

DOI: 10.15393/j2.art.2023.7023

УДК 630.2:582.475.4:581.4

Статья

Продолжительность жизни хвои сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.)

Тюкавина Ольга Николаевна

доктор сельскохозяйственных наук, доцент ФГАОУ ВО Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова, ведущий научный сотрудник ФБУ «Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства» (Российская Федерация), o.tukavina@narfu.ru

Корепин Дмитрий Юрьевич

инженер отдела дистанционных наблюдений и ГИС, Филиал ФБУ «Рослесозащита» «ЦЗЛ Архангельской области» (Российская Федерация), koropin.mitya@yandex.ru

Получена: 10 апреля 2023 / Принята: 5 сентября 2023 / Опубликовано: 19 сентября 2023

Аннотация: Выявление стандартного периода удержания хвои деревом, характерного для конкретного региона, необходимо для использования продолжительности жизни хвои в качестве критерия оценки состояния хвойных древесных растений и как критерий благополучности условий произрастания. Информация о продолжительности жизни хвои и влияние на неё различных факторов противоречива. Целью работы является оценка продолжительности жизни хвои сосны в различных условиях произрастания. Исследования проводили в сосняках лишайниковых, брусничных, черничных, кустарничково-сфагновых осушенных, осоково-сфагновых, кустарничково-сфагновых, сосна по болоту в северо-таёжном и южно-таёжном лесорастительных районах. Оценку проводили по 15 модельным деревьям, выбранным пропорционально представленности по ступеням толщины, по трём модельным ветвям из средней части кроны. Рассмотрено влияние типа леса, возраста, густоты древостоя, осушения, подтопления, рекреации на продолжительность жизни хвои сосны. Стабильность средней продолжительности жизни хвои при изменении типа леса, лесорастительной зоны указывает на оптимальное значение данного показателя для конкретной возрастной группы. В молодом насаждении средняя продолжительность жизни хвои составляет 3,2 года; в средневозрастном и приспевающем древостое — 4,3—4,8 года. В угнетённом состоянии у сосны на болоте или в результате антропогенного подтопления продолжительность

жизни хвои снижается. В результате гидромелиорации вблизи осушителя продолжительность жизни хвои возрастает, а в межканальном пространстве — остаётся на уровне естественных насаждений. Влияние рекреации на длительность удержания хвои в кроне зависит от стадии дигрессии. Снижение продолжительности жизни хвои отмечается при III стадии дигрессии. Продолжительность жизни хвои обусловлена способностью противостоять стрессовому фактору. Следовательно, механизмом адаптации деревьев к внешнему воздействию является увеличение продолжительности жизни хвои. Отпад хвои старших возрастов обусловлен неспособностью адаптироваться к негативному воздействию.

Ключевые слова: продолжительность жизни хвои; лесорастительные условия; сосна; подтопление; осушение; рекреация

DOI: 10.15393/j2.art.2023.7023

Article

Longevity of common pine needle (*Pinus sylvestris* L.)

Olga Tyukavina

D. Sc. in agriculture, associate professor of the Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov, leading researcher of the Northern research institute of Forestry (Russian Federation), o.tukavina@narfu.ru

Dmitry Korepin

Engineer of the Department of Remote Observations and GIS, Federal State Institution «Russian Forest Protection» «Forest Protection Center of the Arkhangelsk region» (Russian Federation), korepin.mitya@yandex.ru

Received: 10 April 2023 / Accepted: 5 September 2023 / Published: 19 September 2023

Abstract: Identification of the standard period of tree needle retention characteristic for a particular region is necessary to use the pine needle longevity as criteria for assessing coniferous woody plants state and productive growing conditions. Information about the pine needle longevity and various affecting factors is contradictory. The aim of the work was to estimate the pine needle longevity in various growing conditions. The studies were conducted in lichen, cranberry, blueberry, shrub-sphagnum drained pine forests and in sedge-sphagnum, pitch pine forests in the north and south taiga forest areas. The authors assessed 15 model trees selected proportionally by the thickness steps on 3 model branches in the middle part of the crown. The influence of forest type, age, stand density, drainage, raised water table, and recreation on pine needle longevity was considered. The stability of the average pine needle longevity in various forest types and forest-growing zones determined the optimal value of this indicator for a specific age group. In the young plantation the average needle longevity was 3.2 years; in the middle-aged and maturing stand it was 4.3—4.8 years. In case of a pitch pine tree or in pines in a depressed state resulting from anthropogenic flooding, the needle longevity decreased. The needle longevity increased in pines growing near drainage ditches but in pines growing in the interditch space it remained at the level characteristic for a natural forest. The effect of recreation on the duration of needles retention in the crown depended on the stage of digression. A decrease the needle longevity was noted at the III stage of digression. Needle longevity is conditioned by the tree ability to withstand a stressful factor. Consequently, longer needle longevity is associated with the mechanism

