

СТРОЕНИЕ СОСНОВЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ В МОСКОВСКОМ РЕГИОНЕ ПОД ВЛИЯНИЕМ КЛИМАТИЧЕСКИХ ТРАНСФОРМАЦИЙ

Д. В. Лежнев

Институт лесоведения РАН

В статье изложены результаты исследования строения сосновых фитоценозов в условиях изменения климата. Изучение строения сосновых сообществ имеет важное значение для понимания различных эколого-биологических аспектов их формирования. При решении задач многоцелевого использования лесных экосистем необходима тщательная оценка строения древостоев. В условиях климатической трансформации актуальным становится изучение строения древостоев, так как оно характеризует жизненное состояние насаждений и по нему можно выявить протекающие сукцессии в фитоценозе. Целью исследования стало изучение закономерностей строения сосновых древостоев для определения тенденций развития экосистем под влиянием климатических трансформаций. Объектом исследования послужили 28 постоянных пробных площадей в сосновых лесах разного класса возраста, расположенных на территории г. Москвы и Московской области. Рассчитанные коэффициенты вариации находятся в диапазоне от 15,5 до 31,4 %, что характеризует изменчивость диаметров деревьев как среднюю. На исследуемых пробных площадях под действием факторов внешней среды происходит изменение рядов распределения в сторону асимметричных и эксцессивных кривых. На примере отдельных пробных площадей рассмотрено распределение деревьев по ступеням толщины. Строение сосновых древостоев носит ярко выраженное многовершинное распределение, которое обусловлено наличием различных пород разного возраста, составляющих древостой. Отмечена тенденция по закономерному изреживанию сосны с увеличением её возраста. По результатам исследования обоснован вывод, что сосновые насаждения в условиях Московского региона отличаются достаточно высокой долговечностью. Сосновые фитоценозы в данных условиях способны сохранять устойчивость в возрасте более 180 лет.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, структура, фитоценоз, лесные экосистемы, пробная площадь, изменение климата, Московский регион

THE STRUCTURE OF PINE PHYTOCOENOSIS IN THE MOSCOW REGION UNDER CLIMATIC IMPACT

D. V. Lezhnev

Institute of Forest Science RAS

The article presents the results of a study of the structure of pine phytocenoses in the conditions of climate change. The study of the structure of the pine stands is important for understanding various ecological and biological aspects of their formation. When solving the problems of multi-purpose use of forest ecosystems, a thorough assessment of the structure of stands is necessary. In the conditions of climatic impact, the study of the structure of stands becomes relevant, since it characterizes the vital state of stands and it is possible to identify the ongoing successions in the phytocenosis. The purpose of the study was to study the regularities of the structure of pine stands to determine the trends of ecosystem development under the influence of climatic transformation. The object of the study was 28 permanent observation plots in pine forests of different age classes located on the territory of Moscow and the Moscow region. The calculated coefficients of variation range from 15.5% to 31.4%, which characterizes the variability of tree diameters as average. On the permanent observation plots under study, under the influence of environmental factors, the distribution series change towards asymmetric and excessive curves. The distribution of trees by

thickness steps is considered on the example of individual permanent observation plots. The structure of pine stands has a pronounced multi-vertex distribution, which is due to the presence of different breeds of different ages that make up the stand. There is a tendency for the natural thinning of pine with an increase in its age. According to the results of the study, it is noted that pine stands are quite durable in the conditions of the Moscow region. Pine phytocenoses in these conditions are able to maintain stability at the age of more than 180 years.

Keywords: *scots pine, structure, phytocenoses, forest ecosystems, permanent observation plot, climate change, Moscow region*

Введение

Общепринято, что на потепление атмосферы, океана и суши существенное влияние оказывает человек. Антропогенное изменение климата уже влияет на многие погодные и климатические экстремальные явления на Земле. Доказательства происходящих изменений экстремальных явлений, таких как волны тепла, обильные осадки, засухи и тропические циклоны, и, в частности, связь этих изменений с антропогенным фактором, усилились за последнее десятилетие. Более частые и интенсивные экстремальные явления привели к широкомасштабным неблагоприятным воздействиям и ущербу для природы, выходящим за рамки естественной изменчивости климата (Третий оценочный доклад..., 2022; IPCC, 2021).

Современное глобальное потепление, отчетливо выраженное на территории Российской Федерации, имеет ряд важных особенностей. Потепление над сушей в целом происходит быстрее, чем над океаном: темп роста среднегодовой глобальной приповерхностной температуры над сушей более чем в 1,5 раза выше и составляет примерно 0,30 °C за десятилетие. Территория России теплеет еще почти вдвое быстрее, чем суша в целом: 0,49 °C за последние десять лет (Третий оценочный доклад..., 2022).

Прогнозы шестого этапа проекта взаимного сравнения связанных моделей (CMIP6) предполагают, что температура на территории Европы будет продолжать повышаться в течение XXI в. более высокими темпами, чем в среднем на Земле (Larsén et al., 2023, Clayton et al., 2023). На территории Московского региона также наблюдается повышение среднегодовой температуры воздуха, увеличивается вегетационный период, а осадки приобретают ливневый характер (Lebedev, 2022).

Изменение климата как сочетание увеличения температуры приземного слоя воздуха, изменения количества осадков и характера экстремальных явлений оказывает фундаментальное воздействие на лесные экосистемы. Риск неблагоприятных последствий изменения климата увеличивается по мере продолжения тенденции к потеплению (Steffen et al., 2015). Леса реагируют на изменение климата по-разному, в зависимости от локальных условий и адаптивного потенциала деревьев (Jandletal., 2019). Изменение климата может также ускорять сукцессионные процессы, которые приводят к изменению растительных сообществ (Bolte et al., 2014). Изменения климатических условий могут повлиять на режимы нарушений лесных экосистем (Seidl et al., 2017), а также привести к изменению ареалов древесных пород, что скажется на породном составе лесных сообществ (O'Hara, 2016). Вместе с тем изменение климата в значительной степени влияет на естественное возобновление и формирование будущих лесов (Hickler et al., 2012).

