

Научная статья

УДК 630\*385

DOI: 10.37482/0536-1036-2025-6-77-91

## Особенности реакции старовозрастной сосны при осушении водораздельной территории в Республике Коми

**В.В. Пахучий**<sup>✉</sup>, *д-р с.-х. наук, проф.*; *ResearcherID: KLD-8745-2024*,

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7530-308X>*

**Л.М. Пахучая**, *канд. с.-х. наук*; *ResearcherID: KLE-3191-2024*,

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2096-3782>*

Сыктывкарский лесной институт – филиал Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета им. С.М. Кирова, ул. Ленина, д. 39, г. Сыктывкар, Россия, 167982; [pakhutchy@rambler.ru](mailto:pakhutchy@rambler.ru)<sup>✉</sup>, [ljudmila-pahuchaja@rambler.ru](mailto:ljudmila-pahuchaja@rambler.ru)

---

*Поступила в редакцию 24.07.24 / Одобрена после рецензирования 18.10.24 / Принята к печати 21.10.24*

---

**Аннотация.** Цель исследования определяется необходимостью изучения лесоводственной эффективности гидромелиорации на объектах со старовозрастными древостоями сосны в Республике Коми, где в настоящее время общая площадь осушения составляет около 100 тыс. га. Актуальность работы связана с тем, что в результате реализации планов по гидролесомелиорации в республике накопились значительные по размерам территории старовозрастных древостоев. На таких объектах в эксплуатационных лесах лесопромышленное направление осушения ориентировано на заготовку древесины. В то же время допускается сохранение осушаемых насаждений до возраста естественной спелости в защитных лесах, выполняющих санитарно-гигиенические и эстетические функции. При решении вопроса об альтернативных заготовке древесины вариантах использования таких древостоев целесообразна оценка их способности адаптироваться к водному режиму на осушаемых лесных землях. Исследовалась динамика радиального прироста старовозрастных деревьев сосны, расположенных на различном расстоянии от осушительных каналов. Прирост является достаточно объективным маркером реакции деревьев на изменение водного режима почв после осушения, как положительной, так и отрицательной. Установлено, что на водораздельной территории деревья старовозрастной сосны успешно адаптируются к изменению водного режима после осушения. Средний прирост старовозрастных деревьев сосны на межканальном пространстве становится максимальным в начале 5-го пятилетия после осушения. Согласно прогнозу, прирост достигнет значений, соответствующих приросту до осушения, к концу 12-го пятилетия. При прочих равных условиях в 1-е четыре пятилетия после осушения на межканальном пространстве между приростом и удалением деревьев от каналов наблюдается положительная связь, а с 5-го пятилетия восстанавливается типичная для осушаемых насаждений отрицательная связь между этими характеристиками. Последнее свидетельствует об успешной адаптации к условиям после осушения на водораздельной территории не только отдельных старовозрастных деревьев сосны, но и их совокупности на межканальном пространстве на объекте гидромелиорации.

**Ключевые слова:** Республика Коми, гидролесомелиорация, сосна, радиальный прирост сосны, связь прироста деревьев и их удаления от канала

**Для цитирования:** Пахучий В.В., Пахучая Л.М. Особенности реакции старовозрастной сосны при осушении водораздельной территории в Республике Коми // Изв. вузов. Лесн. журн. 2025. № 6. С. 77–91. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2025-6-77-91>

Original article

## Peculiarities of the Response of Old-Growth Pine to Drainage of a Watershed Area in the Komi Republic

**Vladimir V. Pakhuchij**<sup>✉</sup>, Doctor of Agriculture, Professor; ResearcherID: [KLD-8745-2024](https://orcid.org/0000-0001-7530-308X), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7530-308X>

**Ludmila M. Pakhuchaya**, Candidate of Agriculture; ResearcherID: [KLE-3191-2024](https://orcid.org/0000-0002-2096-3782), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2096-3782>

Syktvykar Forest Institute – Branch of the Saint-Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov, ul. Lenina, 39, Syktvykar, 167982, Russian Federation; [pakhutchy@rambler.ru](mailto:pakhutchy@rambler.ru)<sup>✉</sup>, [ljudmila-pahuchaja@rambler.ru](mailto:ljudmila-pahuchaja@rambler.ru)

---

Received on July 24, 2024 / Approved after reviewing on October 18, 2024 / Accepted on October 21, 2024

---

**Abstract.** The aim of the study is determined by the need to study the silvicultural efficiency of hydromelioration at sites with old-growth pine stands in the Komi Republic, where the total drainage area currently amounts to approximately 100 thousand ha. The relevance of this work is related to the fact that as a result of the implementation of hydromelioration plans, significant areas of old-growth stands have accumulated in the republic. At such sites in commercial forests, the forest industry drainage field is focused on timber harvesting. At the same time, it is permissible to preserve drained stands up to the age of natural maturity in protective forests that perform sanitary, hygienic and aesthetic functions. When deciding on alternative options for using such stands for timber harvesting, it is advisable to assess their ability to adapt to the water regime on drained forest lands. The dynamics of radial increment of old-growth pine trees located at different distances from drainage channels has been studied. The increment is a fairly objective marker of the response of trees to changes in the water regime of soils after drainage, both positive and negative. It has been established that old-growth pine trees in the watershed area successfully adapt to changes in the water regime after drainage. The average increment in the old-growth pine trees in the inter-channel space reaches its maximum at the beginning of the 5th five-year period after drainage. According to the forecast, the increment will reach values corresponding to the increment before drainage by the end of the 12th five-year period. All other things being equal, in the first 4 five-year periods after drainage in the inter-channel space, a positive relationship is observed between the increment and the distance of trees from the channels, and from the 5th five-year period, the negative relationship between these characteristics, typical for drained stands, is restored. The latter indicates the successful adaptation to the conditions after drainage in the watershed area not only of individual old-growth pine trees, but also of their totality in the inter-channel space at the hydromelioration site.

**Keywords:** the Komi Republic, forest hydromelioration, pine, radial increment of pine, the relationship between the increment of trees and their distance from the channel

**For citation:** Pakhuchij V.V., Pakhuchaya L.M. Peculiarities of the Response of Old-Growth Pine to Drainage of a Watershed Area in the Komi Republic. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2025, no. 6, pp. 77–91. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2025-6-77-91>



*Введение*

В настоящее время в регионах Европейского Севера России общая площадь осушения превышает миллион гектаров [3], в т. ч. в Республике Коми составляет около 100 тыс. га. Молодняки, средневозрастные, приспевающие и спелые древостои занимают 8,6; 12,6; 6,7; 9,7 % соответственно, а древостои VII и более высокого классов возраста – 62,4 % от площади целесообразного для осушения гидролесомелиоративного фонда. Таким образом, доля спелых и перестойных насаждений в гидролесомелиоративном фонде в Республике Коми равняется 72,1 % [20].

