

УДК 574.47

СТРУКТУРА ДРЕВОСТОЕВ СОСНЫ НА КАТЕНЕ ОТ БОРА ДО ОЛИГОТРОФНОГО БОЛОТА

© 2023 г. В. Г. Стороженко^а, *, Т. В. Глухова^а

^аИнститут лесоведения РАН, с. Успенское, Одинцовский р-н, Московская обл., 143030 Россия

*E-mail: lesoved@mail.ru

Поступила в редакцию 30.12.2022 г.

После доработки 18.02.2023 г.

Принята к публикации 30.05.2023 г.

В статье представлены результаты исследований структуры древостоев сосновой катены, заложенной в Западнодвинском лесничестве Тверской обл. (Западнодвинский лесоболотный стационар Института лесоведения РАН, ИЛАН РАН), связывающей биогеоценозы боровой и болотной части олиготрофного болота. Цель исследований — изучить лесоводственные характеристики, морфометрические показатели, происхождение, возрастную структуру, динамические процессы, объемные показатели древостоев сосняков при переходе боровой части катены к олиготрофному верховому болоту. Сосновая катена длиной 110 м и шириной 40 м включает в себя четыре части: верхнюю боровую автономную (ПП 1), склоновую транзитную (ПП 2 и 3) и аккумулятивную (ПП 4) со сменой типов леса от сосняка бруснично-черничного II бонитета до сосняка кустарничково-сфагнового олиготрофного на мощных до 6 м торфах V класса бонитета, подстилаемого озерным сапропелем. Возрастная структура древостоев изменяется от условной одновозрастной восстановительной динамики в боровой части до абсолютно разновозрастной близкой к климаксовой фазе динамики олиготрофного сфагнового болота. Лучшими показателями состояния характеризуется древостой боровой части, худшими — древостой олиготрофного болота. Сосновый биогеоценоз олиготрофного сфагнового болота по динамическим характеристикам близок к устойчивым климаксовым лесным сообществам с максимальным возрастом деревьев первых поколений 240–280 лет. Состояние древостоев по профилю катены изменяется от здорового в боровой части до ослабленного с деградационной динамикой развития в аккумулятивной части сфагнового болота.

Ключевые слова: сосновая катена, олиготрофное болото, торфяная залежь, структура древостоев сосняков.

DOI: 10.31857/S0024114823060098, **EDN:** EKBGWZ

Леса Западнодвинского региона в зональном поле Европейской России относятся к переходной позиции от зоны смешанных лесов к подзоне южной тайги. Территория по своему геологическому положению в раннем голоцене располагалась на границе таяния ледников последнего Валдайского оледенения от 70 до 11 тыс. лет назад (Плейстоценовые ..., 1981; Шварцман, Болотов, 2008). В результате движения и таяния ледника значительная часть материнской породы площади региона сложена песками озерно-аллювиальных отложений. Это же определяет присутствие в регионе большого количества озер и болот различного возраста преимущественно верхового типа, встречаются также болота переходного и евтрофного типа водно-минерального питания. Важнейшим условием их естественного функционирования является присутствие лесной растительности как на расположенных вокруг болот территориях, так и на поверхности самих болот.

Но почти всегда по берегам олиготрофных болот на окружающих их гривах и плакорах, на песчаных и супесчаных отложениях, имеющих в разной степени развитый гумусовый горизонт, произрастают сосновые леса различной производительности в зависимости от типологических условий и лесорастительной зоны. Если структура коренных суходольных сосняков различных типов леса подробно изучена и представлена в многочисленных работах отечественных исследователей (Правдин, 1964; Цветков, Семенов, 1985; Рысин, Савельева 2008; и др.), то структура болотных сосновых лесов, особенно переходных от боровых условий роста к олиготрофному болоту с глубокими торфами и произрастающей на нем сосной обыкновенной (*Pinus silvestris* L.), изучены далеко не полно. Можно отметить фундаментальное исследование болотной сосны В.Н. Сукачёва (1905), работы Prieditis (1993), Солоневича (1963), Комина (1967), Глебова, Торейко (1975), Вомперского,

Иванова (1978), Иванова (1979), Eckstein et al. (2011), Коронатовой (2012), Коронатовой, Миляевой (2014), Кочубей, Санниковой (2015), Головацкой (2017), Александровой и др. (2021) и др. Основательные работы коллектива авторов Лаборатории лесоведения РАН (ныне Институт лесоведения РАН), выполненные на Западновинском лесоболотном стационаре в Тверской обл. В монографии этих авторов, в частности, можно отметить утверждение о том, что болотные сосняки изучаемого региона (Западновинское лесничество Тверской обл.) являются “девственными лесами...”, их изучение позволит дополнить сложившиеся представления о генезисе климаксовых сосновых лесов” (Биогеоэкологическое изучение ..., 1982, стр. 57). Приведенные в настоящей работе материалы на более детальном уровне подтверждают эти выводы. Тем больший интерес представляют исследования структур сосновых лесов при переходе соснового леса боровой условий формирования к разновозрастному эволюционно сформированному сосняку на олиготрофном болоте.

В настоящем сообщении представлены результаты исследований структуры древостоев сосновой катены, связывающей биогеоценоз боровой и болотной части олиготрофного болота, поросшего низкостелатной сосной.