Сосновые фитоценозы Московского региона выполняют ряд важных водоохранно-защитных и экосистемных функций. Наблюдается тенденция к увеличению рекреационной нагрузки, оказывающей преимущественно негативное влияние на лесные массивы

Московской агломерации. Лесорастительные условия Московского региона позволяют формировать высокопродуктивные и длительно-производные насаждения сосновых боров.

При решении задач многоцелевого использования лесных экосистем и интенсификации лесного комплекса необходима тщательная оценка строения древостоев, характеризующая число поколений, устойчивость и продуктивность экосистем (Коротков, 2023).

Лесные экосистемы динамичны, их таксационные показатели и средообразующие функции изменяются как в пространстве, так и во времени в зависимости от климата и ряда других внешних факторов. На сегодняшний день лесные биогеоценозы Московской агломерации также подвержены комплексному воздействию факторов извне: изменение климата и антропогенное влияние за счет роста численности населения и, как следствие, увеличение неконтролируемой рекреационной нагрузки.

Деревья в любом одновозрастном насаждении различного происхождения значительно различаются между собой по ряду таксационных показателей: диаметру, высоте, объему ствола и т. д. (Демаков, Нуреева, 2019). Структурное разнообразие древостоев является одним из наиболее интересных явлений, которое изучается лесными экологами (Липаткин, Коротков, 2019; Rjabuchina et al., 2020).

Исследование строения ценопопуляции имеет важное значение для понимания различных эколого-биологических аспектов их формирования. Также стоит отметить, что строение фитоценозов во многом определяет их продуктивность и устойчивость (Лебков, 1989; Осипов и др., 2018; Del Río et al., 2016).

Таким образом, в условиях климатической трансформации актуальным становится изучение строения древостоев, так как оно характеризует жизненное состояние насаждений и по нему можно выявить протекающие сукцессии в фитоценозе.

Цель исследования – изучение закономерностей строения сосновых древостоев в Московском регионе для определения тенденций развития экосистем под влиянием климатических трансформаций.

Задачи:

- изучить строение сосновых древостоев;
- проанализировать распределение деревьев по ступеням толщины;
- оценить тенденции смены пород в сосновых фитоценозах.

Материалы и методика исследований

Объекты исследования – 28 постоянных пробных площадей (ППП) сосновых насаждений разного класса возраста, расположенных на территории Москвы и Московской области: Лесной опытной дачи Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева (16 ППП), Национального парка «Лосиный остров» (6 ППП), Серебряноборского опытного лесничества Института лесоведения РАН (6 ППП) (рис. 1).

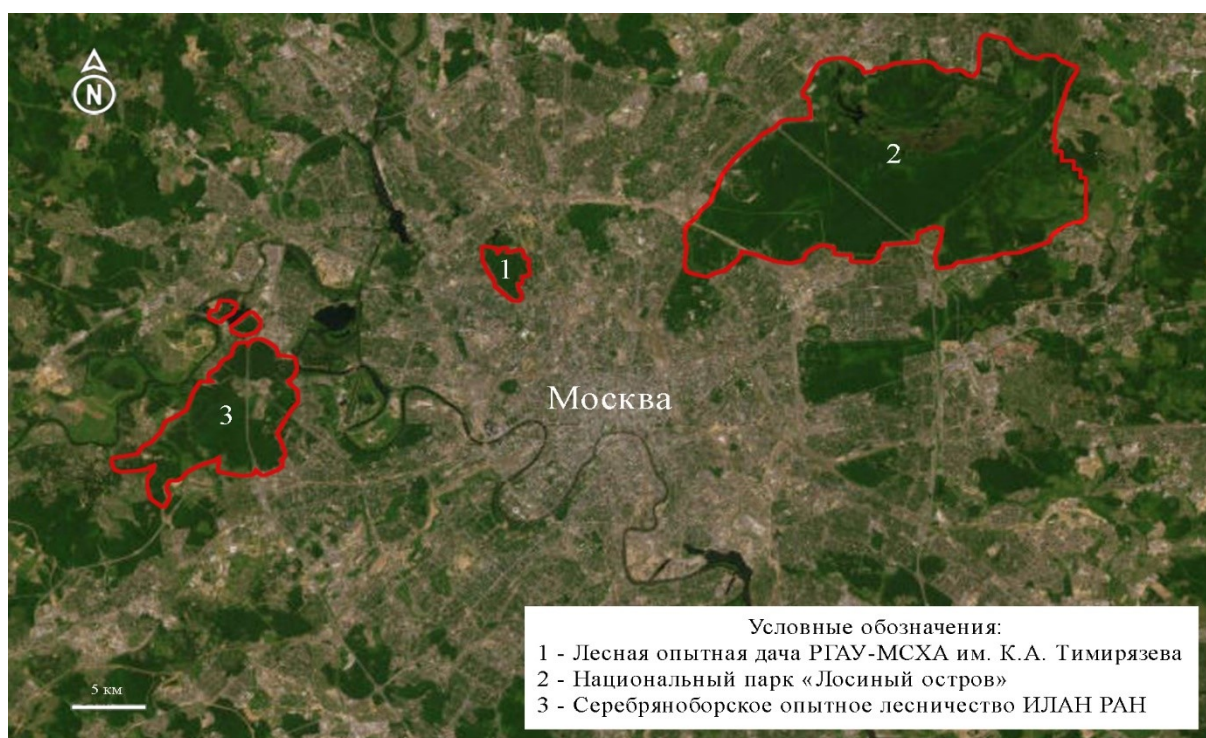


Рис.1. Карта-схема расположения объектов исследования

На постоянных пробных площадях проводились следующие виды полевых работ: измерение диаметров стволов деревьев с толщиной 6 см и более на высоте 1,3 м, измерение высоты у 15-25 модельных деревьев высотомером *Haglof Vertex IV*, оценка жизненного состояния деревьев и распределение их по категориям санитарного состояния. Для древостоев определены состав, бонитет, запас и относительная полнота, а также средние значения по диаметру и высоте. Тип лесорастительных условий – свежие субори, тип леса – сосняк сложный, бонитет I – I^a (табл. 1).

