами трактуется как параметр морфометрических признаков роста и развития древесных растений в момент наблюдения за ними.

Цель данной работы – оценка современного состояния древостоев и выявление динамики радиального прироста деревьев ели, произрастающих в среднетаёжных ельниках черничных на разном удалении от источников аэротехногенного загрязнения целлюлозно-бумажного производства.

Объекты и методы исследования

Объекты исследования – среднетаёжные ельники черничные, занимающие плоские пространства в рельефе местности Мезенско-Вычегодской равнины, расположенные на землях лесного фонда Республики Коми. Они развиваются на типичных подзолистых почвах, формируют смешанные по составу и сложные по строению разновозрастные древостои [5, 11]. Краткая таксационная характеристика данных объектов приведена в таблице 1.

Крупным источником загрязнения атмосферы в районе исследования является Сыктывкарский лесопромышленный комплекс (СЛПК), выпустивший первую продукцию – целлюлозу и картон в 1969 г. В конце 1980-х гг. он вышел к освоению установленных мощностей. В 1966 г. для нужд СЛПК введена в эксплуатацию теплоэнергоцентраль [6]. Высота дымовых труб, являющихся основными источниками выбросов, составляет от 40 до 180 м. Главными загрязнителями служат: оксид углерода, диоксид азота, неорганическая пыль, сероводород, диоксид серы и меркаптаны. Динамика объёмов загрязняющих веществ с 1995 по 2021 гг. представлена на рисунке 1. По данным экологических отчётов СЛПК (https://www.mondigroup.com) отмечается существенное снижение аэротехногенных выбросов за последние 20 лет, что связано с глубокой модернизацией очистных сооружений предприятия.

Климат района исследования умеренно континентальный со сравнительно долгой и многоснежной зимой. Лето короткое, умеренно тёплое. Весна и осень длительные, холодные. Обилие осадков на фоне слабого испарения ведёт к избыточной влажности климата и почвы. Световой период два летних месяца

Таблица 1 / Table 1

Таксационная характеристика древостоев ельников черничных свежих
Taxation characteristics of *Piceetum myrtillosum* stands

№ пробной площади Sample plot No.	Состав древостоя Composition of forest stands	Амплитуда возраста (средний возраст), лет Age amplitude (mean age), years	Густота, шт./га Density, trees / ha	Запас стволовой древесины, м³/га Stemwood standing stock, m³/ha	Среднее для преобладающей породы Mean for dominant tree species	
					высота, м height, m	диаметр на высоте 1,3 м, см diameter at a height of 1.3 m, cm
Импактная зона / Impact zone						
4	5Е3Б2С	80–200 (133)	1551	465	18	20
5	9Е1Б+Пх	80–270 (127)	1345	373	17	21
11	6Е2Б1С1Ос	80–190 (122)	1434	344	16	17
Фоновый район / Control area						
24	9Е1Б	80–180 (130)	700	282	18	20
50	7Е2Б+С,Ос ед. Пх	80–210 (125)	989	279	17	20

Примечание. Формула состава древостоя: Е – ель сибирская; С – сосна обыкновенная; Пх – пихта сибирская; Б – берёзы пушистая и повислая; Ос – осина обыкновенная. Единица коэффициента состава соответствует 10% запаса данной породы в общем запасе древостоя. Доля участия породы: «+» – 2–5%; «ед.» – < 2%. Номер пробной площади соответствует расстоянию до промышленных дымовых труб СЛПК в километрах.

Note. The formula for the forest stand composition: E – Picea obovata; C – Pinus sylvestris; Пх – Abies sibirica; Б – Betula pubescens, B. pendula; Ос – Populus tremula. One composition coefficient unit corresponds to 10% of the given species stock in the total growing stock. The share of species: "+" – 2–5%; "ед." – < 2%. The sample plot number corresponds to the distance to the industrial chimneys of the Syktyvkar timber industry complex in kilometers.

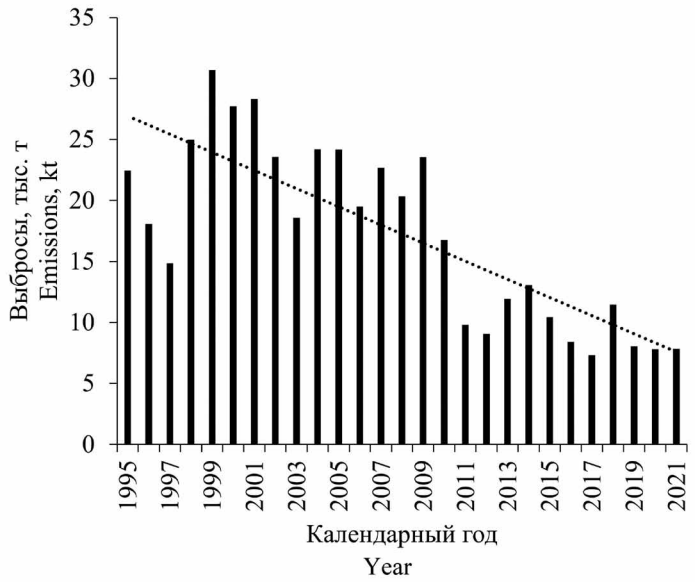

Рис. 1. Динамика объёмов выбросов загрязняющих веществ от целлюлозно-бумажного производства Сыктывкарского лесопромышленного комплекса
Fig. 1. The emission dynamics of pollutants from the pulp and paper production of the Syktyvkar timber industry complex