Цель исследований — определить лесоводственные характеристики, происхождение, возрастную структуру, динамические процессы, морфометрические показатели древостоев и почвенные характеристики сосняков на всем протяжении катены от боровой части к олиготрофному верховому болоту.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Сосновая катена длиной 110 м и шириной 40 м расположена в Западновинском лесничестве Тверской обл. (56°08'87" N 32°11'12" E). На ее территории заложены постоянные пробные площади (ПП). Автономная боровая часть катены (ПП 1) занята сосняком бруснично — черничным, как и расположенная за ней склоновая транзитная часть (ПП 2), также представленная сосняком бруснично-черничным на слабоподзолистой иллювиально-железистой песчаной мелкой почве на флювиогляциальных песках. Она переходит в нижнюю транзитную часть катены (ПП 3) кустарничково-сфагнового сосняка IV класса бонитета на торфах мощностью 3—4 м. Аккумулятивная часть катены заканчивается олиготрофным болотом (ПП 4), занятым сосняком кустарничково-сфагновым на мощных до 6 м торфах, подстилаемых озерным сапропелем. Таким образом, можно утверждать, что биогеоценозы первых двух ПП в период формирования рельефа и таяния ледника составляли береговую часть озе-

ра, впоследствии заторфованного и поросшего болотной сосной. Перепад рельефа от боровой к аккумулятивной части катены составляет 3 м (рис. 1).

В биогеоценозах разных частей катены проводилось изучение возрастных структур древостоев с определением динамических показателей по соотношению числа и объемов деревьев в возрастных поколениях возрастных рядов. У всех деревьев производили отбор кернов у шейки корня с определением возраста по годичным кольцам.

Одновременно фиксировалось присутствие гнилевых фаутов деревьев с определением стадии и типа гнилей (коррозионные или деструктивные) для идентификации обнаруженного фаута с возможным видом гриба дереворазрушающего биотрофного комплекса, вызвавшего гниль. Определяли высоты деревьев высотомером ЗМИ ЭБ1. Возрастная структура древостоя разделялась на возрастные поколения (Комин, Семечкин, 1970; Дыренков, 1984; Стороженко, 2007). К одному возрастному поколению относились деревья, различающиеся по возрасту на 2 класса — 40 лет для хвойных пород.

Древостой по высоте разделялся на ярусы (Третьяков и др., 1952). Подсчитывался подрост всех пород с разделением его по высоте через 0.5 м и определением возраста. Все деревья на ПП относились к определенной категории состояния по принятой для таких исследований шкале для оценки в дальнейшем динамики отпада деревьев из состава древостоев: 1 — здоровые; 2 — ослабленные; 3 — сильно ослабленные; 4 — усыхающие; 5 — свежий сухой; 6 — старый сухой (Правила ..., 2013). На участках отмечали стволы древесного отпада (валежа) с определением стадии разложения каждого ствола (Стороженко, 2011). В камеральный период определялись объемные показатели деревьев по таблицам высот и диаметров (Третьяков и др., 1952).

Для характеристики торфяной залежи отбирали почвенные образцы с разных горизонтов с помощью торфяного бура ТБГ-1 диаметром 5 см с насадками по 50 см. Степень разложения и ботанический состав торфа по выделенным генетическим горизонтам определены по методике Е.Т. Базина, Б.Д. Копенкина (Базин, Копенкин, 1992), зольность, рН солевой вытяжки по методике Е.В. Аринушкиной (Аринушкина, 1970). Содержание углерода и азота в различных слоях торфяников и подзолистых почв установлено с помощью CHNS — анализа торфа Vario EL III (Германия) в токе кислорода при 1150°C. Объемную массу торфа (плотность в ненарушенном сложении) верхних горизонтов до 50 см определяли с помощью полого цилиндра диаметром 15 см, высотой 10 см и объемом 1813 см³. Отбирали образцы на влажность, высушивая их до постоянного веса при 105°C, и

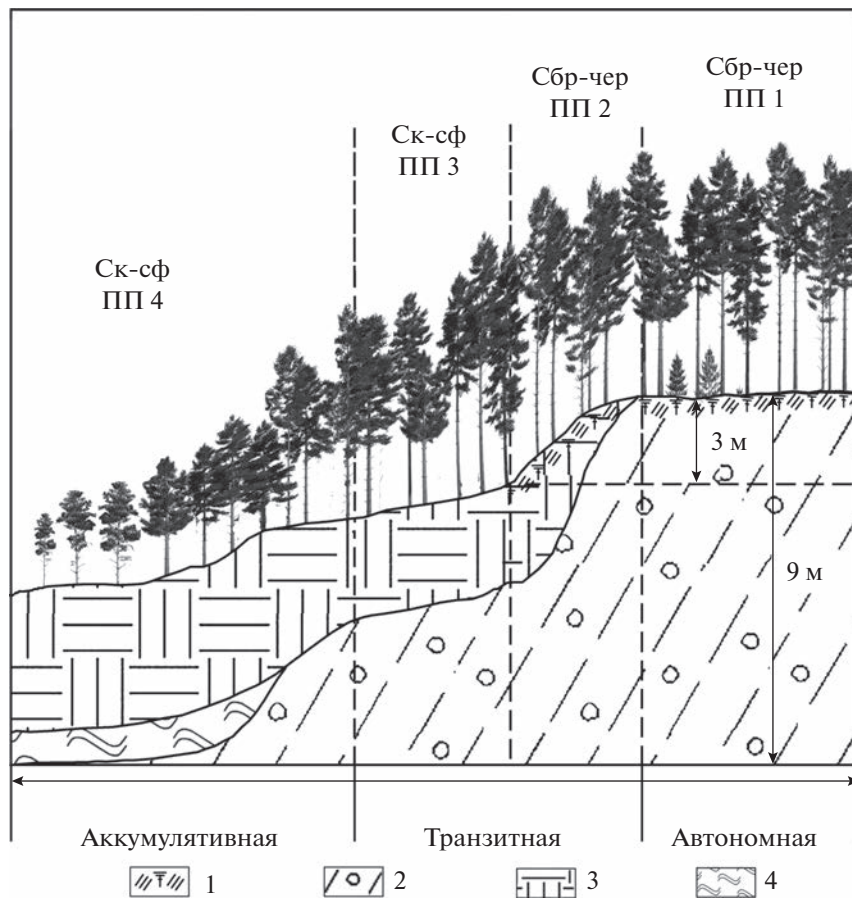


Рис. 1. Структура сосновой катены при переходе от боровых условий к олиготрофному болоту. Западнодвинское лесничество Тверской обл. Почвенные горизонты: 1 – среднеподзолистая иллювиально-железистая песчаная мелкая почва, 2 – флювиогляциальные пески, 3 – торфяная залежь разной мощности, 4 – озерный сапропель. Типы леса: Сбр-чер – сосняк бруснично-черничный, Ск-сф – сосняк кустарничково-сфагновый.