Таблица 1. Таксационная характеристика постоянных пробных площадей

№ППП	Площадь, га	Возраст, лет	Породный состав	Полнота, отн.	Запас, м ³ /га
<i>Лесная опытная дача РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева</i>					
4/А	0,1458	132	9С1Б+Лп+Д	1,01	656
4/Б	0,1410	132	9С1Лп	1,02	680
4/В	0,1388	132	9С1Лп+Кло	0,93	609
4/Е	0,1420	132	9С1Лп	1,11	740
4/Д	0,1420	132	10С+Б+Лп	0,92	623
4/Ж	0,0749	133	9С1Лп	0,69	506
4/К	0,0627	132	7С3Лп	0,81	524
4/Л	0,0767	133	8С2Лп	0,72	439
4/М	0,0903	133	9С1Лп	0,94	622
4/Н	0,0831	133	10С	0,69	459
4/О	0,0741	133	10С+Е	1,13	753
4/Р	0,0915	132	7С2Лп1Е+Д	0,90	563
4/С	0,0751	134	10С+Лп+Е	0,93	589
4/Т	0,0749	134	6С2Е2Лп	1,00	645
4/У	0,0636	134	7С2Лп1Е	0,97	607
4/Ф	0,0576	133	9С1Е	0,72	456
<i>Национальный парк «Лосиный остров»</i>					
3	0,25	72	10С+Б	0,83	500
5	0,25	77	9С1Б+Лп	0,76	470
11	0,25	87	10С+Б	0,82	616

№ППП	Площадь, га	Возраст, лет	Породный состав	Полнота, отн.	Запас, м³/га
14	0,25	87	6С4Б+Лп	0,47	261
35	0,25	153	7С2Б1Е	1,09	722
38	0,40	163	6С3Е1Б	0,66	635
<i>Серебряноборское опытное лесничество Института лесоведения РАН</i>					
ОМ-1	0,70	143	10С+Б	0,76	475
1	0,50	186	9С1Лп+Б	0,88	528
2	0,25	150	9С1Б	0,59	334
5	0,25	149	9С1Б+Д	0,94	317
6	0,25	149	9С1Б+Д, Лп	0,70	362
115	0,28	93	8С2Б	0,86	519

Примечание: С – сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), Е – ель европейская (*Picea abies* (L.) Н. Karst.), Б – береза повислая (*Betula pendula* Roth.), Лп – липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.), Кло – клен остролистный (*Acer platanoides* L.), Д – дуб черешчатый (*Quercus robur* L.)

Результаты

Для характеристики структуры ценопопуляций используют методы, которые основаны на расчете центральных моментов распределения деревьев по диаметру ствола (Лежнев, Лебедев, 2023). Описательные статистики рядов распределения деревьев сосны по толщине на постоянных пробных площадях приведены в таблице 2. Рассчитанные коэффициенты вариации находятся в диапазоне от 15,5 до 31,4 %, что характеризует изменчивость диаметров деревьев как среднюю. На всех исследуемых постоянных пробных площадях форма распределения существенно отличается от симметричной относительно среднего значения кривой нормального распределения, которая имеет нулевые значения коэффициентов *CV* и *Ex*. В спелых древостоях, не подверженных антропогенному воздействию, распределение числа деревьев по диаметрам приближается по форме к нормальной кривой, а в дальнейшем движется в сторону положительно скошенных кривых (Гавриков, 2016; Лебедев, 2022). Следовательно, на исследуемых пробных площадях под действием факторов внешней среды происходит изменение рядов распределения в сторону асимметричных и эксцессивных кривых.