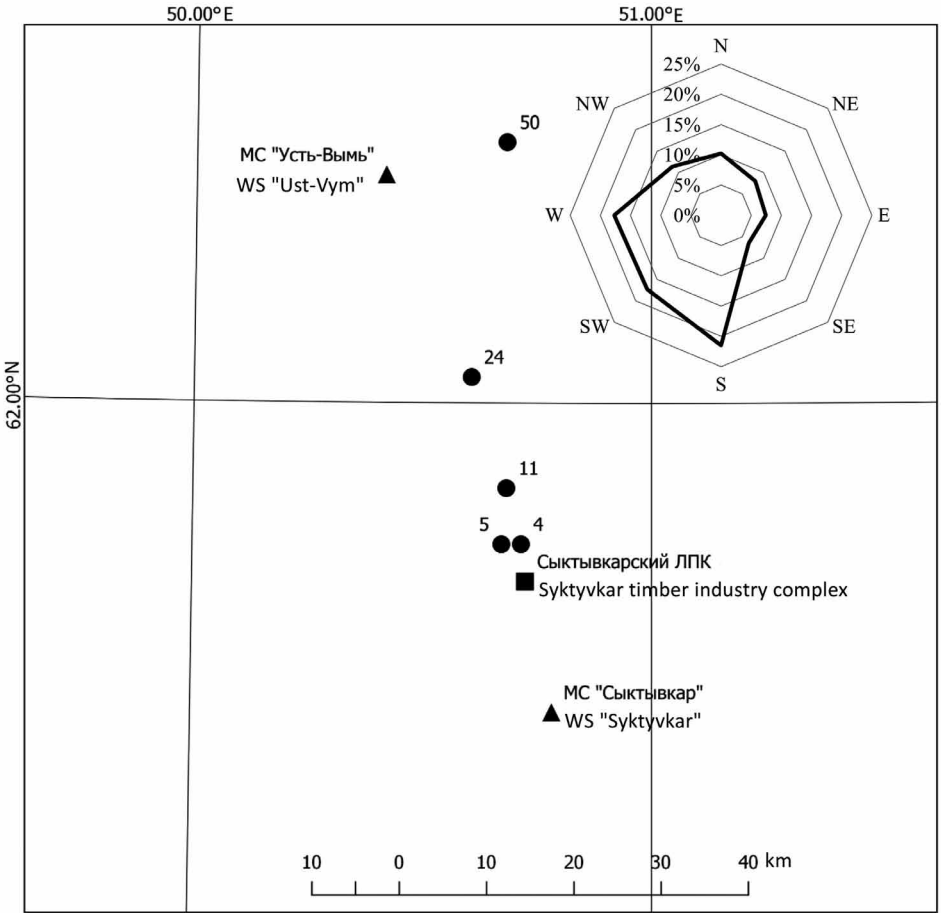

Рис. 2. Расположение объектов исследования. Условные обозначения: точки – пробные площадки; треугольники – ближайшие метеостанции (МС); квадрат –дымовые трубы СЛПК. График (роза ветров) характеризует режим ветра по многолетним наблюдениям на метеостанции «Сыктывкар»
Fig. 2. Location of the study plots. Symbols: points – forest management sample plots; triangles – nearest weather stations (WS); square – discharge chimneys of the Syktyvkar timber industry complex. The graph (wind rose) characterizes the wind regime based on the long-term observations at the Syktyvkar weather station

длится почти круглые сутки, что обусловливает увеличение суммы фотосинтетической активной радиации (ФАР), снижая перепады температуры в течение суток. Преобладают ветры южного и юго-западного направления [12].

Исследования, результаты которых вошли в рукопись данной статьи, проводились в 2020–2022 гг. в ельниках черничных на пяти пробных площадях (ПП), заложенных с учётом ОСТа 59-69-83 на разном удалении (4, 5, 11, 24, 50 км) от источника аэротехногенных выбросов по направлению преобладающих ветров (рис. 2). На каждой ПП проводился сплошной пересчёт деревьев по породе, диаметру, высоте и состоянию (здоровые, ослабленные, сильно ослабленные, отмирающие, свежий сухостой и старый сухостой – постепенно отпадают ветви и кора).

Состояние древостоев среднетаёжных ельников визуально оценивали по характеристике кроны деревьев и соответствующим им коэффициентам жизненности [13]. Согласно автору, коэффициент здорового дерева приравнивается к 100%, а сухостоя – к нулю. Для деревьев, относящихся к промежуточным градациям, указываются коэффициенты, соответствующие их состоянию. Распространены расчёты индексов жизненного состояния древостоев по числу деревьев и объёму стволовой древесины. Вычисления относительного жизненного состояния изучаемых древостоев проводили по следующей формуле [13]:

$$L_n = (100n_1 + 70n_2 + 40n_3 + 5n_4) / N, \qquad (1)$$

где L_n – относительное жизненное состояние древостоя, %; n_1, n_2, n_3, n_4 – число здоровых, ослабленных, сильно ослабленных и отмирающих деревьев на 1 га соответственно; N – общее число деревьев за исключением

старого сухостоя на 1 га. В связи с нулевой жизненностью старого сухостоя в расчётах его не использовали, так как согласно [13] он существенно занижает показатели состояния здоровья лесов.