рассчитывали плотность нужного горизонта (Семенский, 1966). Обработка экспериментального материала осуществлялась с применением программы StatSoft STATISTICA.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Изменение биометрических показателей деревьев сосны по горизонтальному профилю рельефа от повышенных местоположений к пониженным определяется изменяющимися гидрологическими условиями в глубокой толще почвенного слоя, горизонты которого по морфологическим и функциональным параметрам неразрывно связаны между собой. В свою очередь эта закономерность определяет последовательность изложения результатов исследований лесоводственных и почвенных характеристик катены: автономную боровую часть катены – ПП 1, транзитную переходную часть – ПП 2 и 3, аккумулятивную часть олиготрофного болота – ПП 4. В табл. 1 приведены показатели распределения объемов деревьев в

возрастных поколениях возрастных рядов древостоев изучаемых биогеоценозов.

Биогеоценоз 1, сосняк бруснично-черничный. Древостой биогеоценоза ПП 1 сложен сосной обыкновенной с незначительной примесью ели обыкновенной (*Picea abies* (L.) Karst.), имеет состав 10С + Е, стволовой запас — 423.2 м³ га⁻¹, полноту — 0.8, II класс бонитета. Возрастной ряд древостоя включает пять возрастных 40-летних поколений и подрост (Третьяков и др., 1952) (табл. 1). Судя по распределению объемов деревьев в возрастных поколениях возрастного ряда, древостой относится к условно одновозрастным сообществам восстановительной фазы динамики после сплошных рубок предыдущих древостоев, имеющих один экссесс количества и объемов стволов деревьев во втором возрастном поколении, составляющем 96% от общего запаса древостоя (табл. 1, рис. 2).

Первое поколение древостоя включает только два дерева предельных, для существующих условий роста сосны, возрастов. В четвертом поколе-

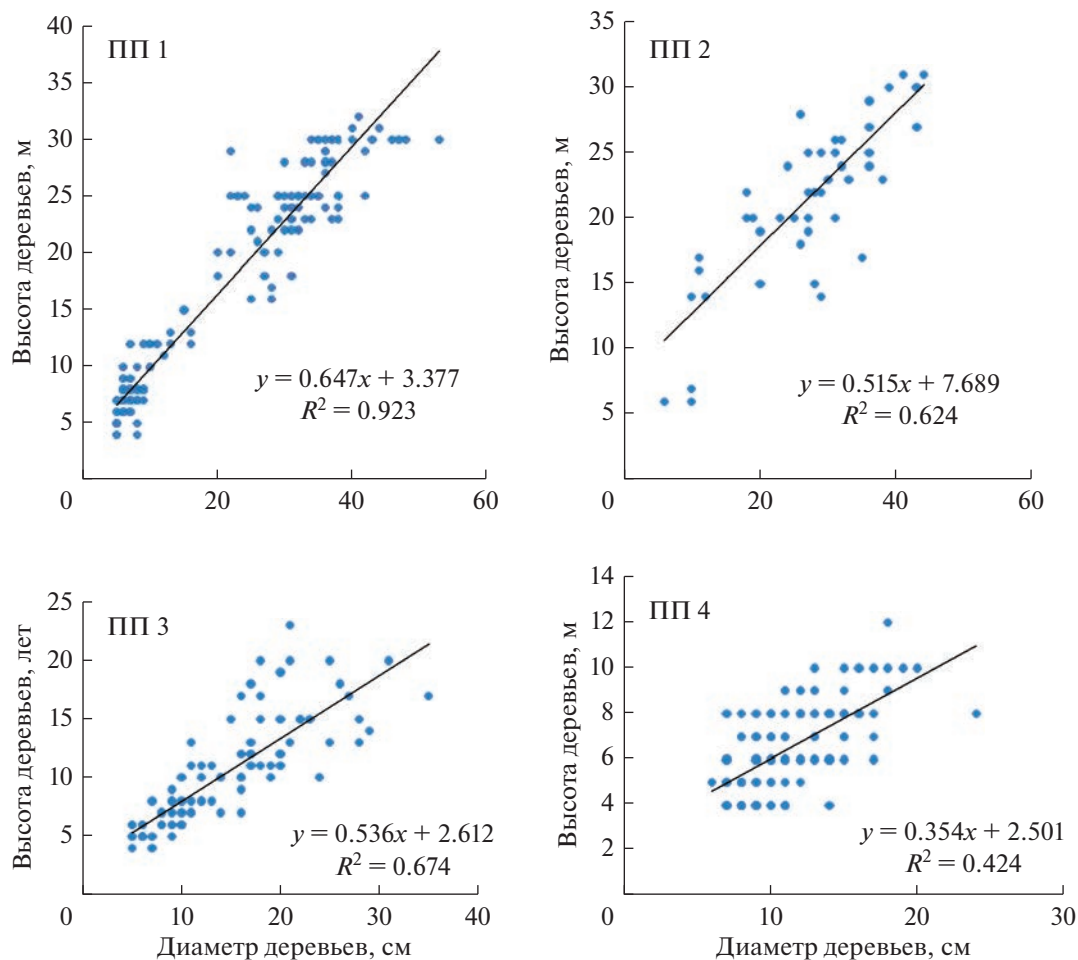


Рис. 2. (ПП 1–4). Связь высоты деревьев с диаметрами стволов изучаемых древостоев катены.