Таблица 2. Описательные статистики рядов распределения деревьев сосны по толщине

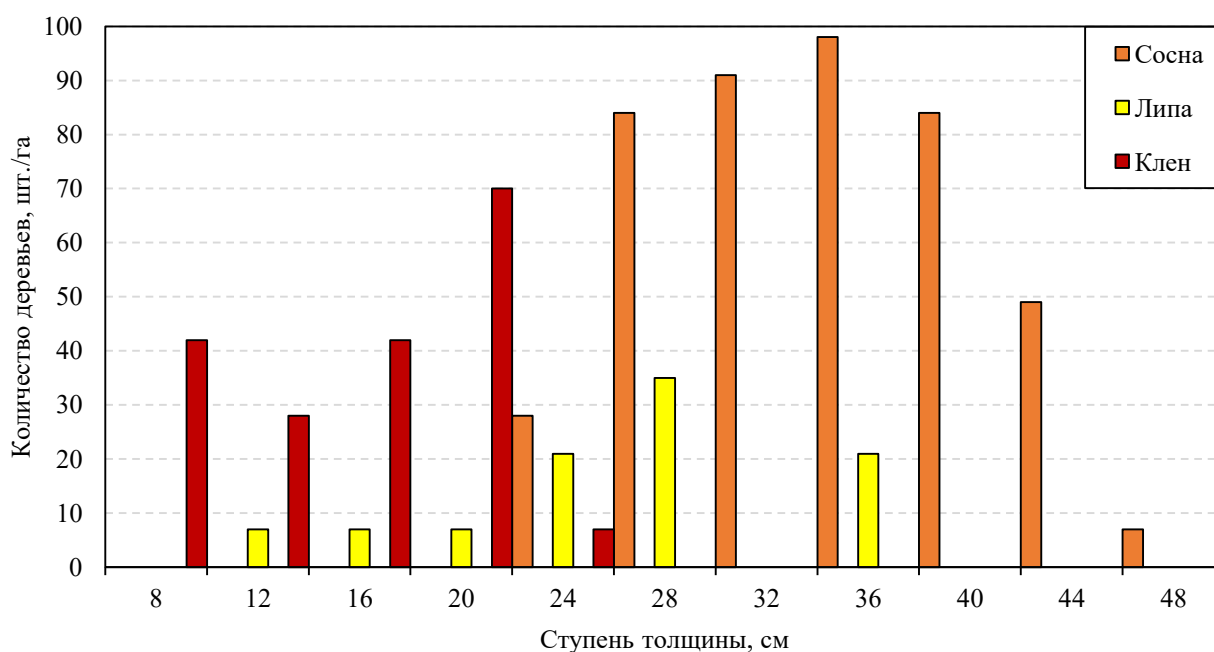
№ ППП	<i>mean</i>	<i>qmean</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>sd</i>	<i>As</i>	<i>Ex</i>	<i>CV</i>	<i>n</i>
<i>Лесная опытная дача РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева</i>									
4/А	33,8	34,7	16,7	56,0	7,7	0,23	0,20	22,9	62
4/Б	33,9	34,6	15,9	46,6	6,9	–0,32	–0,32	20,3	67
4/В	32,4	33,0	19,4	45,5	6,5	0,07	–0,86	20,0	58
4/Е	35,5	36,3	11,3	47,8	7,6	–0,70	0,17	21,4	67
4/Д	30,1	31,1	12,1	50,3	7,8	0,25	–0,17	26,0	79
4/Ж	36,4	37,3	18,1	49,0	8,3	–0,35	–0,03	22,8	20
4/К	30,3	30,7	21,5	38,3	4,7	–0,28	–0,55	15,5	24
4/Л	32,8	33,3	22,8	45,0	6,0	0,38	–0,76	18,2	22
4/М	32,2	32,7	22,3	48,1	5,5	0,86	1,65	17,0	26
4/Н	34,2	35,5	8,6	48,7	9,7	–0,60	0,37	28,3	28
4/О	38,0	38,7	20,2	50,6	7,1	–0,44	0,32	18,7	32
4/Р	31,4	32,3	20,7	56,1	7,4	1,15	2,21	23,7	35
4/С	34,8	35,4	18,3	47,2	6,8	–0,16	0,19	19,4	24
4/Т	38,4	39,6	22,5	56,1	9,6	0,28	–0,14	25,1	17
4/У	37,3	37,9	23,4	51,7	6,6	0,16	0,68	17,6	18
4/Ф	35,5	36,5	22,0	49,5	8,5	0,29	–1,23	24,1	17
<i>Национальный парк «Лосиный остров»</i>									
3	31,0	31,7	17,0	49,9	6,8	0,41	0,02	21,8	126
5	21,8	22,8	18,3	48,2	6,8	0,21	–0,57	31,4	100
11	24,8	25,7	15,4	54,4	6,6	0,07	0,27	26,6	120

№ ППП	<i>mean</i>	<i>qmean</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>sd</i>	<i>As</i>	<i>Ex</i>	<i>CV</i>	<i>n</i>
14	34,1	34,8	14,2	44,1	7,1	-0,73	0,11	20,8	38
35	43,0	43,8	30,1	68,2	8,2	0,13	0,27	19,1	44
38	58,5	59,2	28,0	76,4	9,3	0,01	1,31	15,8	38
<i>Серебряноборское опытное лесничество Института лесоведения РАН</i>									
ОМ-1	47,4	48,5	28,6	82,1	10,1	0,53	0,15	21,3	115
1	52,8	54,1	31,5	113,0	11,7	1,33	6,05	22,2	68
2	43,3	44,5	9,9	64,3	10,4	-1,61	4,05	23,9	41
5	52,5	53,7	10,5	68,1	11,0	-0,82	2,31	21,0	49
6	46,2	47,3	34,4	73,8	9,9	0,37	0,34	21,5	25
115	34,1	35,3	22,3	83,1	9,4	1,47	5,89	27,6	66

Условные обозначения: *mean* — средняя арифметическая, *qmean* — средняя квадратическая, *min* — минимальное значение, *max* — максимальное значение, *sd* — среднеквадратическое отклонение, *As* — коэффициент асимметрии, *Ex* — коэффициент эксцесса, *CV* — коэффициент вариации, %, *n* — количество наблюдений.

Классическим способом характеристики строения насаждений по диаметру является распределение деревьев по ступеням толщины. По мере увеличения возраста насаждений ряды распределения деревьев по диаметру, как правило, растягиваются. Двухвершинный график возникает в случае разделения насаждения на первый и второй ярусы, например, после внедрения подроста под полог леса и его выхода во второй ярус. Также важно отметить, что в смешанных насаждениях, состоящих из светолюбивых и теневыносливых древесных пород, распределение по ступеням толщины тоже характеризуется двух- или многовершинными кривыми (Киселева и др., 2012).

На каждом из трех объектов исследования были подобраны участки спелых и перестойных сосняков для анализа распределения древостоев по четырехсантиметровым ступеням толщины: в Лесной опытной даче – ППП 4/Б (132 года); Лосином острове – ППП-35 (153 года); Серебряноборском лесничестве – ППП-5 (149 лет) (рис. 2–4).



**Рис.2. Распределение деревьев по ступеням толщины на ППП-4/Б
В Лесной опытной даче РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева**

В Лесной опытной даче прослеживается активное внедрение липы, клена и вяза в древостой на десяти ППП: 4/А, 4/Б, 4/В, 4/Е, 4/Д, 4/Ж, 4/К, 4/Л, 4/М, 4/О, что обусловлено

неморализацией, это подтверждается и исследованиями других авторов (Дубенок и др., 2020).

На остальных ППП: 4/Н, 4/Р, 4/С, 4/Т, 4/У, 4/Ф наблюдается процесс преобразования соснового древостоя в еловый с долевым участием лиственных пород (вяз и липа). Выявлено, что при увеличении запаса сосны в первом ярусе снижается запас остальных древесных пород. При образовании в сосновом пологе просветов их стремятся занять широколиственные породы (клен, дуб и вяз) и липа.