При показателе L_n, равном 100–80%, жизненное состояние древостоя оценивалось как «здоровое», при 79–50% – ослабленное, при 49–20% – сильно ослабленное, при 19% и ниже – древостой считается полностью разрушенным.

Кроме жизненного состояния древостоя целесообразно знать меру его повреждённости [13]:

$$D_n = (30n_2 + 60n_3 + 95n_4 + 100n_5) / N, \quad (2)$$

где D_n – повреждённость древостоя, %; n_2, n_3, n_4, n_5 – число повреждённых (ослабленных), сильно повреждённых (сильно ослабленных) и усыхающих (отмирающих), свежих сухостойных деревьев на 1 га соответственно.

При показателе D_n от 11 до 19% отмечается начальная стадия ослабления древостоя, при 20–49% древостой является повреждённым, при 50–79% – сильно повреждённым, при 80% и более – разрушенным.

Возраст деревьев определяли путём подсчёта годичных слоёв на образцах древесины (кернах), отобранных возрастным буром у комля ствола у 20–30% растений всех пород в пределах каждой ПП. Керны в дальнейшем анализировали по методам, принятым в дендрохронологии [2, 14–16]. Измерение ширины годичных колец деревьев выполняли по сканированным изображениям кернов с разрешением 2400 dpi в специализированной программе CooRecorder (https://www.cybis.se). Методом перекрёстной датировки при помощи программ CDendro (https://www.cybis.se) и COFECHA [17] произведена абсолютная датировка времени формирования слоёв радиального прироста древесины. Полученные временные ряды радиального прироста обрабатывали при помощи пакета dplR [18] из программной среды R (https://www.cran.r-project.org). Они объединялись в обобщённые древесно-кольцевые хронологии для каждой ПП путём расчёта взвешенных средних. Их качество оценивали по статистическим характеристикам: коэффициенту корреляции Пирсона, среднему коэффициенту чувствительности и автокорреляции первого порядка.

Для оценки реакции радиального прироста деревьев ели на аэротехногенные загрязнения использовали только старовозрастные деревья, которые из-за своего лидирующего положения в фитосоциальном статусе древостоя имеют ослабленные конкурентные взаимоотношения с соседями, что снижает влияние как межвидовой, так и внутривидовой конкуренции на ширину годичных колец [19, 20]. Сходства и различия признаков обобщённых древесно-кольцевых хронологий ели с ПП разной удалённости от источников аэротехногенных выбросов выявляли методом одиночной связи в кластерном анализе при помощи пакета pvclust [21] из программной среды R.

Результаты и обсуждение

Экологическая структура древостоев среднетаёжных ельников в условиях разной концентрации объёмов аэровыбросов от целлюлозно-бумажного производства показала небольшое улучшение их состояния по направлению от источника загрязнения (табл. 2). При этом, согласно индексу жизненного состояния, все исследуемые древостои характеризуются как «здоровые» ($L_n > 80\%$) с признаками начальной стадии ослабления ($11 < D_n < 19\%$).

При отсутствии длительных мониторинговых данных за состоянием древостоев по динамике радиального прироста древесины

Таблица 2 / Table 2

Характеристика состояния древостоев ельников / The life condition characteristics of spruce forest stands

№ пробной площади / Sample plot No.	L_n, %	D_n, %
4	81,3	18,7
5	83	17
11	83,5	16,5
24	87,1	12,9
50	86,5	13,5

Примечание: L_n – относительное жизненное состояние древостоя, %; D_n – повреждённость древостоя, %.
Note: L_n – relative vital state of the stand, %; D_n – stand damage, %.

Таблица 3 / Table 3

Статистические показатели древесно-кольцевых хронологий ели
Statistical indicators of spruce tree-ring chronologies

№ ПП / Sample plot No.	*N*	*r*	*Sens*	*Ar*1
4	37	0,73	0,24	0,59
5	40	0,65	0,25	0,76
11	30	0,56	0,23	0,48
24	28	0,62	0,22	0,60
50	50	0,55	0,23	0,57

Примечание: N – число деревьев в древесно-кольцевой хронологии; r – средний коэффициент корреляции; Sens – средний коэффициент чувствительности; Ar1 – автокорреляция первого порядка.

Note: N – number of trees in the tree-ring chronology; r – mean correlation coefficient; Sens – mean sensitivity coefficient; Ar1 – first-order autocorrelation.