Тем не менее, около 1/2 площади гидролесомелиоративного фонда относится к I–II группам эффективности осушения, что указывает на лесоводственную обоснованность этого решения.

В отношении хозяйственных мероприятий в таких древостоях есть различные точки зрения. Лесопромышленное направление осушения ориентирует, прежде всего, на заготовку древесины на данных объектах. При этом обязателен учет специфичности технологии рубок на осушаемых лесных землях [7, 21]. Рекомендуются насаждения любого возраста считать первоочередными объектами лесопользования на осушаемых землях, если они достигли показателей, позволяющих сделать заготовку древесины в них экономически целесообразной. Существует мнение, что в условиях, когда по ряду причин ремонт осушительных систем на тысячах гектаров невозможен, отставание в сроках при осуществлении рубок может привести к потере накопленного дополнительного прироста в результате его перехода в отпад [4, 25]. Тем не менее, при этом допускается сохранение осушаемых насаждений до возраста естественной спелости в защитных лесах, выполняющих санитарно-гигиенические и эстетические функции. Возрасты спелости осушаемых древостоев – это важный вопрос лесопользования [21]. Однако необходим поиск ответа на вопрос о возрасте семенной возобновительной спелости 60–70-летних хвойных древостоев, рекомендуемых к рубке. Следует отметить, что оценки влияния осушения на урожайность семян хвойных пород единичны, но свидетельствуют о стимуляции семенной продуктивности осушением [2]. Косвенным показателем положительного влияния осушения на урожайность семян может быть значительное увеличение густоты подроста вблизи каналов, появившегося после осушения, в т. ч. подроста кедра сибирского – породы, включенной в Красную книгу Республики Коми [14].

Обычно при изучении лесоводственной эффективности гидромелиорации подчеркивается положительная реакция хвойных древостоев на осушение. Возможны указания на слабую реакцию насаждений в 1-е годы после строительства осушительных систем [12, 22] или на снижение прироста до значений более низких, чем до осушения [26, 27]. Для условий Среднего Урала особенности реакции сосновых древостоев – уменьшение радиального прироста сосны в 1-е пятилетие после строительства осушительной системы – авторы объясняют приспособлением насаждения к изменению комплекса водно-физических и агрохимических свойств торфяных горизонтов в условиях экстенсивного осушения и перестройкой ассимиляционного аппарата и корневых систем [19]. Адаптация древостоев после осушения рассматривается как специфиче-

ский этап в их последующем формировании, отмечается меньшая продолжительность этапа на участках вблизи каналов по сравнению с межканальным пространством [22]. Подчеркивается актуальность региональных исследований процессов адаптации сосны обыкновенной на осушаемых землях к современным климатическим условиям [9, 12].

Для старовозрастных древостоев обнаружена более слабая реакция на регулирование водного режима методами гидротехнических мелиораций. В то же время приводятся примеры «омолаживающей» роли осушения применительно к древостою, произраставшему на болоте, задерживавшемуся в росте до 80–90 лет, но после осушения формирующему прирост, необычный для древостоев в условиях нормального естественного дренирования почв [5].

По данным исследований на объектах гидролесомелиорации, расположенных в крайних восточных районах Республики Коми и представленных темнохвойными насаждениями с участием в их составе кедра сибирского [15, 16], отмечается несоответствие реакции старовозрастного кедра на осушение общепринятым представлениям о характере изменения прироста на межканальном пространстве. Авторы объясняют это адаптацией древостоев к смене водного режима почв в 1-е пятилетия после осушения и указывают на целесообразность изучения данного вопроса, имеющего как практическое, так и теоретическое значение.

В этой работе приведены результаты изучения изменения прироста старовозрастной сосны на объекте гидромелиорации в Республике Коми в связи с таксационными характеристиками отдельных деревьев и их совокупности, удалением деревьев от осушительных каналов и продолжительностью влияния осушения. Актуальность исследования определяется важностью изучения способности древесных растений адаптироваться к изменению водного режима, как в условиях естественно дренированных почв, например вследствие изменения климата или антропогенного и техногенного воздействий, так и на объектах осушительной гидромелиорации, в т. ч. с древостоями высокого возраста. Результаты научной работы могут быть также полезны при решении вопроса о возможности использования старовозрастных древостоев для целей, альтернативных их рубке для заготовки древесины.

#### *Объекты и методы исследования*

Как отмечено выше, выбор объектов исследования объясняется тем, что на объектах гидромелиорации в Республике Коми накопились большие площади старовозрастных древостоев. Учитывалось также высокое участие в составе гидролесомелиоративного фонда насаждений с преобладанием сосны (около 2/3 лесопокрытой площади) и то, что заболоченные территории в республике представлены в основном водораздельными пространствами.

Исследование выполнено в 2021 г. в Корткеросском районе Республики Коми на водоразделе р. Вычегда и Кия-Ю на участке, мелиорированном в 1976 г. Расстояние между каналами – 140 м. Глубина каналов – 0,6–1,0 м. При проведении научных изысканий использовали общепринятые в таксации, лесоводстве и гидролесомелиорации методы [3, 8, 11]. Характеристика насаждений на объекте исследования приведена в табл. 1.

Таблица 1

**Характеристика насаждений на объекте исследования**  
**The characteristics of stands at the research site**

Пробная площадь / мощность торфа, м	Расстояние от центра до ближнего канала, м	Состав яруса	Высота яруса, м	Относительная полнота яруса	Запас насаждения, м <sup>3</sup> /га	Класс возраста	Тип леса
25/0,4	18	10С ед.Е, ед.Б	12,3	0,9	155	X	С. б.-сф.
26/0,4	44		10,6	0,9	130	IX	
27/0,3	70		9,3	1,0	130	VIII	С. к.-сф.

Примечание: С. б.-сф. – сосняк багульниково-сфагновый; С. к.-сф. – сосняк кустарничково-сфагновый. Для всех насаждений класс бонитета по шкале М.М. Орлова – Va.