нии вместе с подростом сосредоточено довольно большое количество деревьев, но незначительные запасы древесины. Понятно, что уже через сорок лет в древостое активизируются процессы распада основного полога и биогеоценоз за счет роста молодого поколения постепенно приобретет относительно разновозрастную структуру устойчивого лесного сообщества. Несмотря на довольно простую возрастную структуру возрастного ряда, древостой биогеоценоза имеет сложное вертикальное четырехъярусное строение, в

котором в первом ярусе сосредоточено 16.4% деревьев при среднем диаметре (D_{cp}) 36 см и средней высоте (H_{cp}) 30 м; во втором ярусе сосредоточено 25.0% при H_{cp} – 22 м и D_{cp} – 30.0 см; в третьем 10.1% при H_{cp} – 2.0 м и D_{cp} – 11.0 см; в четвертом 48.5% деревьев при H_{cp} – 6.0 м и D_{cp} – 7.0 см. (рис. 2-1). Связь двух изучаемых предикторов диаметра и высоты очень высокая, что характерно для простых одновозрастных древостоев (рис. 2-1). Такое строение древостоя дает основание предполагать, что он возник естественным путем на вы-

Таблица 1. Распределение объемов стволовой древесины в пределах возрастных поколений

№ ПП	Распределение деревьев по возрастным поколениям, объем деревьев, м ³ га ⁻¹							Запас древостоев, м ³ га ⁻¹	Фаза динамики
	До 40	41–80	81–120	121–160	161–200	201–240	241–280		
1	Подрост	5.9	3.4	406.7	7.2	—	—	423.2	Восстановительная
2		3.6	74.2	356.1	10.4	16.5	—	460.8	Восстановительная
3		5.2	20.8	16.0	23.8	31.9	6.1	103.8	Климакс
4		3.1	16.8	12.1	12.1	3.8	—	47.9	Климакс

рубке с последующими лесохозяйственными уходами, сформировавшими современную условно одновозрастную структуру почти чистого по составу лесного сообщества.

Такой вывод подтверждается и незначительными объемами древесного отпада ($5.1 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$), и присутствием пней менее 10-летней давности. Это обстоятельство определяет несколько сокращенный возрастной ряд биогеоценоза на настоящий период его роста и возможность его увеличения при естественном развитии примерно на два возрастных поколения.

Подрост представлен сосной — 582, елью — 89, дубом (*Quercus robur* L.) — 68 и березой (*Betula pendula* Roth) — 12 экземпляров, что в сумме составляет 751 экземпляр, из которых сосны как эдификаторной породы по лесоводственным ожиданиям явно недостаточно для формирования полноценного возрастного поколения, приходящего на смену существующему.

Нижний ярус растительности представлен брусникой (*Vaccinium vitis idaea* L.), черникой (*Vaccinium myrtillus* L.), вереском (*Calluna vulgaris* (L.) Hill.), плауном (*Lycopodium clavatum* L.) и зелеными мхами: плевроциумом Шребера (*Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt.), политрихумом сжатым (*Polytrichum strictum* Sm.), политрихумом красивым (*Pol. formosum* Hedw.), политрихумом обыкновенным (*Pol. commune* Hedw.).

Сосняк произрастает на среднеподзолистой иллювиально-железистой мелкой песчаной почве на флювиогляциальных песках. Глубина профиля почвы 23 см, ниже следует материнская порода. Значение pH_{KCl} варьирует от 2.6 в подстилке, до 4.6 к нижним горизонтам. Содержание углерода от 50 до 2% и азота от 1.6 до 0.1% снижается от подстилки вниз по профилю. Напротив, объемная масса (плотность) торфа увеличивается от 0.18 до 1.53 г см^{-3} .

Биогеоценоз 2, сосняк бруснично-черничный. Древостой ПП 2 (0.08 га) относится к верхней части транзитного участка катены, включающего ПП 2 и ПП 3, отличающиеся биометрическими и, соответственно, объемными параметрами деревьев. Древостой ПП 2 так же, как и ПП 1, сложен сосной с незначительным участием ели, имеет состав 10С + Е, Б, запас стволовой древесины $460.8 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$, что выше, чем на ПП 1, и определяется, скорее всего, более благоприятным транзитным условием влагообеспеченности и меньшим, но более промывным гумусовым горизонтом. Полнота — древостоя 0.8, II класса бонитета. Возрастной ряд имеет шесть поколений с одним эксцессом объемов в третьем поколении. По структуре возрастного ряда, как и древостой на ПП 1, он относится к условно одновозрастным лесным сообществам восстановительной фазы динамики, сформировавшимся естественным путем после сплошной

вырубки, характеризуется близкими параметрами средних показателей высот и диаметров деревьев по четырем ярусам древостоя (табл. 1, рис. 2-2).

Корреляционное отношение (R^2) определяет тесноту связи предикторов как “значительную” (Chaddock, 1925; Дворецкий, 1971). Снижение его значений в сравнении с ПП 1 можно объяснить присутствием в выборке некоторого количества деревьев меньших биометрических показателей из ПП 3, чем основной массив крупных деревьев, что увеличивает разброс данных вокруг линейного приближения (рис. 2-2).

Подрост представлен преимущественно сосной в количестве 425 экз. на 1 га с единичными экземплярами ели и березы, что так же, как и для древостоя ПП 1, будет обеднять количественный состав последующих поколений сосны.