of tree adaptation to external influences. The needles mortality in trees of older ages is due to their inability to adapt to the negative environmental effects.

Keywords: needle longevity; forest growing conditions; pine; raised water table; drainage; recreation

1. Введение

Эффективное управление качеством и состоянием насаждений строится как на характеристиках оптимальности условий произрастания, так и на критериях адаптационных способностей деревьев [1], [2]. В связи с этим остаётся актуальным изучение стрессовых факторов, ограничивающих реализацию потенциальных возможностей растений, и реакций растений на них [3], [4]. Чувствительным индикатором благополучности условий произрастания и адаптационных способностей древесных растений является срок жизнедеятельности ассимиляционного аппарата, определяющий успешность их роста, развития, жизнеспособности и продуктивности [5], [6]. Однако информация о продолжительности жизни хвои и влиянии на неё различных факторов противоречива. Так, противоположные мнения о влиянии высоты и диаметра деревьев на продолжительность жизни хвои отмечаются в ряде работ [7], [8]. Долголетие хвои обусловлено географическими областями и почвенными условиями [9—11]. Однако в европейской тайге в схожих лесорастительных условиях хвоя сосны держится от 2—3 до 9—10 лет. Факторы, снижающие интенсивность фотосинтеза, способствуют увеличению продолжительности жизни хвои [7], [12], но и в благоприятных условиях произрастания долголетие хвои возрастает [13]. Расхождение мнений относительно влияния условий местопроизрастания на продолжительность жизни хвои обусловлено видом стрессового фактора. Так, под влиянием биологического фактора часть ассимиляционного аппарата уничтожается, в результате для поддержания физиологических процессов у деревьев возрастает длительность удержания игл старшего возраста [6], что обусловлено увеличением их освещённости и, как следствие, интенсивностью фотосинтеза. При аэрогенном загрязнении происходит снижение фотосинтеза за счёт нарушений в пигментном комплексе, уменьшения фотосинтезирующей поверхности в результате некроза хлоренхимы, что приводит к дефолиации хвои старших возрастов [14]. Независимо от вида повреждающего фактора при снижении жизненного состояния долговечность хвои сокращается [5], [15].

Для использования продолжительности жизни хвои в качестве критерия оценки состояния хвойных древесных растений, которая в значительной мере отражает влияние внешних условий среды [5], как критерий благополучности условий произрастания необходимо выявление стандартного периода удержания хвои деревом, характерного для конкретного региона [8], [13].

2. Материалы и методы

Цель исследования — оценка продолжительности жизни хвои сосны в различных условиях произрастания. Объектами исследования являлись сосняки лишайниковые, брусничные, черничные, кустарничково-сфагновые осушенные, осоково-сфагновые, кустарничково-сфагновые, сосна по болоту в северо-таёжном и южно-таёжном лесорастительных районах (таблица 1). Пробные площади № 10—15 заложены в сосняках

кустарничково-сфагновых осушенных в 1969 г. Расстояние между осушителями 110 м. На пробной площади № 16 отмечается высокая рекреационная нагрузка — количество рекреантов от 25 до 30 чел. на гектар, площадь территории, лишённой напочвенного покрова, составляет 76 % от всей площади. Пробная площадь № 17 характеризуется средней рекреационной нагрузкой — количество рекреантов составляет от 10 до 15 чел. на гектар; площадь вытоптанной территории составляет 28 %. Пробная площадь № 18 характеризуется слабой рекреационной нагрузкой — количество рекреантов до 3 чел. на гектар, нарушенности напочвенного покрова не наблюдается. На пробных площадях № 19—22 рассматривается влияние сезонного подтопления на сосняки осоково-сфагновые. В связи с прокладкой дороги и нарушением стока грунтовых вод (сток происходит, но затруднён) на пробных площадях № 20 и № 22 отмечается сезонное подтопление, что приводит к сильному ослаблению и даже усыханию деревьев. Дехромация кроны составляет 30—50 %. Пробные площади № 19 и № 21 находятся в стороне, негативного влияния дороги не наблюдается.