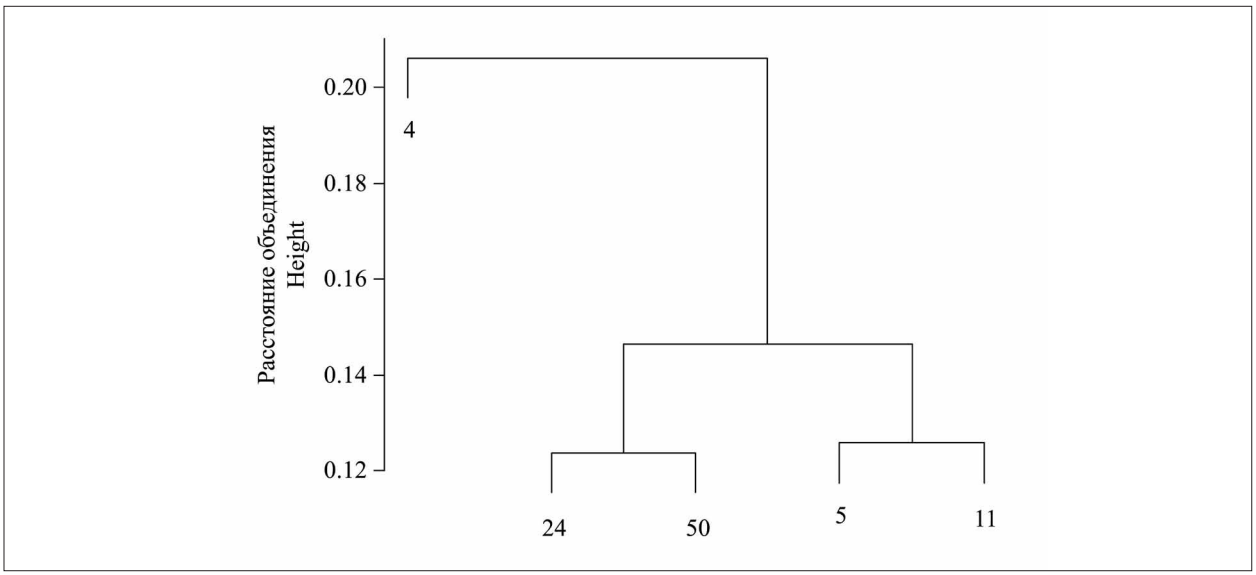

Рис. 3. Дендрограмма кластеризации обобщённых древесно-кольцевых хронологий елей для пробных площадок за период 1960–2020 гг.
Fig. 3. The clustering dendrogram of generalized tree-ring chronologies of spruce trees for sample plots for the period 1960–2020

ствола дерева можно оценить направленность их развития. Известно, что величина прироста определяется тремя главными факторами: колебанием климата, внутренней саморегуляцией и антропогенной деятельностью.

Индивидуальные временные ряды радиального прироста деревьев ели показывают достаточно высокие межсерийные корреляционные связи (*r*) и чувствительность (*Sens*) к внешним факторам среды, что позволило их объединить для каждой ПП. Высокие значения автокорреляции первого порядка (*Ar*1) свидетельствуют о влиянии условий роста предшествующих лет на ширину годичного кольца текущего года (табл. 3).

Учитывая близкие природно-климатические и лесорастительные условия развития рассматриваемых ельников, различия признаков радиального прироста деревьев ели между ПП, находящимися на разном удалении от источников аэровыбросов, на наш взгляд, позволит определить силу и длительность воздействия поллютантов, выделяемых при целлюлозно-бумажном производстве, на растения. Согласно кластерному анализу, обобщённые древесно-кольцевые хронологии с более отдалённых от источников аэротехногенного загрязнения ПП 24 и 50 относятся к сравнительно однородной группе (рис. 3). К ним близка группа хронологий из ПП 5 и 11. Отдельно от всех отстоит хронология ПП 4 – ближайшая к источникам загрязнения.

Итоги кластеризации согласуются с динамикой радиального прироста деревьев ели. За период функционирования СЛПК отмечается схожая синхронная динамика прироста ели по радиусу ствола по всем ПП (рис. 4). Затем, ближайшая к источникам загрязнения древесно-кольцевая хронология ПП 4 показывает резкое увеличение (в три

раза) радиального прироста древесины ели с пиком в 1987 г., после чего он постепенно скачкообразно снижается, оставаясь до настоящего времени сравнительно высоким. В это же время отмечено небольшое увеличение прироста ели по диаметру ствола на ПП 5 и 11 – отдалённых от ПП 4 и немного отстоящих от направления преобладающих ветров. На ПП 25 и 50, находящихся на значительном удалении от дымовых труб СЛПК, выбросы от целлюлозно-бумажного производства не отразились на динамике радиального прироста ели. Таким образом, ПП 4, 5 и 11 можно отнести к зоне воздействия атмосферных выбросов (импактной зоне), а ПП 24 и 50 к фоновым районам. Схожее зонирование территории аэротехногенного загрязнения от СЛПК получено по результатам оценки состояния эпифитного лишайникового покрова и хвойных фитоценозов [22, 23], а также мониторингу химического состава снежного покрова [24].