На участке межканального пространства, ограниченном пробными площадями 25–27, у учетных деревьев измерили высоту, диаметр на высоте 1,3 м и расстояние от них до ближнего канала. Совокупность использованных учетных деревьев превышает объем малой выборки (30 ед.), а их распределение на части межканального пространства, представленного 3 пробными площадями, характеризуется отсутствием достоверной связи между возрастом деревьев и их удалением от каналов.

При изучении реакции сосны на осушение использовали радиальный прирост. Известно, что около 70–80 % вариации ширины годовичных колец деревьев во влажных условиях произрастания и 90 % в сухих может быть объяснено изменчивостью водного режима [36]. В значительной степени именно это обстоятельство определяет использование радиального прироста при изучении отклика древесных растений на климатические изменения, техногенное и антропогенное воздействия [9, 11, 12, 18], в т. ч. при гидролесомелиорации [19, 22, 31].

У учетных деревьев на высоте 1,3 м были взяты керны для последующего анализа [3, 11, 27]. Для оценки реакции сосны на осушение использовали текущий периодический (по пятилетиям) радиальный прирост до и после осушения (далее – прирост).

Общее количество годовичных колец по керну, взятому на высоте груди, принимали в качестве показателя – «возраст на высоте груди» – «brest height age» [29, 35] (далее – возраст дерева). При необходимости возможно прямое определение возраста подроста до высоты 1,3 м [28].

Радиальный прирост измеряли микроскопом МБС-10 для периода, предшествовавшего осушению – с 1972 до 1976 г., и для периода после осушения – с 1977 до 2021 г. Ошибка определения среднего прироста – 0,01–0,02 см. Точность опыта изменяется от 5,6 до 12,5 %.

При оценке влияния возраста деревьев на прирост при переходе от пятилетнего периода 2017–2021 гг. к периоду 1977–1981 гг. для каждого последующего пятилетия возраст деревьев уменьшали на 5 лет. Время, прошедшее после осушения, для 1–9-го пятилетий после осушения приняли соответствующим серединам пятилетних периодов, прошедших после строительства осушительной сети, т. е. 3–43 годам.

При обработке и анализе полученных данных использовали электронные таблицы Excel и программный пакет Statistica.

Результаты исследования и их обсуждение

На объекте исследования произрастают простые по форме насаждения с абсолютным преобладанием в их составе сосны. Диаметр учетных деревьев изменяется от 13,5 до 33,1 см, высота – от 11 до 17,5 м, а возраст – от 123 до 215 лет (табл. 2).

Таблица 2

Характеристики учетных деревьев сосны и их удаление от канала  
The characteristics of the registered pine trees and their distance from the channel

Дерево	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>T</i>	<i>L</i>	Дерево	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>T</i>	<i>L</i>
1	19,7	15,0	132	5,6	24	24,8	13,5	159	19,6
2	16,2	12,0	130	10,0	25	24,2	14,0	137	14,1
3	21,0	13,0	137	2,6	26	21,3	13,0	180	20,1
4	32,0	17,0	161	2,0	27	17,3	13,5	135	20,7
5	14,6	11,0	123	4,0	28	18,5	13,0	200	15,6
6	13,5	11,0	147	5,2	29	24,4	15,5	191	18,2
7	33,1	16,0	192	5,0	30	24,3	15,5	166	16,3
8	14,8	16,5	215	7,0	31	20,2	14,0	203	17,1
9	21,7	17,0	162	5,0	32	25,0	13,5	180	15,2
10	24,0	14,0	163	5,0	33	19,0	14,0	164	17,6
11	19,5	13,0	186	8,0	34	23,5	14,0	165	15,9
12	19,0	12,0	174	12,7	35	20,6	13,0	174	15,5
13	16,5	12,0	157	12,0	36	20,4	15,0	147	25,0
14	20,7	12,5	134	10,0	37	21,8	14,5	173	26,0
15	26,2	14,0	170	8,0	38	26,1	14,0	204	27,0
16	26,6	15,0	187	10,0	39	24,4	13,0	195	32,0
17	20,9	13,0	159	8,0	40	22,6	17,5	200	41,1
18	22,0	15,5	167	8,5	41	22,6	15,0	179	42,9
19	27,7	15,0	158	8,2	42	26,5	14,5	176	44,1
20	24,4	13,0	166	10,0	43	16,3	12,0	167	49,3
21	15,3	13,0	139	13,5	44	21,7	13,5	179	53,0
22	22,2	13,5	173	17,0	45	25,3	13,0	172	61,4
23	21,5	14,5	170	13,5	46	19,8	13,0	162	68,7

Примечание: *D* – диаметр в коре (см) на высоте 1,3 м в 2021 г.; *H* – высота (м) в 2021 г.; *T* – количество годовичных колец на высоте 1,3 м в 2021 г.; *L* – расстояние до ближнего канала (м).

Фактическая асимметрия для выборок данных показателей (от +0,42 до –0,06) и эксцесса (от +0,51 до –0,37) меньше критических значений этих показателей, соответствующих 0,56 и 0,85 для 5%-го уровня значимости, что указывает на соответствие распределения нормальному и, видимо, связано с отсутствием в выборках, представленных старовозрастными деревьями, тонкомерной части древостоя (см. рисунок, табл. 3).





Таблица 3

Средние вариации характеристик учетных деревьев сосны и периодического радиального прироста за 5 лет  
The average variations in the characteristics of the registered pine trees and periodic radial increment over 5 years

Описатель- ные стати- стики	D	H	T	L	Периодический радиальный прирост (см) за годы									
					2017– 2021	2012– 2016	2007– 2011	2002– 2006	1997– 2001	1992– 1996	1987– 1991	1982– 1986	1977– 1981	1972– 1976
X	21,80	13,90	168,00	18,9	0,190	0,180	0,220	0,160	0,210	0,220	0,180	0,170	0,160	0,120
min	13,50	11,00	123,00	2,0	0,020	0,050	0,030	0,040	0,040	0,050	0,040	0,030	0,050	0,050
max	33,10	17,50	215,00	68,7	0,700	0,800	0,800	0,800	0,700	0,600	0,400	0,400	0,350	0,250
$\sigma^2$	17,64	2,25	472,20	253,1	0,013	0,017	0,021	0,014	0,014	0,014	0,008	0,007	0,006	0,003
$\sigma$	4,20	1,50	21,73	15,9	0,116	0,132	0,146	0,117	0,119	0,117	0,088	0,085	0,075	0,053
V	19,30	10,80	13,00	84,4	65,100	71,700	67,400	75,000	57,400	53,100	48,500	48,900	45,700	44,000
m	0,62	0,22	3,20	2,4	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,010	0,010	0,010	0,010
As	0,31	0,42	-0,06	1,6	2,130	2,650	1,770	3,810	1,560	0,810	0,570	0,570	0,560	0,750
Ex	0,51	0,04	-0,37	2,0	8,050	10,180	4,950	20,150	5,060	1,140	0,120	0,120	-0,320	-0,220

Примечание: X – среднее;  $\sigma^2$  – дисперсия;  $\sigma$  – стандартное отклонение; V – коэффициент вариации, %; m – стандартная ошибка среднего; As – асимметрия; Ex – эксцесс.