Таблица 1. Таксационная характеристика насаждений

Table 1. Taxation characteristics of plantings

№ п/п	Тип леса	Состав	Средние		Возраст, лет	Густота, шт./га
			диаметр, см	высота, м		
Северо-таёжный лесной район						
1	Сосна по болоту	10С	4,6	4,5	62	-
2	Сосняк кустарничково-сфагновый	10С + Б	9,1	8,4	65	2258
3	Сосняк чернично-сфагновый	9С1Б	12,5	11,8	67	1637
4	Сосняк черничный	9С1Б	14,2	12	70	1432
5	Сосняк черничный	9С1Б	16,5	16,3	70	1113
6	Сосняк брусничный	10С	13	15	65	2338
7	Сосняк лишайниковый	10С	10,3	11,2	68	3025
8	Сосняк черничный	10С	7,0	4,8	17	2500
9	Посадки на набережной г. Архангельска	10с	10,7	4,4	20	985
Вблизи осушителя						
10	Сосняк кустарничково-сфагновый осушённый	10С + Б	9,0	8,1	45	1451
11			8,3	8,0	45	2885
12			6,2	6,7	45	6297
Межканальное пространство						

13	Сосняк кустарничково-сфагновый осушённый	10С + Б	6,9	6,4	45	1873
14			6,1	5,5	45	3842
15			5,4	5,6	45	7867
Рекреационные насаждения						
16	Сосняк черничный	10С	17,5	17,1	92	412
17		10С1Б	18,7	17,5	92	976
18		10С1Б	21,2	18,6	92	1362
Влияние подтопления						
19	Сосняк осоково-сфагновый	10С + Б	13,6	11,9	71	1177
20		10С + Б	12,6	10,9	65	1248
21		10С + Б	12,3	10,5	60	1520
22		10С + Б	12,3	10,6	57	1636
Соловецкие острова						
23	Сосняк черничный	10С	6,6	4,4	17	2650
Южно-таёжный лесорастительный район						
24	Сосняк лишайниковый	10С	3,4	4,1	20	3941
25	Сосняк брусничный	10С	4,1	6,0	20	3482
26	Сосняк черничный	10Сед.Б	6,3	6,8	20	3462

На пробной площади выбирали модельные деревья (15 шт.) пропорционально представленности по ступеням толщины. Средняя продолжительность жизни хвои на дереве оценивалась по трём модельным ветвям в средней части кроны. Образцы хвои отбирали во всех возрастных категориях по 10 шт. Определяли среднюю длину, ширину, толщину, площадь хвоинки, количество хвои на ветви, количество ветвей в кроне. Статистическую обработку результатов проводили с использованием программ MS Excel 2000, SPSS.

3. Результаты

При продвижении на север значимого изменения средней продолжительности жизни хвои культур сосны в возрасте около 20 лет не происходит (таблица 2). И в суровых условиях Соловецких островов, и в южной подзоне тайги у большинства молодых деревьев продолжительность жизни хвои составляет три года. Но в северной подзоне тайги уже в 20-летнем насаждении отмечается пятилетняя хвоя. Появление деревьев с пятилетней хвоей может указывать на процесс адаптации их к неблагоприятным факторам, например, к низким температурам воздуха. Рассматривая корреляции продолжительности жизни хвои молодых сосен от морфометрических характеристик деревьев, ассимиляционного аппарата, отмечается умеренная обратная связь с длиной, шириной, толщиной и площадью хвоинки ($r = -0,34$ — $-0,53$ при $t = 4,1$ — $4,6$); от умеренной до высокой — связь с количеством хвои

и количеством ветвей ($r = 0,38—0,83$ при $t = 4,2—8,4$). Прямая зависимость продолжительности жизни хвои от количества ветвей и количества хвои на ветви указывает на повышение конкурентной способности за счёт удержания хвои старшего возраста. Это характерно для данного возраста и обуславливает процесс дифференциации деревьев. Так как все силы уходят на конкурентную борьбу, то на данном этапе это не отражается на диаметре и приросте молодого дерева. Но уже в 40-летнем возрасте отмечается умеренная зависимость продолжительности жизни хвои от диаметра и высоты дерева ($r = 0,39—0,44$ при $t = 4,2$).