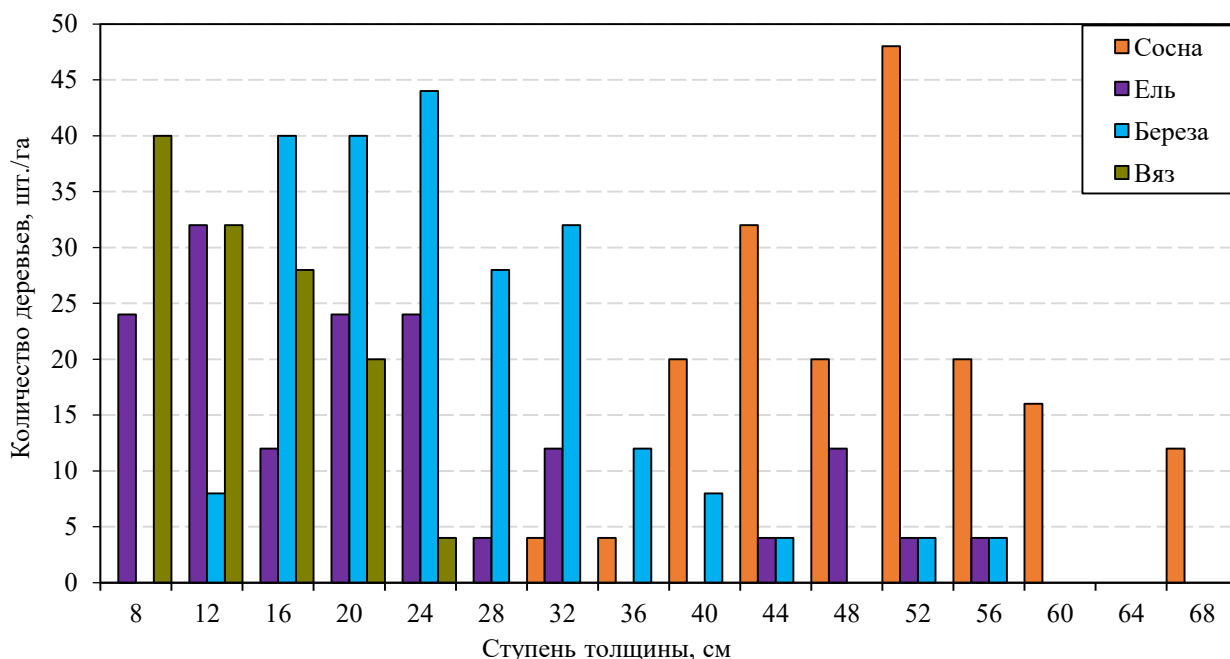


Рис.3. Распределение деревьев по ступеням толщины на ППП-35 в национальном парке «Лосиный остров»

На исследуемых участках национального парка «Лосиный остров» во втором ярусе полностью отсутствует сосна, что также свидетельствует о тенденции преобразования сосновых фитоценозов в лиственные и еловые. Видовое разнообразие второго яруса в сложных сосняках Лосинового острова насчитывает восемь пород (липа, ель, клен, вяз, береза, ясень, дуб и липовица). Сосна на Мытищинской водно-ледниковой равнине (ППП-35 и ППП-38) сменяется елью с примесью березы и вяза.

В пределах ППП-3 и ППП-5 под пологом сосняков активно формируется второй ярус из липы с примесью дуба, что также подтверждается ранее проведенными исследованиями (Kiseleva et al., 2020; Коротков и др., 2021; Лежнев и др., 2022а). Таким образом, в настоящий момент на территории Лосиноостровской водно-ледниковой равнины отмечается преобразование сложных сосняков в липняки, иногда с единичным участием ели и дуба в составе.

Сосновая часть древостоев разрушается, и в последующем место сосны, вероятнее всего, займёт порода, уже сформировавшая второй полог. Таким образом, можно сделать вывод о том, что происходит сукцессионная смена сосновых насаждений на лиственные и еловые.

В Серебряноборском лесничестве ИЛАН РАН изучение структуры соснового древостоя показало, что липа, которая при предыдущем переците находилась в подросте, а также в третьем ярусе, начала выходить во второй ярус, а на ППП-1 – даже в первый. Нахождение

экземпляров липы во всех ярусах говорит об устойчивости популяции в данных условиях (Коротков и др., 2020; Лежнев и др., 2022б).