Отмечено, что основное воздействие аэрополлютантов от производственной деятельности СЛПК на хвойные сообщества происходит в импактной зоне [22, 23, 25–27]. Это подтверждают и наши результаты исследования. Согласно [25], динамика состояния древостоев ельников черничных в зоне загрязнения улучшилась за период с 2009 по 2016 гг. По индексу повреждённости авторы характеризовали древостои в 2009 г. как «ослабленные», а к 2016 г. их большинство перешло в состояние «здоровые». По нашим данным, в настоящее время жизненность древостоев, подверженных загрязнению, почти не отличается от фонового района (ПП 24 и 50). Одним из факторов восстановления здорового состояния лесных сообществ вблизи СЛПК может являться сокращение выбросов загрязняющих веществ предприятия в воздушный бассейн в связи с модернизацией очистных сооружений в 2008–2018 гг.

Неспецифическую реакцию на аэротехногенные выбросы СЛПК показал радиальный прирост деревьев ели во всех исследуемых еловых фитоценозах импактной зоны. Динамика прироста деревьев с начального периода работы предприятия (1969 г.) на подверженной техногенной нагрузке территории и фоновых районах имеет близкие значения. Отмеченное нами увеличение прироста ели приурочено ко времени выхода предприятия на установленные мощности (конец 1980-х гг.). Затем прослеживается продолжительное скачкообразное снижение прироста. Этот период характеризуется спадом производства в связи с ухудшением финансовой ситуации в стране (1990-е гг.) и модернизацией производства (2008–2018 гг.), приведшее, как следствие, к уменьшению концентрации газопылевых выбросов предприятия. Однако, мы не исключаем возможности, что на столь значительное стимулирование радиального прироста стволовой древесины ели на ПП 4 в совокупности с аэровыбросами СЛПК могли повлиять

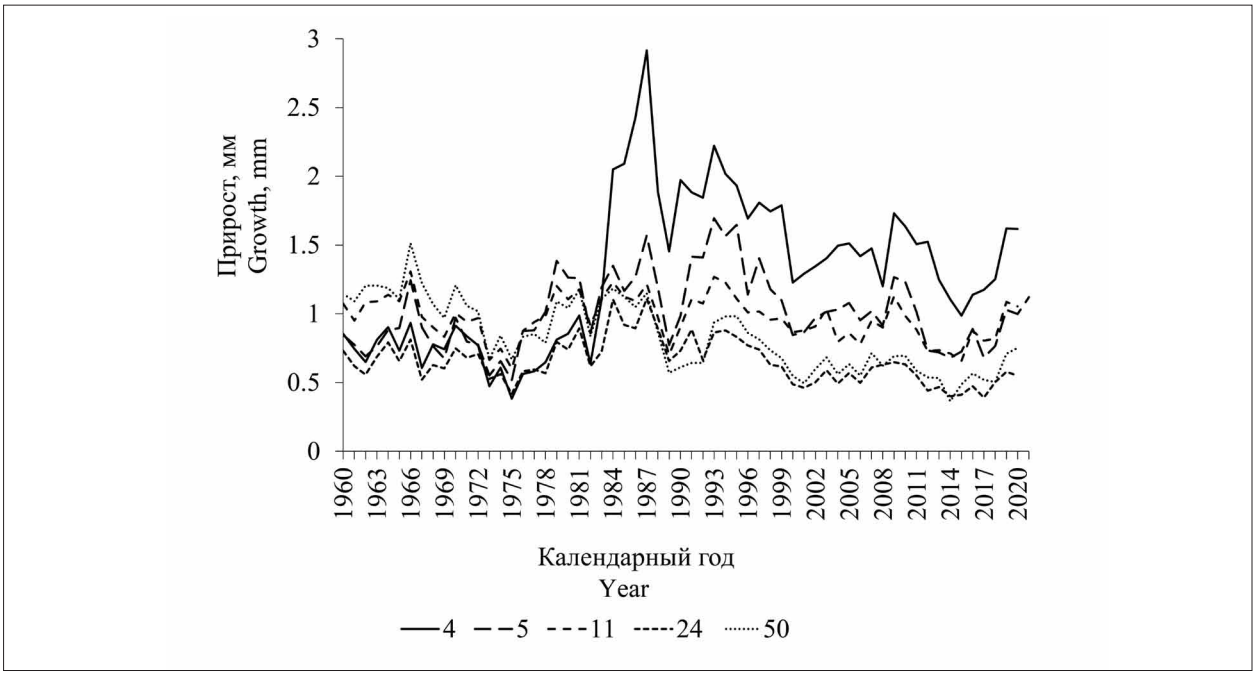

Рис. 4. Динамика абсолютного радиального прироста деревьев ели по пробным площадям 4, 5, 11, 24 и 50
Fig. 4. The dynamics of the absolute radial growth of spruce trees in sample plots No. 4, 5, 11, 24 and 50

загрязнения от сельскохозяйственной деятельности, развитой в относительной близости (1,5 км) от объекта исследования. При натурных исследованиях видимых антропогенных загрязнений поверхности почвы изучаемых фитоценозов нами не выявлено.