Согласно полученным при измерении радиального прироста сведениям, возможна оценка индивидуальной реакции на осушение 46 учетных деревьев в течение 9 пятилетних периодов, т. е. для 414 таких периодов. Для 337 пятилетних периодов, или в 81 % случаев, прирост после осушения превышал показатель до осушения или был равен ему. Это согласуется с традиционным представлением о роли гидролесомелиорации в лесоводственных системах [1, 3, 5, 6, 14–17, 19, 22, 23, 39].

Для 77 периодов, или 19 % случаев, прирост в отдельные пятилетия был меньше, чем до осушения, что также отмечается в [19, 26, 27]. Уменьшение прироста в 1-е пятилетие после осушения зафиксировано менее чем в 2 % случаев. В последующие за такими пятилетиями периоды наблюдается увеличение прироста или его флуктуация со знаком (+) или (–) относительно прироста до осушения. То есть старовозрастные деревья в основном успешно адаптируются к лесорастительным условиям, формирующимся после осушения.

При описании изменения радиального прироста совокупности деревьев дифференцированно по периодам после осушения в качестве факторов, влияющих на прирост, использовали удаление деревьев от ближнего канала, косвенно характеризующее интенсивность осушения, и возраст учетных деревьев, в значительной степени определяющий их размерные характеристики. Последнее подтверждается наличием достоверной связи между возрас-

том и диаметром на высоте груди, возрастом и высотой учетных деревьев, их возрастом и диаметром ( $R = 0,31-0,53$ ;  $R_{0,05} = 0,29$ ). В то же время связь между удалением учетных деревьев от каналов и их возрастом недостоверна ( $R = 0,24$ ;  $R_{0,05} = 0,29$ ). Это позволяет использовать данные показатели в качестве независимых переменных в уравнениях множественной регрессии (табл. 4).

Таблица 4

**Характеристики зависимости радиального периодического прироста сосны за 5 лет ( $Y$ ) от удаления деревьев от канала и возраста деревьев на высоте груди**  
**The characteristics of the dependence of radial periodic increment of pine over 5 years ( $Y$ ) on the distance of trees from the channel and the age of trees at breast height**

Период, гг.	$A$	$B$	$C$	$R^2$	$R$	$F_{\text{факт.}}(2,43)$	$F_{\text{табл.}}$	$p <$
2021–2017	–0,001143	–0,001019	+0,37	0,076	0,28	1,76	$F_{0,01} = 5,1$	0,184
2016–2012	–0,001524	–0,001832	+0,51	0,152	0,39	3,87		0,029
2011–2007	–0,001404	–0,002643	+0,66	0,207	0,46	5,62	$F_{0,05} = 3,2$	0,007
2006–2002	–0,000579	–0,001406	+0,38	0,084	0,29	1,97		0,152
2001–1997	–0,000923	–0,001919	+0,51	0,157	0,40	4,03	$F_{0,10} = 2,4$	0,025
1996–1992	+0,000279	–0,002399	+0,56	0,192	0,44	5,12		0,010
1991–1987	+0,000678	–0,001466	+0,37	0,125	0,35	3,07	$F_{0,25} = 1,4$	0,057
1986–1982	+0,000662	–0,001548	+0,38	0,147	0,38	3,71		0,033
1981–1977	+0,000707	–0,001026	+0,28	0,089	0,30	2,10		0,135

Примечание:  $A$ ,  $B$ ,  $C$  – коэффициенты уравнения  $Y = AL + BT + C$ ; количество выборки – 46.

Анализ данных табл. 4 показывает, что для всех пятилетних периодов рассматриваемая связь достоверна на уровне значимости от 1 до 25 %. Регрессия прироста по возрасту учетных деревьев во всех случаях отрицательная. Это согласуется с одним из основных положений гидролесомелиорации о том, что более молодые деревья отзывчивее на регулирование водного режима. Однако в данном случае приведенный факт говорит о сохранении такого направления связи при сравнении реакции на осушение деревьев высокого возраста, относящихся в основном к возрастным группам «спелые и перестойные древостои». Диапазон изменчивости возраста учетных деревьев в 1-е пятилетие после осушения (1977–1981 гг.) составлял 78–170 лет, а в период обмера и взятия кернов (2021 г.) – 123–215 лет.

Регрессия прироста по расстоянию до канала в 1-е четыре пятилетия после осушения положительная. То есть радиальный прирост увеличивается при удалении от каналов. Это противоречит базовому положению гидролесомелиорации, согласно которому вблизи каналов прирост должен быть больше, чем в середине межканального пространства. Положительная направленность связи между приростами и удалением от каналов на объектах лесосушения отмечалась для сосновых молодняков [5]. К аналогичным результатам может привести деятельность бобров [6, 23], вторичное заболачивание осушаемого участка или отличие таксационных показателей сравниваемых учетных деревьев и древостоев. В данном случае первые 3 причины исключаются, а отличие деревьев по возрасту заложено в модель введением этого показателя в уравнения связи между рассматриваемыми характеристиками.

Направление связи между ростом деревьев и удалением от каналов может зависеть от характера изменения мощности торфа на межканальном пространстве, если на объекте исследования торфяная залежь мелкая, т. е. менее 1 м.



В связи с этим следует отметить, что на части межканального пространства с пробными площадями 25–27 мощность торфа уменьшается от каналов к середине межканального пространства. Это должно было усиливать отрицательную связь между приростом и удалением деревьев от каналов, а не ослаблять ее, и тем более – не изменять на противоположную.