Таблица 2. Продолжительность жизни хвои в 20-летних сосняках черничных

Table 2. Needle longevity in 20-year-old blueberry pine forests

Лесорастительный район	Лесничество	Продолжительность жизни хвои, лет	
		средняя с ошибкой	минимальная — максимальная
Южно-таёжный	Устюженское	$3,1 \pm 0,1$	3—4
Северо-таёжный	Луковецкое	$3,2 \pm 0,1$	2—5
Северо-таёжный	г. Архангельск	$4,0 \pm 0,2$	3—5
Северо-таёжный	Соловецкое	$3,4 \pm 0,1$	3—5

Стабильность в средней продолжительности жизни хвои при изменении типа леса, лесорастительной зоны указывает на оптимальное значение данного показателя для этой возрастной группы (20-летнее насаждение — средняя продолжительность жизни хвои 3,2 года).

Отмечается значимое повышение средней продолжительности жизни хвои молодых сосен в условиях города (набережная) по сравнению с лесной территорией (таблица 2). В многочисленных литературных источниках указывается, что продолжительность жизни хвои в условиях города сокращается. Но сокращается она не у молодых деревьев. Молодые деревья с активным потенциалом роста хорошо приспосабливаются к условиям среды, в них ещё не произошёл накопительный эффект токсикантов. В нашем примере рассматриваются не отдельные деревья, а многорядные посадки. В результате поверхность соприкосновения с негативным фактором, прежде всего атмосферное загрязнение воздуха, ниже по сравнению с отдельными деревьями.

В средневозрастных, приспевающих сосняках северной подзоны тайги, не подверженных антропогенному фактору, в различных лесорастительных условиях средняя продолжительность жизни хвои составляет 4,3—4,8 года (рисунок). В насаждениях встречаются, в основном, деревья с четырёхлетней хвоей (26—67 %) и пятилетней хвоей (26—80 %). Следовательно, для сосны стандартным периодом удержания хвои является 4—5 лет.

Сокращение продолжительности жизни хвои отмечается у сосны, произрастающей на болоте. Длительность удержания хвои в кроне составляет 2,3 года. За счёт того, что в кроне присутствует, в основном, только хвоя первых двух лет, масса хвои на ветви и в кроне сокращается, по сравнению с сосняками избыточно-увлажнёнными, в четыре раза. Изреживание кроны указывает на угнетённое состояние деревьев, вызванное слабым развитием корневой системы вследствие высоких уровней грунтовых вод. В данных условиях корни могут существовать только в микроповышениях. Сокращение срока жизнедеятельности хвои отмечается и при подтоплении сосняков осоко-сфагновых, происходящем после прокладки дороги. В результате нарушения стока воды в начале вегетационного периода складываются неблагоприятные условия для корней деревьев, характеризующиеся недостатком кислорода в почвенной воде, накоплением токсичных для корней веществ. В данных условиях продолжительность жизни хвои сократилась на 16 % по сравнению с нативными сосняками осоково-сфагновыми ($t = 3,0$ при $t_{st} = 2,8$ вероятность безошибочного заключения 0,99). Основную долю в древостое составляют деревья с долговечностью хвои три года. Угнетение деревьев также проявилось в дехромации кроны от 30 до 50 %.