Известно, что промышленные выбросы трансформируют, прежде всего, физико-химические свойства почвы. Для импактной зоны СЛПК установлены изменения кислотно-основного состояния почв в сторону их подщелачивания, а также повышенная концентрация железа и углеводородов [28]. Наиболее чувствительными к почвенным загрязнителям являются поглощающие корни растений [29]. Изучение жизнестойкости корневых систем деревьев на территории, подверженной воздействию выбросов СЛПК, не проводилось. Некоторые типы смешанных загрязнений имеют возможность стимулировать ростовые процессы у древесных растений [7, 9, 10]. Так, слабые концентрации углеводородов от нефтехимической промышленности увеличивают содержание в почве макроэлементов, которые могут действовать в качестве подкормки для древесных пород, способствуя увеличению их стволовой массы [10]. Щелочные загрязнения хоть и нейтрализуют кислую среду лесных почв, но способны повреждать ассимиляционный аппарат растений, разрушать синузии эпифитных лишайников [7].

Таким образом, определённый тип смешанных аэровыбросов СЛПК и небольшой их объём могут стимулировать увеличение радиального прироста деревьев ели в ельниках черничных на автоморфных почвах. Однако, в условиях сильного загрязнения атмосферы выбросами SO_2 с примесями тяжёлых металлов ростовые процессы у хвойных растений снижаются на 40–70% [30].

Заключение

Сокращение объёмов атмосферных выбросов от целлюлозно-бумажного производства ведёт к восстановлению жизненного состояния древостоев ельников черничных свежих в импактной зоне СЛПК. При этом радиальный прирост деревьев ели на загрязнённой территории остаётся выше, чем на фоновых участках. Дальнейшее снижение выбросов будет способствовать полному восстановлению естественной структуры еловых фитоценозов, усиливая их средообразующие, водоохранные, защитные и санитарно-гигиенические функции.

Авторы глубоко признательны доктору биологических наук Капитолине Степановне Бобковой, под чьим руководством заложены объекты и начаты на них исследования, а также сотрудникам отдела лесобиологических проблем Севера Института биологии Коми НЦ УрО РАН: Н.В. Торлоповой, И.Н. Кутявину, А.И. Патову и С.Н. Наймушиной, принимавшим участие в сборе полевых материалов. Работа выполнена в рамках государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН.

Литература

1. Рассеянные элементы в бореальных лесах / Под ред. А.С. Исаева. М.: Наука, 2004. 616 с.

2. Шиятов С.Г., Ваганов Е.А., Кирдянов А.В., Круглов В.Б., Мазепа В.С., Наурзбаев М.М., Хантемиров Р.М. Методы дендрохронологии. Часть I. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации: Учебно-методическое пособие. Красноярск: КрасГУ, 2000. 80 с.

3. Леса Республики Коми / Под ред. Г.М. Козубова, А.И. Таскаева. М.: «Дизайн. Информация. Картография», 1999. 332 с.

4. Василевич В.И. Ельники черничные европейской России // Ботанический журнал. 2004. Т. 89. № 11. С. 1728–1739.

5. Коренные еловые леса Севера: биоразнообразие, структура, функции / Под ред. К.С. Бобковой, Э.П. Галенко. СПб.: Наука, 2006. 337 с.

6. Лесное хозяйство и лесные ресурсы Республики Коми / Под ред. Г.М. Козубова, А.И. Таскаева. М.: Дизайн. Информация. Картография, 2000. 512 с.

7. Алексеев А.С. Колебания радиального прироста в древостоях при атмосферном загрязнении // Лесоведение. 1990. № 2. С. 82–86.

8. Назаров А.В. Влияние нефтяного загрязнения почвы на растения // Вестник Пермского университета. 2007. № 5 (10). С. 134–141.

9. Чжан С.А., Рунова Е.М., Пузанова О.А., Чжан Л.А. Изменение радиального прироста сосны обыкновенной в зоне промышленного загрязнения // Хвойные бореальной зоны. 2011. Т. 29. № 3–4. С. 304–308.

10. Уразгильдин Р.В., Полякова Г.Р., Аминева К.З., Галиахметов Р.Д., Кулагин А.Ю. Прирост стволовой древесины сосны обыкновенной, ели сибирской и лиственницы Сукачёва в условиях промышленного загрязнения // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. биол. 2018. Т. 123. № 2. С. 45–61.

11. Забоева И.В. Почвы и земельные ресурсы Коми АССР. Сыктывкар: Коми книжное издательство, 1975. 344 с.

12. Атлас Республики Коми по климату и гидрологии / Под ред. А.И. Таскаева. М.: Дрофа; ДиК, 1997. 116 с.

13. Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение / Под ред. В.А. Алексеева. Л.: Наука, 1990. 200 с.

14. Горячев В.М. Подготовка дендрохронологических образцов для измерения под микроскопом // Лесоведение. 2003. № 1. С. 65–77.

15. Grissino-Mayer H.D. A manual and tutorial for the proper use of an increment borer // Tree-ring Research. 2003. V. 59. No. 2. P. 63–79.

16. Тишин Д.В. Дендроэкология (методика древесно-кольцевого анализа). Казань: Казанский университет, 2011. 33 с.