В исследованиях слабая реакция на осушение в 1-е годы после проведения данного мероприятия обычно связывается с адаптацией деревьев к новому водному режиму [9, 19, 22, 26]. Возможность изменения направления связи на соответствующее базовым представлениям гидролесомелиорации по истечении периода адаптации была показана на основе изучения реакции на осушение старовозрастного кедра [15, 16]. Данные табл. 4 подтверждают правомерность такого прогноза. С 5-го по 9-е пятилетие после осушения коэффициенты регрессии прироста по расстоянию до канала становятся отрицательными. Таким образом, направление связи согласуется с представлением о роли каналов в создании благоприятных условий для роста древесных растений на межканальном пространстве.

Между коэффициентом  $A$  в уравнениях множественной регрессии и временем, прошедшим после осушения ( $P$ , лет), установлена тесная достоверная связь:

$$A = -6E - 0,05P + 0,0011 \quad (R = 0,92; R_{0,01} = 0,87).$$

Приравняв в этом уравнении коэффициент  $A$  к 0 и решая уравнение относительно периода времени, прошедшего после осушения, находим, что переход через нулевое значение коэффициента регрессии прироста по расстоянию до осушителя происходит через 18,3 лет после строительства осушительной сети.

Несмотря на установленное в 1-е после осушения пятилетия несоответствие направления связи между приростом деревьев и их удалением от канала базовому положению гидролесомелиорации, для всех пятилетних периодов после осушения средний прирост (0,16–0,22 см) больше, чем до осушения (0,12 см). То есть реакция совокупности старовозрастных деревьев сосны на осушение в течение всего периода после осушения положительная. Изменение среднего прироста ( $ZR$ , см) за время после осушения может быть описано полиномом второй степени:

$$ZR = -7E - 0,5P^2 + 0,0036P + 0,154 \quad (R = 0,52; R_{0,10} = 0,58).$$

Связь характеризуется как средняя по тесноте, достоверная на уровне значимости, близком к 10 %. Стандартные расчеты позволяют установить координаты вершины параболы, описывающей эту связь:  $P = 25,7$  лет;  $ZR = 0,20$  см. Выравненный средний периодический прирост достигает наибольшего значения (0,20 см) в начале 6-го пятилетнего периода после осушения. Это согласуется с указанием на то, что в северных районах при ориентировании на лесопромышленное освоение гидролесомелиоративного фонда в виде заготовки древесины в спелых и перестойных насаждениях полная относительная реакция древостоев на регулирование водного режима наступает через 20–30 лет после строительства осушительных систем [17].

Максимальные приросты, как и средние, после осушения (0,35–0,80 см) также больше, чем до осушения (0,25 см). Минимальные приросты (0,02–0,05 см) могут соответствовать минимальному приросту до осушения (0,05 см) или быть меньше. Это обуславливает возрастание изменчивости показателя с 44 % перед осушением до 46–75 % после.

При объяснении несоответствия направления связи между приростом и удалением от каналов в 1-е пятилетия после осушения, в соответствии с общепринятым представлением, можно допустить, что наряду с положительным влиянием на рост сосны опускание уровней почвенно-грунтовых вод после строительства осушительной сети одновременно вызывает у деревьев стрессовое состояние, более выраженное вблизи канала и менее – на удалении от него, где уровни воды после осушения опустились на меньшую по сравнению с приканальным участком глубину. Кроме этого, требуется адаптация, а возможно, и восстановление корневых систем вблизи каналов [34, 36]. Итогом этого разнонаправленного влияния в 1-е годы после осушения является большее снижение прироста вблизи каналов и меньшее – на середине межканального пространства. После 4 пятилетий адаптации у деревьев вблизи канала сокращение прироста, связанное со стрессовым состоянием деревьев, замедляется или останавливается, прирост здесь увеличивается, и направление связи между рассматриваемыми показателями на межканальном пространстве начинает соответствовать базовым положениям гидrolесомелиорации.

Учет установленной трансформации направления связи на межканальном пространстве важен для правильной оценки роли гидrolесомелиорации в создании условий, благоприятных для роста леса на участках с избыточным увлажнением. В противном случае на примере старовозрастных древостоев возможно отрицание положительной роли осушения вплоть до рекомендаций по отказу от данного мероприятия. Восстановление с течением времени отрицательного направления связи между приростом деревьев и их удалением от канала можно рассматривать в качестве комплексной характеристики адаптации старовозрастных деревьев сосны к лесорастительным условиям после осушения, включающей не только собственно изменение прироста, но и пространственную (удаление от каналов) и временную (период после осушения) составляющие.

Исследование показывает, что для полной оценки длительности адаптации старовозрастных деревьев и древостоев требуется продолжительный период. В связи с этим оправдан интерес к проведению научных работ на объектах с длительным осушением по широкому спектру вопросов, в т. ч. влиянию на рост леса [3, 13, 30–33, 37–39].

Установленное изменение направленности связи не вызвано отличиями погодных или климатических условий, различием насаждений или почвогрунта, ремонтом осушительной сети или другими внешними воздействиями на древостой. По нашему мнению, она отражает различие продолжительности периода адаптации старовозрастных деревьев к смене лесорастительных условий вблизи каналов и на удалении от них.

Результаты исследования [17] свидетельствуют о высоком адаптационном потенциале осушаемых старовозрастных сосняков сфагновой группы типов леса на водораздельных территориях и позволяют допустить, что в случае невозможности проведения рубки таких древостоев они длительный период времени могут служить целям комплексного и многоцелевого применения в качестве потенциальных объектов рекреации, отдыха, туризма, охоты, временных лесосеменных участков и др.

В работе [8] рассмотрены особенности динамики линейного прироста сосны. При использовании производных от этого показателя характеристик, на-

пример прироста по площади поперечного сечения или объему, видимо, могут быть получены отличающиеся оценки. Следует также учитывать, что радиальный прирост – это удобный и относительно просто определяемый показатель, но, однако, только маркер изменения прироста деревьев и древостоев после осушения. Поэтому при поиске причинно-следственных связей, обуславливающих эти изменения в связи с гидромелиорацией, требуются комплексные эколого-физиологические исследования [10, 24, 36].

### Выводы

1. У старовозрастных деревьев сосны в 81 % случаев периодический (по пятилетиям) радиальный прирост после осушения превышает прирост до осушения или равен ему, а в 19 % случаев – меньше прироста до осушения. В 1-е пятилетие после осушения уменьшение прироста до величины, которая ниже, чем прирост до осушения, отмечено в 2 % случаев – отдельные деревья старовозрастной сосны в сосняке сфагновой группы типов леса на водораздельной территории в основном успешно адаптируются к изменению условий роста после осушения.