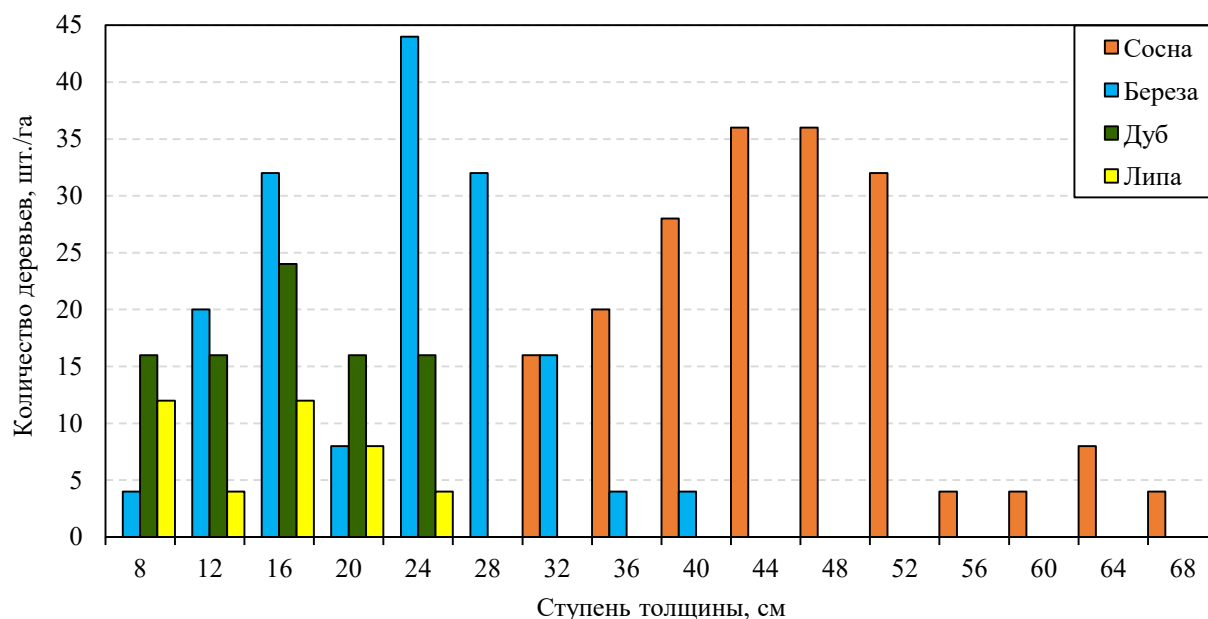


Рис.4. Распределение деревьев по ступеням толщины на ППП-5 в Серебряноборском опытном лесничестве Института лесоведения РАН

Изменение таксационных показателей липы, прежде всего увеличение высоты, указывает на благоприятные условия для ее развития под пологом древостоя. С возрастом происходит закономерный отпад сосны. При этом лиственные породы, успешно произрастающие под пологом соснового древостоя, при развитии биогеоценоза без катастроф со временем заменяют сосну.

Наличие в составе второго яруса светолюбивой берёзы и умеренно-теневыносливого дуба свидетельствует о благоприятных условиях роста под пологом соснового древостоя не только для теневыносливой липы. Исследования в Серебряноборском лесничестве Института лесоведения РАН показали тенденцию к закономерному изреживанию сосны с увеличением её возраста.

Выводы

1. В настоящее время для сосновых сообществ Московского региона характерны процессы неморализации, что также связано с трансформацией климата. В результате во многих случаях наблюдается замена главной породы, прежде всего теневыносливыми породами: липой и кленом. Данная смена пород совершенно закономерна, так как сосна является светолюбивой породой.
2. Строение сосновых древостоев носит ярко выраженное многовершинное распределение, которое обусловлено наличием разных пород различного возраста, составляющих древостой.
3. На всех объектах исследования сформирован второй ярус из широколиственных пород, а на ППП-35 и ППП-38 – елово-широколиственный ярус.
4. По результатам исследования отмечается, что сосновые насаждения в условиях Московского региона отличаются достаточно высокой долговечностью. Они способны

сохранять устойчивость в возрасте более 180 лет (ППП-1). Таким образом, сосновые насаждения в сложных типах леса являются одними из наиболее предпочтительных вариантов формируемых насаждений.

Библиографический список

1. Гавриков В. Л. Моделирование роста деревьев и древостоев в контексте углеродного цикла : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Якутск, 2016. 39 с.
2. Демаков Ю. П., Нуреева Т. В. Закономерности изменения рангового положения деревьев по их размерам в ценопопуляциях сосны обыкновенной // Лесоведение. 2019. № 4. С. 274—285. DOI: 10.1134/S0024114819030021.
3. Дубенок Н. Н., Кузьмичев В.В., Лебедев А.В. Результаты экспериментальных работ за 150 лет в Лесной опытной даче Тимирязевской сельскохозяйственной академии – Москва: Наука, 2020. 382 с. ISBN 978-5-02-040248-5.
4. Киселева В. В., Коротков С. А., Истомин Н. А., Стоноженко Л. В. К структуре ценопопуляций ели на пробных площадях в Национальном парке «Лосиный остров» // Вестник Московского государственного университета леса = Лесной вестник. 2012. № 4. С. 23-31.
5. Коротков С. А., Глазунов Ю.Б., Барсуков Л.Е. Историческая динамика и тенденции формирования лесов национального парка «Лосиный остров» // Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2021. Т. 25, № 3. С. 5-13. DOI 10.18698/2542-1468-2021-3-5-13.
6. Коротков С. А. Смена состава древостоев и устойчивость защитных лесов центральной части Русской равнины – Москва: ДОБЛЕСТЬ ЭПОХ, 2023. 168 с. ISBN 978-5-6041265-2-3.
7. Коротков С.А., Глазунов Ю.Б., Чистяков А.Л., Куликова Д.Д. Тенденции динамики сосновых лесов в условиях ближнего Подмосковья // Научные основы устойчивого управления лесами: материалы IV Всероссийской научной конференции с международным участием, Москва, 27–30 октября 2020 года. Москва: Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, 2020. С. 62-64.
8. Лебедев А. В. Обобщенная модель распределения диаметров деревьев в сосновых древостоях // Лесной вестник = Forestry Bulletin. 2022. Т. 26, № 4. С. 53—62. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-53-62.
9. Лебков В. Ф. Типы строения древостоев // Лесоведение. 1989. № 4. С. 12-20.
10. Лежнев, Д. В., Меньяева В.А., Кривошапов Н.Ф. Структура сосняков сложных национального парка «Лосиный остров» // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы XX Международной научно-технической конференции, Вологда, 06 декабря 2022 года / Отв. ред. Е.А. Иванищева. Вологда: Вологодский государственный университет, 2022. С. 152-158.
11. Лежнев Д. В., Лебедев А.В. Трансформация структуры сосновых формаций в урбанизированных экосистемах Москвы // Вестник Оренбургского государственного педагогического университета. Электронный научный журнал. 2023. № 2(46). С. 74-88. DOI 10.32516/2303-9922.2023.46.5.
12. Лежнев Д.В., Дубей Д., Глазунов Ю.Б., Коротков С.А. Динамика сосновых лесов в Серебряноборском участком лесничестве Московской области // Вопросы геологии и комплексного изучения экосистем Восточной Азии: сборник докладов. Благовещенск, 04–07 октября 2022 года. Благовещенск: ИГиП ДВО РАН, 2022. С. 217-219.
13. Липаткин, В. А., Коротков С.А. Структурные изменения лесов ближнего Подмосковья в условиях урбанизации // Повышение эффективности лесного комплекса : материалы Пятой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием, Петрозаводск, 22 мая 2019 года. Петрозаводск: Петрозаводский государственный университет, 2019. С. 61-62.
14. Осипов А. Ф., Кутявин И. Н., Торлопова Н. В., Робакидзе Е. А., Бобкова К. С. Строение древостоев среднетаежных сосняков лишайниковых на европейском северо-востоке России // Вестник Института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. 2018. № 4 (206). С. 2-9. DOI: 10.31140/j.vestnikib.2018.4(206).1.
15. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. Санкт-Петербург: Научные технологии, 2022. 124 с.
16. Bolte A. et al. Understory dynamics after disturbance accelerate succession from spruce to beech-dominated forest—the Siggaboda case study // Annals of forest science. 2014. Vol. 71, No. 2. Pp. 139-147.
17. Clayton C. J. et al. High Resolution Simulations of European Air Quality in 2050 Following Different CMIP6 Climate Change Mitigation Pathways. Copernicus Meetings, 2023. No. EGU23-4217.
18. Del Rio M., Pretzsch H., Alberdi I., Bielak B., Bravo F., Brunner A. et al. Characterization of the Structure, Dynamics, and Productivity of Mixed-Species Stands: Review and Perspectives // European Journal of Forest Research. 2016. Vol. 135, No. 1. P. 23-49. DOI: 10.1007/s10342-015-0927-6.