В нижнем ярусе растительности к бруснике, чернике, плауну, зеленым мхам добавляется осока (*Carex lasiocarpa* Ehrh.), сфагновые мхи: сфагнум бурый (*Sphagnum fuscum* (Schmp.) Klinggr.), сфагнум узколистный (*Sph. angustifolium* (Russ.) C. Jens.).

Как и в первом случае, почвенный горизонт представлен среднеподзолистой иллювиально-железистой мелкой песчаной почвой на флювиогляциальных песках. Глубина профиля почвы 15 см, далее следует материнская порода. Значение pH_{KCl} — от 2.2 в подстилке, до 4.2 в нижних горизонтах. Содержание углерода (от 49 до 2%) и азота (от 1.1 до 0.1%) снижается от подстилки вниз по профилю. Плотность увеличивается от 0.34 до 1.55 г см^{-3} .

Биогеоценоз 3, сосняк кустарничково-сфагновый. Древостой ПП 3 включает нижнюю часть транзитного участка катены площадью 0.12 га, сложен исключительно сосной, имеет состав 10С, полнотой 0.6, IV класса бонитета, запас стволовой древесины — $103.8 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$. Возрастной ряд древостоя состоит из семи возрастных поколений, в которых нет выраженных эксцессов объемов деревьев в каких — либо возрастных поколениях, и его динамическое положение близко к состоянию климакса (табл. 1, рис. 3).

Показатель корреляционного отношения (R^2) характеризует связь предикторов как “значительную”, обусловленную повышенным разбросом показаний диаметров и высот деревьев по мере увеличения их значений. Это положение характерно для биогеоценозов с разновозрастной структурой древостоев, когда с увеличением длины возрастных рядов повышается присутствие в старовозрастных поколениях деревьев разных биометрических характеристик.

Подрост на площади участка в переводе на 1 га представлен сосной в количестве 800 экземпляров, что в лесоболотных условиях при низкой

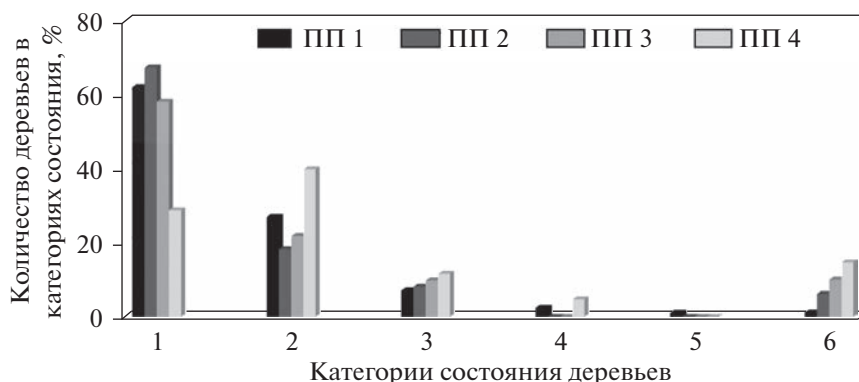


Рис. 3. Показатели ослабления деревьев в древостоях изучаемой катены. ■ — ПП 1; ■ — ПП 2; ■ — ПП 3; ■ — ПП 4.

полноте древесного яруса вполне обеспечивает формирование последующих поколений соснового древостоя.

Древостой по высоте обладает сложной 4-ярусной структурой с низкой полнотой, обеспечивающей возобновление и рост подчиненных ярусов светолюбивой сосны. В первом ярусе сосредоточено 9.8% деревьев со средним диаметром (D_{cp}) — 21.5 см и средней высотой (H_{cp}) — 14.8 м, во втором ярусе — 15.5% при D_{cp} — 15.6 см и H_{cp} — 11.8 м, в третьем ярусе — 10.3% деревьев при D_{cp} — 11.4 см и H_{cp} — 8.2 м, в четвертом ярусе — 14.9% деревьев при D_{cp} — 7.0 см и H_{cp} — 5.6 м.

В нижнем ярусе растительности, кроме брусники и черники, произрастают клюква (*Oxycoccus quadripetalus* L.), голубика (*Vaccinium uliginosum* L.), багульник (*Ledum palustre* L.), пушица (*Eriophorum vaginatum* L.), осока (*Carex lasiocarpa* Ehrh.) (единично), зеленый мох (*Meesia triquetra* Angstr.) (единично) и сфагновые мхи: сфагнум бурый, сфагнум узколистный, сфагнум божественный (*Sph. magellanicum* Brid.), сфагнум балтийский (*Sph. balticum* (Russ.) C.Jens.).

Древостой ПП 3 как продолжение транзитной части ПП 2 расположен на мезо-олиготрофном кустарничково-сфагновом болоте с мощностью торфяной залежи более 3 м, которая сложена верхними торфами до 2.5 м и переходными до 3.2 м. Залежь подстилается оглеенными песками. Степень разложения торфа варьирует от 10–20% в верхних 20 см и до 50% — в глубоких слоях. Значение pH_{KCl} меняется по залежи от 2.8 до 3.4, зольность — от 2.0 до 4.5%, содержание углерода в торфе — от 45 до 55% и азота — от 0.9 до 1.5%. Плотность увеличивается к нижней части залежи от 0.06 до 0.18 г см⁻³.

Таким образом, древостой нижней транзитной части катены (ПП 3) имеет характеристики постепенного перехода от типичных борových усло-

вий произрастания к типичным олиготрофным условиям роста сосны.