2. Для совокупности старовозрастных деревьев сосны больший прирост наблюдается у деревьев меньшего возраста. В начале 6-го пятилетия выравненный средний прирост совокупности старовозрастных деревьев на межканальном пространстве достигает максимальных значений (0,20 см) и начинает уменьшаться. Согласно прогнозу, прирост достигнет среднего, соответствующего показателю до осушения (0,12 см), к концу 12-го пятилетия после изменения водного режима.

3. Максимальные приросты старовозрастных деревьев на межканальном пространстве (0,35–0,80 см) больше, чем до осушения (0,25 см). Минимальные значения (0,02–0,05 см) соответствуют минимальному приросту до мелиоративных мероприятий (0,05 см) или меньше него. Это обуславливает увеличение коэффициента вариации с 44 % перед осушением до 46–75 % после.

4. При прочих равных условиях в 1-е четыре пятилетия после осушения на межканальном пространстве прирост старовозрастных деревьев сосны увеличивается при удалении от каналов к середине межканального пространства, а с 5-го пятилетия до настоящего времени – при приближении к каналам. Восстановление с течением времени отрицательного направления связи между приростом деревьев и их удалением от канала можно рассматривать в качестве комплексной характеристики адаптации совокупности старовозрастных деревьев сосны к лесорастительным условиям после осушения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Бабиков Б.В., Субота М.Б. Гидромелиорация в лесном хозяйстве: история научных исследований // Изв. вузов. Лесн. журн. 2022. № 3. С. 103–118.

Babikov B.V., Subota M.B. Hydromelioration in Forestry: History of Research. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2022, no. 3, pp. 103–118. (In Russ.).  
<https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-3-103-118>

2. Басов В.А. Семенная продуктивность ельников и сосняков на Европейском Севере после гидролесомелиоративных работ // Эффективность и организация работ по

осушению лесных земель в Коми АССР: тез. докл. к совещ. Сыктывкар: ИБ КНЦ УрО РАН, 1988. С. 38–39.

Basov V.A. Seed Productivity of Spruce and Pine Forests in the European North after Hydroforestry Reclamation Works. *Efficiency and Organization of Work on Drainage of Forest Lands in the Komi ASSR: Abstracts from the Meeting*. Syktyvkar, Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 1988, pp. 38–39. (In Russ.).

3. Богданов А.П., Цветков И.В., Карабан А.А., Парамонов А.А., Третьяков С.В. Исследования радиального прироста хвойных древостоев на объектах длительного наблюдения под влиянием осушения // *Journal of Agriculture and Environment*. 2024. № 9(49). 6 с.

Bogdanov A.P., Tsvetkov I.V., Karaban A.A., Paramonov A.A., Tretyakov S.V. Studies of Radial Growth of Coniferous Stands on Long-Term Observation Sites under the Influence of Drainage. *Journal of Agriculture and Environment*, 2024, no. 9(49). 6 p. (In Russ.).

<https://doi.org/10.60797/JAE.2024.49.5>

4. Великанов Г.Б., Константинов В.К., Порошин А.А., Чикалюк В.Ф. К вопросу о повышении эффективности использования осушаемых лесов // Лесопользование и гидролесомелиорация: материалы Всерос. симпозиума. Вологда: СевНИИЛХ, 2007. Ч. 2. С. 19–28.

Velikanov G.B., Konstantinov V.K., Poroshin A.A., Chikalyuk V.F. On the Issue of Increasing the Efficiency of Using Drained Forests. *Lesopol'zovanie i melioratsiya: Proceedings of the All-Russian Symposium*. Vologda, Northern Research Institute of Forestry, 2007, part 2, pp. 19–28. (In Russ.).

5. Вомперский С.Э. Биологические основы эффективности лесосушения. М.: Наука, 1968. 310 с.

Vomperskij S.E. *Biological Principles of Forest Drainage Efficiency*. Moscow, Nauka Publ., 1968. 310 p. (In Russ.).

6. Драндина А.Н. Влияние осушения на водный и пищевой режим торфяных почв и рост леса: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. СПб, 2013. 20 с.

Drandina A.N. *The Influence of Drainage on the Water and Nutritional Regime of Peat Soils and Forest Growth*: Cand. Agric. Sci. Diss. Abs. St. Petersburg, 2013. 20 p. (In Russ.).

7. Дружинин Н.А. Рубки главного пользования в осушаемых лесах // Лесопользование и гидролесомелиорация: материалы Всерос. симп. Вологда: СевНИИЛХ, 2007. Ч. 1. С. 28–32.

Druzhinin N.A. Final Felling in Drained Forests. *Lesopol'zovanie i melioratsiya: Proceedings of the All-Russian Symposium*. Vologda, Northern Research Institute of Forestry, 2007, part 1, pp. 28–32. (In Russ.).

8. Евдокимов В.Н., Феклистов П.А. Использование связи между линейным и объемным годичным приростом // Изв. вузов. Лесн. журн. 1979. № 6. С. 20–23.

Evdokimov V.N., Feklistov P.A. Using the Relationship between Linear and Volumetric Annual Growth. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 1979, no. 6, pp. 20–23. (In Russ.).

9. Железнова О.С., Тобратов С.А. Влияние климата на радиальный прирост сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в различных местообитаниях Мещерской низменности // Изв. РАН. Сер.: Географич. 2019. № 5. С. 67–77.

Zheleznova O.S., Tobratov S.A. Influence of Climate on Radial Growth of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) in Different Habitats of Meshchera Lowland. *Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Seriya geograficheskaya*, 2019, no. 5, pp. 67–77. (In Russ.).

<https://doi.org/10.31857/S2587-55662019567-77>

10. Зарубина Л.В., Коновалов В.Н. Эколого-физиологическая оценка эффективности гидромелиорации в сосняках и ельниках на гидроморфных почвах // Лесопользование и гидролесомелиорация: материалы Всерос. симп. Вологда: СевНИИЛХ, 2007. Ч. 2. С. 13–18.

Zarubina L.V., Konovalov V.N. Ecological and Physiological Assessment of the Effectiveness of Hydromelioration in Pine and Spruce Forests on Hydromorphic Soils. *Lesopol'zovanie i melioratsiya*: Proceedings of the All-Russian Symposium. Vologda, Northern Research Institute of Forestry, 2007, part 2, pp. 13–18. (In Russ.).