17. Grissino-Mayer H.D. Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA // Tree-ring Research. 2001. V. 57. No. 2. P. 205–221.

18. Bunn A.G. A dendrochronology program library in R (dplR) // Dendrochronologia. 2008. V. 26. No. 2. P. 115–124. doi: 10.1016/j.dendro.2008.01.002

19. Gavrikov V., Stoyan D. The use of marked point processes in ecological and environmental forest studies // Environ. Ecol. Stat. 1995. V. 2. No. 4. P. 331–344. doi: 10.1007/BF00569362

20. Манов А.В., Кутявин И.Н. Пространственные взаимосвязи в размещении древесных растений в среднетаёжных коренных ельниках верховьев реки Печоры // Сибирский лесной журнал. 2021. № 2. С. 82–95. doi: 10.15372/SJFS20210208

21. Suzuki R., Shimodaira H. Pvclust: an R package for assessing the uncertainty in hierarchical clustering // Bioinformatics. 2006. V. 22. No. 12. P. 1540–1542. doi: 10.1093/bioinformatics/btl117

22. Бобкова К.С., Паутов Ю.А., Терещук Н.А. Состояние лесов в зоне влияния Сыктывкарского лесопромышленного комплекса // Изв. вузов. Лесной журнал. 1997. № 5. С. 83–88.

23. Торлопова Н.В., Робакидзе Е.А. Влияние поллютантов на хвойные фитоценозы (на примере Сыктывкарского лесопромышленного комплекса). Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 138 с.

24. Василевич М.И., Кондратенок Б.М., Очеретенко Д.П., Василевич Р.С., Габов Д.Н., Лодыгин Е.Д. Мониторинг аэротехногенного воздействия Сыктывкарского лесопромышленного комплекса // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг госресурсов. 2021. Т. 332. № 10. С. 33–44. doi: 10.18799/24131830/2021/10/3395

25. Робакидзе Е.А., Торлопова Н.В. Мониторинг состояния ельников в условиях загрязнения целлюлозно-бумажного производства // Растительные ресурсы. 2018. Т. 54. № 1. С. 42–58.

26. Тужилкина В.В., Плюснина С.Н. Комплексная оценка состояния хвои *Picea obovate* (Pinaceae) в условиях аэротехногенного загрязнения // Растительные ресурсы. 2014. Т. 50. № 4. С. 579–587.

27. Тужилина В.В. Влияние аэротехногенного загрязнения целлюлозно-бумажного производства на пигментный комплекс сосны обыкновенной // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 1. С. 90–96. doi: 10.25750/1995-4301-2021-1-090-096

28. Лаптева Е.М., Холопов Ю.В., Шахтарова О.В., Бондаренко Н.Н., Кострова С.Н. Почвы и почвенный покров в зоне влияния аэротехногенных выбросов целлюлозно-бумажного производства // Известия Коми научного центра УрО РАН. Серия Экспериментальная биология и экология. 2021. № 5 (51). С. 46–60. doi: 10.19110/1994-5655-2021-5-46-60

29. Ярмишко В.Т. Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на Европейском Севере. СПб: Изд-во НИИ химии С.-Петерб. гос. ун-та, 1997. 210 с.

30. Ярмишко В.Т., Игнатьева О.В. Сообщества *Pinus sylvestris* L. в техногенной среде на европейском севере России: структура, особенности роста, состояние // Сибирский лесной журнал. 2021. № 3. С. 44–55. doi: 10.15372/SJFS20210305

References

1. Scattered elements in boreal forests / Ed. A.S. Isaev. Moskva: Nauka, 2004. 616 p. (in Russian).

2. Shiyatov S.G., Vaganov E.A., Kirdyanov A.V., Kruglov V.B., Mazepa V.S., Naurzbaev M.M., Khantemirov R.M. Methods of dendrochronology. Fundamental of dendrochronology. Collection of data from tree-rings. Krasnoyarsk: Izd-vo KrasGU, 2000. V. 1. 80 p. (in Russian).

3. Forest of the Komi Republic / Eds. G.M. Kozubov, A.I. Taskaev. Moskva: "Dizayn. Informatsiya. Kartografiya", 1999. 332 p. (in Russian).

4. Vasilevich V.I. Bilberry spruce forests in European Russia // Botanicheskiy zhurnal. 2004. V. 89. No. 11. P. 1728–1739 (in Russian).

5. Virgin spruce forest of North: biodiversity, structure, functions / Eds. K.S. Bobkova, E.P. Galenko. Sankt-Peterburg: Nauka, 2006. 337 p. (in Russian).

6. Forestry and forest resources of the Komi Republic / Eds. G.M. Kozubov, A.I. Taskaev. Moskva: Dizayn. Informatsiya. Kartografiya, 2000. 512 p. (in Russian).

7. Alekseev A.S. Fluctuations in radial growth in tree stands under atmospheric pollution // Lesovedenie. 1990. No. 2. P. 82–86 (in Russian).

8. Nazarov A.V. The effect of oil pollution of soil on plants // Vestnik Permskogo universiteta. 2007. No. 5 (10). P. 134–141 (in Russian).