Биогеоценоз 4, сосняк кустарничково-сфагновый (ПП 4) характеризуется как аккумулятивный и расположен над самым низким участком олиготрофного сфагнового болота, подстилаемого органо-минеральным сапропелем дна бывшего озера, заросшего болотной сосной. Древесный ярус ПП 4, как и древостой на ПП 3, сложен исключительно сосной с составом 10С, класс бонитета — V, полнота — 0.5–0.6. Запас стволовой древесины — 47.9 м³ га⁻¹. Возрастной ряд древостоя имеет шесть возрастных поколений, в которых нет выраженных эксцессов объемов деревьев, что характеризует биогеоценоз как сообщество, близкое к состоянию климакса, то есть обладающее устойчивостью во временной динамике (Дыренков, 1084; Стороженко, 2007).

Данными структурных особенностей древостоев на ПП 3 и 4 подтверждается тезис о возможности отнесения лесных биогеоценозов сосновых олиготрофных болот, формирующихся в длительном эволюционном развитии, к сообществам климаксовых фаз динамики (Биогеоценотическое ..., 1982, стр. 57) (рис. 2–4).

Показатель корреляционного отношения (R^2) характеризует связь предикторов как “умеренную”, что объясняется довольно большим разбросом данных относительно линейного приближения. Объяснение этой особенности аналогично рис. 2–3.

Подрост на площади биогеоценоза представлен только сосной в количестве 1233 экземпляров на 1 га, причем его количество относительно равномерно распределено в грациях высоты от 1 до 4 метров со средним значением в 24 экземпляра в градации. Можно говорить о хорошей возобновительной способности этого биогеоценоза. Объемы валежа, доступного для учета и не погруженного в толщу верхних слоев почвы, 1.4 м³ га⁻¹, что

составляет 2.9% от запаса древостоя. Эту величину можно характеризовать как нормальную для климатических сообществ лесоболотных формаций.

Как и в предыдущем климатическом сообществе, древостой на ПП 4 имеет 4-ярусную структуру, низкую полноту, обеспечивающую возобновление светолюбивой сосны. Первый ярус включает 16.2% деревьев от общего числа на 1 га при $D_{\text{ср}} = 15.7$ см и $H_{\text{ср}} = 9.2$ м, второй ярус включает 34.1% деревьев при $D_{\text{ср}} = 12.4$ см и $H_{\text{ср}} = 7.4$ м, третий ярус включает 26.1% деревьев при $D_{\text{ср}} = 9.9$ см и $H_{\text{ср}} = 6.0$ м, четвертый ярус имеет 23.6% деревьев при $D_{\text{ср}} = 8.9$ см и $H_{\text{ср}} = 4.2$ м.

На всей площади рассматриваемой катены, от боровой части ПП 1 до аккумулятивной олиготрофного сфагнового болота ПП 4, встречается подрост дуба черешчатого до 1.5 м высоты в боровой части до всходов 3-х лет в аккумулятивной части катены.

Нижний ярус представлен клюквой, водяникой (*Empetrum nigrum* L.), багульником, пушицей и сфагновыми мхами: сфагнумом бурым, сфагнумом узколистным, сфагнумом божественным, сфагнумом балтийским.

Мощность торфяной залежи аккумулятивной части катены до 6 м. Сложена верховыми торфами до 2 м со степенью разложения от 3–5% в верхних 20 см до 15% в нижележащих слоях. С 2 до 5 м верховые торфа сменяются переходными со степенью разложения 35%. С 5 до 6 м — низинные торфа, степень разложения — 50%. Залежь подстилается органо-минеральным сапропелем. Значение $pH_{\text{КСИ}}$ изменяется по профилю торфяной почвы от 2.8 до 4.0, зольность — от 1.8 до 5.3%, в образцах торфа содержание углерода (47–53%) и азота (0.8–1.8%). Плотность увеличивается в нижней части залежи от 0.05 до 0.10 г см⁻³.

К числу показателей, влияющих на структурные характеристики древостоев и оценку динамических процессов в лесном сообществе, относятся сведения о состоянии деревьев, степени их ослабленности и в целом древостоев (рис. 3). В лесопатологии для этих целей применяется шкала балловой оценки ослабленности деревьев (Правила ..., 2013). Сплошные перечеты деревьев на ПП по категориям состояния в балловой оценке показали, что лучшие показатели состояния древостоев в целом фиксируются в древостоях ПП 1 и 2 — 1.6 балла, что для древостоев боровой и верхней части транзитной зоны вполне объяснимо, так как в них периодически проводились рубки ухода с выборкой ослабленных и усохших деревьев.

Среднее положение занимает древостой ПП 3, в котором нет деревьев категорий усыхающих и свежего сухостоя, что подтверждает факт стабилизации состояния лесного сообщества на теку-

щий период. Показатели ослабления древостоя здесь также относительно высокие — 1.8 балла. Наихудшие показатели состояния деревьев фиксируются в древостое ПП 4, в котором только 29% деревьев относится к категории здоровых. В то же время количество деревьев старого сухостоя в нем наивысшее и высокое, средние значения ослабления древостоя в целом — 2.5 балла, приближающиеся к “сильно ослабленным”. В общем, можно констатировать, что по мере перехода от боровой части катены к транзитной и далее к аккумулятивной на мощных шестиметровых торфах состояние деревьев сосны постепенно ухудшается. Можно предположить, что в наивысшей степени это ухудшение связано с произрастанием деревьев ПП 4 над самым низким расположением дна бывшего озера, заполненного в настоящее время озерным сапропелем, подстилающим мощное торфяное отложение. Вероятнее всего, такое состояние деревьев этой части катены является следствием бедной минеральными элементами почвы. На ПП 4 усыхание деревьев категорий старого сухостоя происходит в 21% случаев из состава деревьев первого и второго яруса и в 70% случаев из состава деревьев третьего яруса. Большое количество деревьев категорий ослабленных, сильно ослабленных, старого сухостоя и явно сокращенное число деревьев категории здоровых говорит о происходящих в настоящее время в этой части биогеоценоза деградационных процессах с ожиданием их активизации в ближайший период. Причиной деградационных процессов могут служить только абиотические факторы, связанные, скорее всего, с гидрологией олиготрофного болота в недалекой ретроспективе. На всей площади катены микогенные и энтомогенные факторы, способные влиять на ослабление деревьев, практически отсутствуют. Незначительное участие в поражении живых деревьев в пределах 1% от общего числа деревьев на ПП 1 катены принимает базидиальный дереворазрушающий гриб сосновая губка (*Phellinus pini* (Thore: Fr.) Ames), вызывающий гниль коррозийного типа, поражающий стволовую часть деревьев сосны. Как раневый возбудитель в единичных случаях отмечается окаймленный трутовик (*Fomitopsis pinicola* (Sw.: Fr.) Karst.), появляющийся после нанесенных деревьям механических повреждений и вызывающий гниль деструктивного типа (Стороженко и др., 2014).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Древостои сосновых формаций верховых сфагновых олиготрофных болот региона Тверской обл. переходной позиции от зоны смешанных лесов к подзоне южной тайги, не затронутые антропогенными воздействиями, формирующиеся в длительной эволюционной динамике, име-