11. Кутявин И.Н., Манов А.В. Дендроклиматический анализ радиального прироста сосны (*Pinus sylvestris* L.) на европейском северо-востоке России // Изв. РАН. Сер.: Географич., 2022. Т. 86, № 4. С. 547–562.

Kutyavin I.N., Manov A.V. Dendroclimatic Analysis of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Radial Growth in the European North-East of Russia. *Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Seriya geograficheskaya*, 2022, vol. 86, no. 4, pp. 547–562. (In Russ.).

<https://doi.org/10.31857/S2587556622040070>

12. Матюшевская Е.В., Киселев В.Н., Яротов А.Е. Адаптация сосны (*Pinus sylvestris*) к современным экологическим реалиям в Белорусском Полесье // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2020. № 4. С. 10–18.

Matyushevskaya E.V., Kiselev V.N., Yarotov A.E. Adaptation of Pine (*Pinus sylvestris*) to Modern Ecological Realities in the Belarusian Polesie. *Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya* = Journal of the Belarusian State University. Ecology, 2020, no. 4, pp. 10–18. (In Russ.). <https://doi.org/10.46646/2521-683X/2020-4-10-18>

13. Наквасина Е.Н., Цветков И.В., Давыдов А.В., Корсакова А.О. Трансформация сосняка кустарничково-сфагнового при длительном осушении в северном лесном районе // Изв. С.-Петерб. лесотехн. акад. 2024. Вып. 250. С. 98–115.

Nakvasina E.N., Tsvetkov I.V., Davydov A.V., Korsakova A.O. Transformation of Shrub-Sphagnum Pine under Prolonged Drainage in the Northern Forest Area. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii*, 2024, iss. 250, pp. 98–115. (In Russ.).

<https://doi.org/10.21266/2079-4304.2024.250.98-115>

14. Пахучая Л.М. Лесоводственная эффективность гидромелиорации темнохвойных с участием кедра сибирского насаждений на крайнем северо-востоке европейской части России // Изв. вузов. Лесн. журн. 2009. № 4. С. 7–11.

Pakhuchaya L.M. Silvicultural Efficiency of Soil Improvement in Dark Coniferous Stands with Siberian Cedar in the High Northeast of Russian European Part. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2009, no. 4, pp. 7–11. (In Russ.).

15. Пахучий В.В., Пахучая Л.М. Влияние осушения на величину радиального прироста кедра сибирского // Повышение эффективности лесного комплекса: материалы 6-й Всерос. конф. Петрозаводск: ПетрГУ, 2020. С. 110–111.

Pakhuchij V.V., Pakhuchaya L.M. The Effect of Drainage on the Radial Increment of Siberian Cedar. *Improving the Efficiency of the Forestry Complex*: Proceedings of the 6th All-Russian Conference. Petrozavodsk, Petrozavodsk State University, 2020, pp. 110–111. (In Russ.).

16. Пахучий В.В., Пахучая Л.М. Многофакторная модель изменения радиального прироста кедра сибирского на объекте гидромелиорации // Актуальные проблемы лесного комплекса: Материалы конф. Брянск: БГИТУ, 2021. Вып. 60. С. 57–60.

Pakhuchij V.V., Pakhuchaya L.M. A Multifactorial Model for Changes in the Radial Growth of Siberian Cedar at a Hydromelioration Site. *Current Issues of the Forestry Complex*: Proceedings of the Conference. Bryansk, Bryansk State Technological University of Engineering, 2021, iss. 60, pp. 57–60. (In Russ.).

17. Сабо Е.Д. Издалека видно яснее (о востребованности гидролесомелиорации в различные периоды развития) // Гидротехнические мелиорации земель лесного фонда: результаты и проблемы: материалы МНТС и науч. секции Россельхозакад. по гидролесомелиорации. С.-Петербург.: СПбГЛТА-СПбНИИЛХ, 2005. С. 140–146.

Sabo E.D. Clearer from Afar (on the Demand for Hydromelioration in Different Periods of Development). *Gigrotekhnicheskie melioratsii zemel' lesnogo fonda: rezul'taty i problemy*: Proceedings of the Scientific and Technical Council and the Scientific Section of the Russian Agricultural Academy on Forest Hydromelioration. St. Petersburg, St. Peters-



burg State Forestry Engineering Academy, St. Petersburg Forestry Research Institute, 2005, pp. 140–146. (In Russ.).

18. Савва Ю.В., Ваганов Е.А. Адаптация сосны обыкновенной к изменению климатических условий // Докл. АН. 2002. Т. 385, № 1. С. 135–138.

Savva Yu.V., Vaganov E.A. Adaptation of Scots Pine to Changing Climate Conditions. *Reports of the Academy of Sciences*, 2002, vol. 385, no. 1, pp. 135–138. (In Russ.).

19. Солнцев Р.В., Гулин А.Н. Реакция соснового древостоя и трансформация свойств лесоболотного торфа на экстенсивное осушение сфагнового болота в условиях Среднего Урала // Аграрн. вестн. Урала. 2010. № 1(67). С. 72–74.

Solntsev R.V., Gulín A.N. The Reaction of Pine Stands and the Transformation of the Properties of Bog Peat to Extensive Drainage of a Sphagnum Bog in the Middle Urals. *Agrarnyj vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals, 2010, no. 1(67), pp. 72–74. (In Russ.).

20. Схема гидролесомелиоративных мероприятий на землях гослесфонда Вычегодского, Лузского бассейнов и Верхней Печоры Коми АССР. Архангельск: Союзгипролесхоз, 1985. 270 с.

*Scheme of Hydroforestry Measures on the State Forest Fund Lands of the Vychegda, Luza Basins and Upper Pechora of the Komi ASSR*. Arkhangelsk, Soyuzgiproleskhoz Publ., 1985. 270 p. (In Russ.).

21. Тараканов А.М. Возрасты спелости и способы рубок осушаемых лесов // Лесн. хоз-во и комплексное природопользование: тр. СПбНИИЛХ. СПб, 2010. Вып. 2(22). С. 46–53.

Tarakanov A.M. Maturity Ages and Felling Methods for Drained Forests. *Forestry and Integrated Nature Management: Proceedings of the St. Petersburg Forestry Research Institute*, 2010, iss. 2(22), pp. 46–53. (In Russ.).