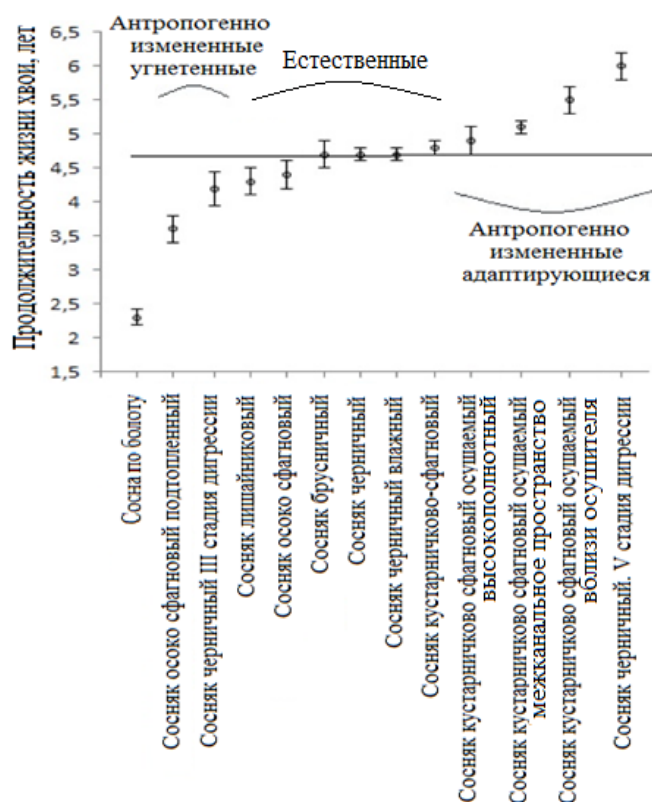


Рисунок. Продолжительность жизни хвои сосны в естественных и антропогенно изменённых насаждениях

Figure. Pine needle longevity in natural and anthropogenic plantations

На изменение продолжительности жизни хвои повлияло повышение рекреационной нагрузки в сосновых насаждениях. Активное посещение населением насаждений приводит к уплотнению почв и, как следствие, к ухудшению их газообмена и водоснабжения. Сокращение длительности удержания хвои на 11 % отмечается при средней рекреационной нагрузке. Треть деревьев в древостое характеризуется продолжительностью жизни хвои три года. Но уже при высокой рекреационной нагрузке средняя продолжительность жизни хвои возросла до шести лет, встречаются деревья с 7-летней и 8-летней хвоей. Повышение продолжительности жизни хвои при высокой рекреационной нагрузке происходит в результате отпада деревьев, которые не смогли адаптироваться к изменившимся условиям произрастания. Сила влияния рекреационной нагрузки на продолжительность жизни хвои умеренная: $\eta^2 = 0,45$, критерии Фишера $F = 29,5$ при уровне значимости $0,05$ $F_{st} = 2,7$.

Повышение продолжительности жизни хвои отмечается в осушаемых насаждениях вблизи осушительного канала. Возраст хвои здесь составляет от пяти до шести лет, единично встречается 7-летняя и 8-летняя хвоя. В межканальном пространстве продолжительность жизни хвои сохраняется на уровне нативных сосняков кустарничково-сфагновых. Межканальное пространство при расстоянии между осушителями 110 м относится к недостаточно осушенному, изменений уровня грунтовых вод в течение вегетационного периода кардинально не происходит. Вблизи осушителя деревья вынуждены приспособляться к значительным колебаниям грунтовых вод в течение вегетационного периода, с пересыханием верхних слоёв торфа в июле. Адаптационным процессам деревьев в данных условиях способствует боковое освещение со стороны осушителя. Сила влияния осушения на продолжительность жизни хвои слабая: $\eta^2 = 0,23$, критерии Фишера $F = 26,1$ при уровне значимости $0,05$ $F_{st} = 3,9$. Влияния густоты древостоя на продолжительность жизни хвои не выявлено. Однако при очень высокой густоте древостоя (около 7000 шт./га) средняя продолжительность жизни хвои вблизи осушителя находится на уровне межканального пространства.

4. Заключение

Продолжительность жизни хвои — достаточно стабильный показатель. В молодняках она составляет от трёх до четырёх лет, в средневозрастных насаждениях — от четырёх до пяти лет. Продолжительность жизни хвои обусловлена способностью противостоять стрессовому фактору. Механизмом адаптации деревьев к внешнему воздействию является увеличение продолжительности жизни хвои. Отпад хвои старших возрастов обусловлен неспособностью адаптироваться к негативному воздействию.