ют абсолютно разновозрастное сложное вертикальное строение с различной длиной возрастных рядов и предельными возрастами деревьев первых поколений 240–280 лет. Динамические показатели таких биогеоценозов отвечают климатическим характеристикам.

Запасы стволовой древесины древостоев от 460.8 до 47.9 м³ га⁻¹ постепенно сокращаются от возвышенной боровой части катены до низко расположенного дна бывшего озера, заполненного озерным сапропелем, поросшего болотной сосной V бонитета, под мощной 6-метровой торфяной залежью.

Наиболее тесная связь между диаметром и высотой деревьев фиксируется в древостое автономной части катены — $R^2 = 0.923$, которую можно трактовать как закономерность. Низкая положительная связь между предикторами наблюдается в древостое аккумулятивной части катены с большим разбросом данных относительно линейного приближения — $R^2 = 0.424$.

Состояние деревьев и древостоев сосны постепенно ухудшается, приближаясь к сильно ослабленному по мере перехода от боровой части катены к транзитной и далее к аккумулятивной на мощных шестиметровых торфах. Такое состояние деревьев этой части катены в большой степени связано с произрастанием деревьев над самым низким расположением дна бывшего озера и является следствием бедной минеральными элементами почвы.

Соотношение количества деревьев категорий здоровых, ослабленных и сухостойных говорит о происходящих в настоящее время в аккумулятивной части биогеоценоза деградиционных процессах с ожиданием их активизации в ближайший период, связанных с изменением гидрологических режимов верхового болота. Влияние микогенных и энтомогенных факторов на процессы ослабления древостоев на всем протяжении катены минимальные или отсутствуют.

Почва катены изменяется от мелкой средне-подзолистой песчаной на глубоких флювиогляциальных песках в автономной боровой части катены до торфяной с мощной торфяной залежью в ее аккумулятивной части. В этой связи меняется содержание в ней основных элементов — углерода, азота, рН_{KCl}, а также зольности, плотности. В образцах торфяной почвы содержится 45–55% углерода, что сопоставимо только с подзолистой почвой подстилки, в ней более низкий рН солевой вытяжки и в несколько раз меньшая плотность.

Авторы приносят глубокую благодарность академику С.Э. Вомперскому за ценные советы

по структуре статьи и интерпретации выдвинутых в ней положений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Александрова В.В., Цыганова В.И., Иванова А.В. Оценка состояния *Pinus sylvestris* L. в олиготрофных экосистемах Среднего Приобья // Сборник избранных статей по материалам науч. конференций ГНИИ “Нацразвитие”. Санкт-Петербург, 2021. С. 8–12.
- Ариушикина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: МГУ, 1970. 487 с.
- Базин Е.Т., Копенкин В.Д. Технический анализ торфа. М.: Недра, 1992. 430 с.
- Биогеоэкологическое изучение болотных лесов в связи с опытной гидролесомелиорацией. М.: Наука, 1982. 207 с.
- Глебов Ф.З., Торейко Л.С. О биологической продуктивности болотных лесов в лесообразовательном и болотообразовательном процессах // Ботанический журнал. 1975. Т. 60. № 9. С. 1336–1349.
- Головацкая Е.А. Биомасса и продукция древесного яруса сосново-кустарничково-сфагновых болот южной тайги Западной Сибири // Лесоведение. 2017. № 2. С. 102–110.
- Дыренков С.А. Структура и динамика таежных ельников. Л.: Наука, 1984. 176 с.
- Дворецкий М.Л. Пособие по вариационной статистике. М.: Лесная пром-сть, 1971. 104 с.
- Иванов А.И. Структура и первичная продуктивность сосняков болотного ряда: автореф. дис... канд. биол. наук: 03.00.05. М.: МГУ, 1979. 20 с.
- Вомперский С.Э., Иванов А.И. Вертикально-фракционная структура и первичная продуктивность сосняков болотного ряда // Лесоведение. 1978. № 6. С. 13–24.
- Комин Г.Е. Некоторые особенности строения разновозрастных древостоев заболоченных сосняков // Разновозрастные леса Сибири, Дальнего Востока и Урала и ведение хозяйства в них. Красноярск: Вост. Сиб. кн. изд-во, 1967. С.19–26.
- Комин Г.Е., Семечкин И.В. Возрастная структура древостоев и принципы ее типизации // Лесоведение. 1970. № 2. С. 24–33.
- Коронатова Н.Г. Продуктивность древесного яруса на выпуклых олиготрофных болотах западной Сибири: Материалы IV Междунар. конф. “Биогеоэкология и ландшафтная экология: итоги и перспективы”. 2012. С. 76–80.
- Коронатова Н.Г., Миляева Е.В. Определение продуктивности сосновых древостоев в разных типах северо-таежных болот // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2014. Т. 4. № 2. С. 79–83.
- Кочубей А.А., Санникова Н.С. Динамика поселения, выживания и численности подроста сосны на гарях в сосняках багульниково-кассандрово-сфагновых: Матер. XV Междунар. конф. молодых ученых “Леса Евразии — большой Алтай”. 2015. С. 60–63.
- Плейстоценовые оледенения Восточно-Европейской равнины / Под ред. А.А. Величко, М.А. Фаустовой. М.: Наука, 1981. 203 с.
- Правила санитарной безопасности в лесах (утв. приказом М-ва природных ресурсов и экологии РФ от 24 декабря 2013 г. № 613). М., 2013. 23 с.