9. Chzhan S.A., Runova E.M., Puzanova O.A., Chzhan L.A. Change in radial growth of scotch pine in the zone of industrial pollution // Khvoynye borealnoy zony. 2011. V. 29. No. 3–4. P. 304–308 (in Russian).

10. Urazgildin R.V., Polyakova G.R., Amineva K.Z., Galiakhmetov R.D., Kulagin A.Yu. Pine, spruce and larch stem wood increment in industrial pollution conditions // Byulleten Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody. Otdel biologicheskiy. 2018. V. 123. No. 2. P. 45–61 (in Russian).

11. Zaboeva I.V. Soils and land resources of the Komi ASSR. Syktyvkar: Komi knizhnoe izdatelstvo, 1975. 344 p. (in Russian).

12. Atlas of the Komi Republic on climate and hydrology / Ed. A.I. Taskaev. Moskva: Drofa; DiK, 1997. 116 p. (in Russian).

13. Forest ecosystems and atmospheric pollution / Ed. V.A. Alekseev. Leningrad: Nauka, 1990. 200 p. (in Russian).

14. Goryachev V.M. Preparation of dendrochronological samples for microscopic measurements // Lesovedenie. 2003. No. 1. P. 65–77 (in Russian).

15. Grissino-Mayer H.D. A manual and tutorial for the proper use of an increment borer // Tree-ring Research. 2003. V. 59. No. 2. P. 63–79.

16. Tishin D.V. Dendroecology (method of tree-ring analysis). Kazan: Kazanskiy universitet, 2011. 33 p. (in Russian).

17. Grissino-Mayer H.D. Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA // Tree-ring Research. 2001. V. 57. No. 2. P. 205–221.

18. Bunn A.G. A dendrochronology program library in R (dplR) // Dendrochronologia. 2008. V. 26. No. 2. P. 115–124. doi: 10.1016/j.dendro.2008.01.002

19. Gavrikov V., Stoyan D. The use of marked point processes in ecological and environmental forest studies // Environ. Ecol. Stat. 1995. V. 2. No. 4. P. 331–344. doi: 10.1007/BF00569362

20. Manov A.V., Kutyavin I.N. Spatial interrelations in the placement of woody plants in the middle taiga virgin spruce forests of the upper reaches of the Pechora river // Sibirskij Lesnoj Zurnal. 2021. No. 2. P. 82–95 (in Russian). doi: 10.15372/SJFS20210208

21. Suzuki R., Shimodaira H. Pvclust: an R package for assessing the uncertainty in hierarchical clustering // Bioinformatics. 2006. V. 22. No. 12. P. 1540–1542. doi: 10.1093/bioinformatics/btl117

22. Bobkova K.S., Pautov Yu.A., Tereshchuk N.A. The state of forests in the zone of influence of the Syktyvkar timber industry complex // Izvestiya Vuzov. Lesnoy Zhurnal. 1997. No. 5. P. 83–88 (in Russian).

23. Torlopova N.V., Robakidze E.A. Effect of pollutants on coniferous phytocenoses (on the example of the Syktyvkar timber industry complex). Ekaterinburg: UrO RAN, 2003. 138 p. (in Russian).

24. Vasilevich M.I., Kondratenok B.M., Ocheretenko D.P., Vasilevich R.S., Gabov D.N., Lodygin E.D. Monitoring of the aerotechnogenic impact of the Syktyvkar timber industry complex. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. 2021. V. 332. No. 10. P. 33–44 (in Russian). doi: 10.18799/24131830/2021/10/3395

25. Robakidze E.A., Torlopova N.V. Monitoring of the spruce forests status under pollution from pulp and paper mill emissions // Rastitelnye Resursy. 2018. V. 54. No. 1. P. 42–58 (in Russian).

26. Tuzhilkina V.V., Plyusnina S.N. Evaluation of *Picea obovata* (Pinaceae) needles condition under aerotechnogenic pollution // Rastitelnye resursy. 2014. V. 50. No. 4. P. 579–587 (in Russian).

27. Tuzhilkina V.V. Effect of aerotechnogenic impact of pulp and paper production on the pigment complex of Scots pine // Theoretical and Applied Ecology. 2021. No. 1. P. 90–96 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2021-1-090-096

28. Lapteva E.M., Kholopov Yu.V., Shahtarova O.V., Bondarenko N.N., Kostrova S.N. Soils and soil cover in the zone of influence of airborne industrial emissions from pulp and paper production // Izvestija Komi nauchnogo centra UrO RAN. Seriya Eksperimentalnaya biologiya i ekologiya. 2021. No. 5 (51). P. 46–60 (in Russian). doi: 10.19110/1994-5655-2021-5-46-60

29. Yarmishko V.T. Scotch pine and aerial pollution in the European North. Sankt- Peterburg: Izd-vo NII himii Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta, 1997. 210 p. (in Russian).

30. Yarmishko V.T., Ignat'eva O.V. Communities of *Pinus sylvestris* L. in the technogenic environment in the European north of Russia: structure, features of growth, condition // Sibirskij Lesnoy Zhurnal. 2021. No. 3. P. 44–55 (in Russian). doi: 10.15372/SJFS20210305