Список литературы

1. *Wortley L., Hero J., Howes M.* Evaluating ecological restoration success: a review of the literature // *Restoration Ecology*. 2013. Vol. 21. P. 537—543. DOI: 10.1111/rec.12028.

2. Fire and tree death: understanding and improving modeling of fire induced tree mortality / S. M. Hood, J. M. Varner, P. van Mantgem [et al.] // *Environmental Research Letters*. 2018. Vol. 13. P. 113004. DOI: 10.1088/1748-9326/aae934.
3. Abiotic stressors and stress responses: What commonalities appear between species across biological organization levels? / C. Sulmon, J. Baaren, F. Cabello-Hurtad [et al.] // *Environmental Pollution*. 2015. Vol. 202. P. 66—77. DOI: 10.1016/j.envpol.2015.03.013.
4. Влияние теплового стресса на ассимиляционный аппарат хвои сосны обыкновенной в послепожарных сосняках Южной Сибири / И. Г. Гетте, И. В. Косов, Н. В. Пахарькова [и др.] // *Лесоведение*. 2017. № 6. С. 437—445. DOI: 10.7868/S0024114817060067.
5. *Путенихина К. В., Путенихин В. П.* Продолжительность жизни хвои у кедра сибирского при интродукции в Башкирском Предуралье и на Южном Урале // *Агропромышленный комплекс: состояние, проблемы, перспективы*: Сб. ст. XVII Междунар. научно-практич. конф. Пенза, 2022. С. 158—161.
6. *Doran O., MacLean D. A., Kershaw J. A.* Needle longevity of balsam fir is increased by defoliation by spruce budworm // *Trees-Structure and Function*. 2017. Vol. 31, no. 6. P. 1933—1944. DOI: 10.1007/s00468-017-1597-4.
7. *Феклистов П. А., Соболев А. Н.* Лесные насаждения Соловецкого архипелага (структура, состояние, рост). Архангельск, 2010. 201 с.
8. The effect of within-stand variation in Swiss needle cast intensity on Douglas-fir stand dynamics / J. H. Zhao, D. A. Maguire, D. B. Mainwaring [et al.] // *Forest Ecology and Management*. 2015. Vol. 347. P. 75—82. DOI: 10.1016/j.foreco.2015.03.010.
9. *Кузьмин С. Р., Карнюк Т. В.* Продолжительность жизни хвои у климатипов сосны обыкновенной в географических культурах в Красноярском крае // *Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития: Материалы междунар. научно-практич. конф., посвящённой 70-летию ФГБОУ ВО «Красноярский ГАУ»*. Красноярск, 2022. С. 330—332.
10. *Моллаева М. З.* Морфометрические параметры ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной в горах Центрального Кавказа // *Лесоведение*. 2021. № 4. С. 406—414.
11. Cold adaptation drives variability in needle structure and anatomy in *Pinus sylvestris* L. along a 1,900 km temperate-boreal transect / A. Jankowski, T. P. Wyka, R. Zytkowskiak [et al.] // *Functional Ecology*. 2017. Vol. 201731. P. 2212—2223. DOI: 10.1111/1365-2435.12946.
12. *Gan S., Amasino R. M.* Making sense of senescence: molecular genetic regulation and manipulation of leaf senescence // *Plant Physiol*. 1997. Vol. 113. P. 313—319. DOI: 10.1104/pp.115.1.313.
13. Assessment of *Pinus sylvestris* L. tree health in urban forests at highway sides in Lithuania / V. Stravinskiene, E. Bartkevicius, J. Abraitiene [et al.] // *Global Ecology and Conservation*. 2018. Vol. 16. P. 1—16. DOI: 10.1016/j.gecco.2018.e00517.
14. *Феклистов П. А., Тутьгин Г. С., Дрожжин Д. П.* Состояние сосновых древостоев в условиях аэротехногенного загрязнения атмосферы. Архангельск: АГТУ, 2005. 132 с.
15. *Ярмишко В. Т., Игнатьева О. В., Евдокимов А. С.* Некоторые аспекты мониторинга сосновых лесов в экстремальных условиях Кольского Севера // *Самарский научный вестник*. 2019. Т. 8, № 2 (27). С. 81—86.