19. Hickler T. et al. Projecting the future distribution of European potential natural vegetation zones with a generalized, tree species-based dynamic vegetation model // *Global Ecology and Biogeography*. 2012. Vol. 21, No. 1. Pp. 50-63.
20. IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. In Press.
21. Jandl R. et al. Forest adaptation to climate change—is non-management an option? // *Annals of forest science*. 2019. Vol. 76, No. 2. Pp. 1-13.
22. Kiseleva, V. Stonozhenko L., Korotkov S. The dynamics of forest species composition in the Eastern Moscow Region // *Folia Forestalia Polonica, Series A*. 2020. Vol. 62, No. 2. Pp. 53-67. DOI 10.2478/ffp-2020-0007.
23. Larsén X. G. et al. The Impact of Climate Change on Extreme Winds over Northern Europe According to CMIP6 // *Wind Energy Science Discussions*. 2023. Pp. 1-25.
24. Lebedev A. V. Changes in the growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in an urban environment in European Russia since 1862 // *Journal of Forestry Research*. 2022. DOI: 10.1007/s11676-022-01569-z.
25. O'Hara K. L. What is close-to-nature silviculture in a changing world? // *Forestry: An International Journal of Forest Research*. 2016. Vol. 89, No. 1. Pp. 1-6.
26. Rjabuchina M. V., Ryabinina Z. N., Kalyakina R. G., Gerasimenko V. V., Maiski R. A. Some structural patterns of the stand of Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) in the conditions of Zavolzhsy — Obshchy Syrt province // *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing, 2020. Vol. 1655. Art. 012026. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1655/1/012026/pdf>. DOI: 10.1088/1742-6596/1655/1/012026.
27. Seidl R. et al. Forest disturbances under climate change // *Nature climate change*. – 2017. – Vol. 7. – No. 6. – pp. 395-402.
28. Steffen W. et al. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet // *Science*. 2015. Vol. 347, No. 6223. Pp. 1259855.

References

1. Gavrikov V. L. Modelirovanie rosta derev'ev i drevostoev v kontekste uglerodnogo tsikla (Modeling the growth of trees and stands in the context of the carbon cycle): Synopsis of Dr. bio. sci. thesis. Yakutsk, 2016. 39 p.
2. Demakov Yu. P., Nureeva T. V. Zakonomernosti izmeneniya rangovogo polozheniya derev'ev po ikh razmeram v tsenopopulyatsiyakh sosny obyknovЕННОй (Regularities of changes in the rank position of trees by their size in the cenopopulations of Scots pine). *Forest science*. 2019. No. 4. Pp. 274-285. DOI: 10.1134/S0024114819030021.
3. Dubenok N. N., Kuzmichev V.V., Lebedev A.V. Rezul'taty eksperimental'nykh rabot za 150 let v Lesnoi opytnoi dache Timiryazevskoi sel'skokhozyaistvennoi akademii (Results of experimental work for 150 years in the Forest experimental dacha of the Timiryazev Agricultural Academy). Moscow: Nauka, 2020. 382 p. ISBN 978-5-02-040248-5.
4. Kiseleva V. V., Korotkov S. A., Istomin N. A., Stonozhenko L. V. K strukture tsenopopulyatsii eli na probnykh ploshchadyakh v Natsional'nom parke «Losinyi ostrov» (On the structure of spruce coenopopulations on trial areas in the Losiny Ostrov National Park). *Bulletin of the Moscow State University of Forests = Forest Bulletin*. 2012. No. 4. Pp. 23-31.
5. Korotkov S. A., Glazunov Yu. B., Barsukov L. E. Istoricheskaya dinamika i tendentsii formirovaniya lesov natsional'nogo parka "Losinyi ostrov" (Historical dynamics and trends in the formation of forests of the National Park "Losiny Ostrov"). *Forest Bulletin. Forestry Bulletin*. 2021. Vol. 25, No. 3. Pp. 5-13. DOI 10.18698/2542-1468-2021-3-5-13.
6. Korotkov S. A. Smena sostava drevostoev i ustoichivost' zashchitnykh lesov tsentral'noi chasti Russkoi ravniny (Change of the composition of stands and the stability of protective forests of the central part of the Russian plain) – Moscow: VALOR of EPOCHS, 2023. 168 p. ISBN 978-5-6041265-2-3.
7. Korotkov S.A., Glazunov Yu.B., Chistyakov A.L., Kulikova D.D. Tendentsii dinamiki sosnovykh lesov v usloviyakh blizhnego Podmoskov'ya (Trends in the dynamics of pine forests in the conditions of the near Moscow region). *Nauchnye osnovy ustoichivogo upravleniya lesami*: Proc. 4th All-Russian Conference with international participation, Moscow, October 27-30, 2020. Moscow: Center for Ecology and Forest Productivity of the Russian Academy of Sciences, 2020. Pp. 62-64.
8. Lebedev A.V. Obobshchennaya model' raspredeleniya diametrov derev'ev v sosnovykh drevostoyakh (Generalized model of tree diameter distribution in pine stands). *Forest Bulletin = Forestry Bulletin*. 2022. Vol. 26, No. 4. Pp. 53-62. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-53-62.
9. Lebkov V. F. Tipy stroeniya drevostoev (Types of structure of stands). *Forest science*. 1989. No. 4. Pp. 12-20.