22. Третьяков С.В., Новоселов А.С., Попов О.С. Влияние гидротехнической мелиорации на формирование древесины *Pinus sylvestris* L. в Вологодской области // Изв. С.-Петерб. лесотехн. акад. 2022. № 241. С. 99–119.

Tretyakov S.V., Novoselov A.S., Popov O.S. Influence of Hydrotechnical Melioration on the Formation of Wood *Pinus sylvestris* L. in the Vologda Region. *Izvestia Sankt-Petersburgskoj lesotekhniceskoi akademii*, 2022, no. 241, pp. 99–119. (In Russ.).

<https://doi.org/10.21266/2079-4304.2022.241.99-119>

23. Федотов И.В. Мониторинг состояния осушаемых лесов и ведение хозяйства в них на примере Архангельской области: автореф. дис. ... канд.с.-х. наук. Архангельск, 2017. 20 с.

Fedotov I.V. *Monitoring the Condition of Drained Forests and Forest Management in Them by the Example of the Arkhangelsk Region*: Cand. Agric. Sci. Diss. Abs. Arkhangelsk, 2017. 20 p. (In Russ.).

24. Феклистов П.А., Тюкавина О.Н. Особенности ассимиляционного аппарата, водного режима и роста деревьев сосны в осушенных сосняках. Архангельск: САФУ, 2014. 179 с.

Feklistov P.A., Tyukavina O.N. *Features of the Assimilation Apparatus, Water Regime and Growth of Pine Trees in Drained Pine Forests*. Arkhangelsk, Northern (Arctic) Federal University Publ., 2014. 179 p. (In Russ.).

25. Чикалюк В.Ф., Кнize А.А. К вопросу о лесопользовании на осушенных площадях // Лесопользование и гидролесомелиорация: матер. Всерос. симп. Вологда: СевНИИЛХ, 2007. Ч. 1. С. 26–27.

Chikalyuk V.F., Knize A.A. On the Issue of Forest Management in Drained Areas. *Lesopol'zovanie i melioratsiya*: Proceedings of the All-Russian Symposium. Vologda, Northern Research Institute of Forestry, 2007, part 1, pp. 26–27. (In Russ.).

26. Юзепчук И.А. Осушение болот, покрытых сосной, в условиях Псковской области // Осушение и восстановление леса на заболоченных землях Северо-Запада. Ленинград: ЛенНИИЛХ, 1973. С. 29–38.



Yuzepchuk I.A. Drainage of Pine-Covered Swamps in the Pskov Region. *Osushenie i vosstanovlenie lesa na zabolochennykh zemlyakh Severo-Zapada*. Leningrad, Leningrad Forestry Research Institute, 1973, pp. 29–38. (In Russ.).

27. Dang Q.L., Lieffers V.J. Assessment of Patterns of Response of Tree Ring Growth of Black Spruce Following Peatland Drainage. *Canadian Journal of Forestry Research*, 1989, vol. 19, no. 7, pp. 924–929. <https://doi.org/10.1139/x89-140>

28. Ferguson D.E., Carlson C.E. Height-Age Relationships for Regeneration-Size Trees in the Northern Rocky Mountains, USA. *Research Paper RMRS-RP-82WWW*. Colorado, Fort Collins, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2010. 19 p. <https://doi.org/10.2737/RMRS-RP-82>

29. *How to Determine Site Index in Silviculture: Participant's Workbook*. British Columbia, Ministry of Forests, Forest Practices Branch, 1999. 78 p. Available at: <https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/farming-natural-resources-and-industry/forestry/silviculture/training-modules/sicourse.pdf> (accessed 13.02.25).

30. Hökkä H., Alenius V., Salminen H. Predicting the Need for Ditch Network Maintenance in Drained Peatland Sites in Finland. *Suo*, 2000, vol. 51, no. 1, pp. 1–10.

31. Indriksons A. Development of Dendrometrical Indices of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Stand after the Forest Drainage. *2nd International Scientific Conference on Recent Advances in Information Technology, Tourism, Economics, Management and Agriculture – ITEMA 2018: Conference Proceedings*, 2018, pp. 1115–1122. <https://doi.org/10.31410/itema.2018.1115>

32. Joensuu S., Ahti E., Vuollekoski M. Discharge Water Quality from Old Ditch Networks in Finnish Peatland Forests. *Suo*, 2001, vol. 52, no. 1, pp. 1–15.

33. Joensuu S., Ahti E., Vuollekoski M. Long-Term Effects of Maintaining Ditch Networks on Runoff Water Quality. *Suo*, 2001, vol. 52, no. 1, pp. 17–28.

34. Krause C., Lemay A. Root Adaptations of Black Spruce Growing in Water-Saturated Soil. *Canadian Journal of Forest Research*, 2022, vol. 52, no. 5, pp. 653–661. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2021-0310>

35. Maltamo M., Kinnunen H., Kangas A., Korhonen L. Predicting Stand Age in Managed Forests using National Forest Inventory Field Data and Airborne Laser Scanning. *Forest Ecosystems*, 2020, vol. 7, art. no. 44. <https://doi.org/10.1186/s40663-020-00254-z>

36. Pallardy S.G. *Physiology of Woody Plants*: Third Edition. Academic Press is an Imprint of Elsevier, 2008. 454 p.

37. Samariks V., Kēniņa L., Kitenberga M., Aun K., Varik M., Liepiņa A.A., Jansons A. The Effect of Drainage on Fine-Root Biomass, Production, and Turnover in Hemi-boreal Old-Growth Forests on Organic Soils. *Ecosphere*, 2024, vol. 15, iss. 4, art. no. e4849. <https://doi.org/10.1002/ecs2.4849>

38. Sarkkola S., Hökkä H., Penttilä T. Natural Development of Stand Structure in Peatland Scots Pine Following Drainage: Results Based on Long-Term Monitoring of Permanent Sample Plots. *Silva Fennica*, 2004, vol. 38, iss. 4, pp. 405–412. <https://doi.org/10.14214/sf.408>

39. Socha J. Long-Term Effect of Wetland Drainage on the Productivity of Scots Pine Stands in Poland. *Forest Ecology and Management*, 2012, vol. 274, pp. 172–180. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.02.032>

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

**Conflict of interest:** The authors declare that there is no conflict of interest

**Вклад авторов:** Все авторы в равной доле участвовали в написании статьи

**Authors' Contribution:** All authors contributed equally to the writing of the article