References

1. Wortley L., Hero J., Howes M. Evaluating ecological restoration success: a review of the literature. *Restoration Ecology*, 2013, vol. 21, pp. 537—543. doi: 10.1111/rec.12028.

2. Hood S. M., Varner J. M., van Mantgem P., Cansler C. A. Fire and tree death: understanding and improving modeling of fire induced tree mortality. *Environmental Research Letters*, 2018, vol. 13, pp. 113004. doi: 10.1088/1748-9326/aae934.
3. Sulmon C., Baaren J., Cabello-Hurtad F., Gouesbet G. Abiotic stressors and stress responses: What commonalities appear between species across biological organization levels? *Environmental Pollution*, 2015, vol. 202, pp. 66—77. doi: 10.1016/j.envpol.2015.03.013.
4. Goethe I. G., Kosov I. V., Pakharkova N. V., Bezkorovaynaya I. N. The effect of heat stress on the assimilation apparatus of pine needles in the post-fire pine forests of Southern Siberia. *Forest science*, 2017, no. 6, pp. 437—445. doi: 10.7868/S0024114817060067 (In Russ.)
5. Putenikhina K. V., Putenikhin V. P. The life expectancy of needles in Siberian cedar during introduction in the Bashkir Urals and the Southern Urals. *Agro-industrial complex: state, problems, prospects. Collection of articles of the XVII International Scientific and Practical Conference*. Penza, 2022, pp. 158—161. (In Russ.)
6. Doran O., MacLean D. A., Kershaw J. A. Needle longevity of balsam fir is increased by defoliation by spruce budworm. *Trees-Structure and Function*, 2017, vol. 31, no. 6, pp. 1933—1944. doi:10.1007/s00468-017-1597-4.
7. Feklistov P. A., Sobolev A. N. Forest plantations of the Solovetsky archipelago (structure, condition, growth). Arkhangelsk, 2010. 201 p. (In Russ.)
8. Zhao J. H., Maguire D. A., Mainwaring D. B., Kanaskie A. The effect of within-stand variation in Swiss needle cast intensity on Douglas-fir stand dynamics. *Forest Ecology and Management*, 2015, vol. 347, pp. 75—82. doi: 10.1016/j.foreco.2015.03.010.
9. Kuzmin S. R., Karpyuk T. V. The pine needle longevity in the climatypes of the common pine in geographical cultures in the Krasnoyarsk Territory. *Science and Education: experience, problems, development prospects. Materials of the international scientific and practical conference dedicated to the 70th anniversary of the Krasnoyarsk State Agrarian University*. Krasnoyarsk, 2022, pp. 330—332. (In Russ.)
10. Mollaeva M. Z. Morphometric parameters of the assimilation apparatus of scots pine in the mountains of the Central Caucasus. *Forest science*, 2021, no. 4, pp. 406—414. (In Russ.)
11. Jankowski A., Wyka T. P., Zytkowski R., Nihlgård B., Reich P. B., Oleksyn J. Cold adaptation drives variability in needle structure and anatomy in *Pinus sylvestris* L. along a 1,900 km temperate-boreal transect. *Functional Ecology*, 2017, vol. 201731, pp. 2212—2223. doi: 10.1111/1365-2435.12946.
12. Gan S., Amasino R. M. Making sense of senescence: molecular genetic regulation and manipulation of leaf senescence. *Plant Physiol*, 1997, vol. 113, pp. 313—319. doi: 10.1104/pp.115.1.313.
13. Stravinskiene V., Bartkevicius E., Abraitienė J., Dautarte A. Assessment of *Pinus sylvestris* L. tree health in urban forests at highway sides in Lithuania. *Global Ecology and Conservation*, 2018, vol. 16, pp. 1—16. doi: 10.1016/j.gecco.2018.e00517.
14. Feklistov P. A., Tutygin G. S., Drozhzhin D. P. The state of pine stands in conditions of aerotechnogenic atmospheric pollution. Arkhangelsk, ASTU, 2005. 132 p. (In Russ.)
15. Yarmishko V. T., Ignatieva O. V., Evdokimov A. S. Some aspects of monitoring pine forests in extreme conditions of the Kola North. *Samara Scientific Bulletin*, 2019, vol. 8, no. 2 (27), pp. 81—86. (In Russ.)