10. Lezhnev, D. V., Menyayeva V.A., Krivoshepov N.F. Struktura sosnyakov slozhnykh natsional'nogo parka «Losinyi ostrov» (The structure of the pine forests of the complex National Park "Losiny Ostrov"). *Actual problems of the development of the forest complex: Proc. 20th International Scientific and Technical Conference, Vologda, December 06, 2022 / Resp. editor E.A. Ivanisheva.* – Vologda: Vologda State University, 2022. Pp. 152-158.
11. Lezhnev D. V., Lebedev A.V. Transformatsiya struktury sosnovykh formatsii v urbanizirovannykh ekosistemakh Moskvy (Transformation of the structure of pine formations in urbanized ecosystems of Moscow). *Bulletin of the Orenburg State Pedagogical University. Electronic scientific journal.* 2023. No. 2(46). Pp. 74-88. DOI 10.32516/2303-9922.2023.46.5.
12. Lezhnev D.V., Dubey D., Glazunov Yu.B., Korotkov S.A. Dinamika sosnovykh lesov v Serebryanoborskom uchastkovom lesnichestve Moskovskoi oblasti (Dynamics of pine forests in the Serebryanoborsky district forestry of the Moscow region). *Issues of geology and integrated study of ecosystems of East Asia: Collection of reports, electronic edition, Blagoveshchensk, 04-07 October 2022.* Blagoveshchensk: IGIP FEB RAS, 2022. Pp. 217-219.
13. Lipatkin V. A., Korotkov S.A. Strukturnye izmeneniya lesov blizhnego Podmoskov'ya v usloviyakh urbanizatsii (Structural changes in the forests of the near Moscow region in the conditions of urbanization). *Improving the efficiency of the forest complex: Proc. 5th All-Russian Conference with international participation, Petrozavodsk, May 22, 2019.* Petrozavodsk: Petrozavodsk State University, 2019. Pp. 61-62.
14. Osipov A. F., Kutyavin I. N., Torlopova N. V., Robakidze E. A., Bobkova K. S. Stroenie drevostoev srednetaezhnykh sosnyakov lishainikovykh na evropeiskom severo-vostoke Rossii (The structure of stands of Middle taiga lichen pine forests in the European northeast of Russia). *Bulletin of the Institute of Biology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences.* 2018. No. 4 (206). Pp. 2-9. DOI: 10.31140/j.vestnikib.2018.4(206).1.
15. Tretii otsenochnyi doklad ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiiskoi Federatsii (Third assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation). General summary. St. Petersburg: High technologies, 2022. 124 p.
16. Bolte A. et al. Understory dynamics after disturbance accelerate succession from spruce to beech-dominated forest – the Siggaboda case study. *Annals of forest science.* 2014. Vol. 71, No. 2. Pp. 139-147.
17. Clayton C. J. et al. High Resolution Simulations of European Air Quality in 2050 Following Different CMIP6 Climate Change Mitigation Pathways. *Copernicus Meetings.* 2023. No. EGU23-4217.
18. Del Río M., Pretzsch H., Alberdi I., Bielak B., Bravo F., Brunner A. et al. Characterization of the Structure, Dynamics, and Productivity of Mixed-Species Stands: Review and Perspectives. *European Journal of Forest Research.* 2016. Vol. 135, No. 1. Pp. 23-49. DOI: 10.1007/s10342-015-0927-6.
19. Hickler T. et al. Projecting the future distribution of European potential natural vegetation zones with a generalized, tree species-based dynamic vegetation model. *Global Ecology and Biogeography.* 2012. Vol 21, No. 1. Pp. 50-63.
20. IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. In Press.
21. Jandl R. et al. Forest adaptation to climate change—is non-management an option? *Annals of forest science.* 2019. Vol. 76, No. 2. Pp. 1-13.
22. Kiseleva V. Stonozhenko L., Korotkov S. The dynamics of forest species composition in the Eastern Moscow Region. *Folia Forestalia Polonica, Series A.* 2020, Vol. 62, No. 2. Pp. 53-67. DOI 10.2478/ffp-2020-0007.
23. Larsén X. G. et al. The Impact of Climate Change on Extreme Winds over Northern Europe According to CMIP6. *Wind Energy Science Discussions.* 2023. Pp. 1-25.
24. Lebedev A. V. Changes in the growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in an urban environment in European Russia since 1862. *Journal of Forestry Research.* 2022. DOI: 10.1007/s11676-022-01569-z.
25. O'Hara K. L. What is close-to-nature silviculture in a changing world? *Forestry: An International Journal of Forest Research.* 2016. Vol. 89, No. 1. Pp. 1-6.
26. Rjabuchina M. V., Ryabinina Z. N., Kalyakina R. G., Gerasimenko V. V., Maiski R. A. Some structural patterns of the stand of Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) in the conditions of Zavolzhsky — Obshchy Syrt province. *Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing.* 2020. Vol. 1655. Art. 012026. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1655/1/012026/pdf>. DOI: 10.1088/1742-6596/1655/1/012026.
27. Seidl R. et al. Forest disturbances under climate change. *Nature climate change.* 2017. Vol. 7, No. 6. Pp. 395-402.
28. Steffen W. et al. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science.* 2015. Vol. 347, No. 6223. Pp. 1259855.