- Правдин Л.Ф. Сосна обыкновенная. М.: Наука, 1964. 161 с.
- Рысин Л.П., Савельева Л.И. Сосновые леса России. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. 288 с.
- Семенский Е.П. Технический анализ торфа. М.: Недра, 1966. 231 с.
- Солоневич Н.Г. Структура и продуктивность некоторых болотных растительных сообществ // Труды БИН РАН. 1963. Сер. 3. Вып. 15. С. 3–93.
- Стороженко В.Г. Устойчивые лесные сообщества. М.: Гриф и К, 2007. 190 с.
- Стороженко В.Г. Древесный отпад в коренных лесах Русской равнины. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2011. 122 с.
- Стороженко В.Г., Крутов В.И., Руоколайнен А.В., Коткова В.М., Бондарцева М.А. Атлас-определитель дереворазрушающих грибов лесов Русской равнины. М.: Гриф и К, 2014. 198 с.
- Сукачев В.Н. О болотной сосне // Лесной журнал. 1905. Т. 35. № 3. С. 354–372.
- Третьяков Н.В., Горский П.В., Самойлович Г.Г. Справочник таксатора. М-Л.: Гослесбуиздат, 1952. 853 с.
- Шварцман Ю.Г., Болотов И.Н. Пространственно-временная неоднородность таежного биома в области плейстоценовых материковых оледенений. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 263 с.
- Цветков В.Ф., Семенов Б.А. Сосняки Крайнего Севера. М.: Агропромиздат, 1985. 116 с.
- Chaddock R.E. Principles and methods of statistics. Boston, New York, 1925. 471 p.
- Prieditis N. Pine-birch forest communities on non drained peatlands in Latvia // Feddes Repertorium. 1993. V. 104. № 3–4.
- Eckstein J., Leuschner H.H., Bauerochse A. Mid-Holocene pine woodland phases and mire development – significance of dendroecological data from subfossil trees from northwest Germany // Journal of Vegetation Science. 2011. V. 22. № 5.

Structural Features of Pine Catena Stands: from Forest to Oligotrophic Bog

V. G. Storozhenko¹, * and T. V. Glukhova¹

¹Institute of Forest Science of the Russian Academy of Sciences,
Uspenskoe village, Odintsovo district, Moscow region, 143030 Russia

*E-mail: lesoved@mail.ru

The article presents the results of studies of the pine catena's stands structure, conducted in the Zapadnodvinsky forestry of the Tver region (Zapadnodvinsky forest-swamp station of the Institute of Forest Science of the RAS, IFS RAS), linking the biogeocenosis of the forest and swamp parts of the oligotrophic bog. The purpose of the research is to study the forestry characteristics, morphometric indices, origin, age structure, dynamic processes and volume indicators of pine stands during the transition of the forest part of the catena to the oligotrophic bog. The pine catena includes four sections with a total length of 110 m and a width of 40 m: the upper forest automorphous zone (PP 1), the slope transit zone (PP 2 and 3) and accumulative zone (PP 4) with forest types changing from cranberry-blueberry pine woods of II quality class to shrub-sphagnum meso-oligotrophic pine woods on 6 m of peat (V quality class), underlain by organic lake sediments. The age structure of stands varies from the conditional evenly-aged restorative dynamics in the forest part to the highly-unevenly-aged dynamics found closer to the climax phase of the meso-oligotrophic sphagnum swamp. The forest part is characterized by the better condition indicators' values, while the oligotrophic bog's stands have the worst ones. The pine biogeocenosis of an oligotrophic sphagnum bog is close in dynamic characteristics to sustainable climax forest communities with a maximum age of the first generations trees of approximately 240–280 years. The stands condition along the catena profile varies from healthy in the forest part to the weakened with the degradation development dynamics in the accumulative part of the sphagnum bog.

Keywords: pine catena, oligotrophic swamp, peat deposit, pine structure.

Acknowledgements: The authors are deeply grateful to S. E. Wompersky for valuable advice on the structure of the article and the interpretation of the provisions put forward in the text.

REFERENCES

- Aleksandrova V.V., Tsyganova V.I., Ivanova A.V., Otsenka sostoyaniya *Pinus sylvestris* L. v oligotrofnykh ekosistemakh Srednego Priob'ya (Assessment of the state of *Pinus sylvestris* L. in oligotrophic ecosystems of the Middle Ob region), *National development*, Saint Petersburg, Themed collection of papers from international conferences, 2021, pp. 8–12.
- Arinushkina E.V., *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv* (Handbook on chemical analysis of soils), Moscow: Izd-vo MGU, 1970, 487 p.
- Bazin E.T., Kopenkin V.D., *Tekhnicheskii analiz torfa* (Peat technical analysis), Moscow: Nedra, 1992, 430 p.
- Biogeotsenologicheskoe izuchenie bolotnykh lesov v svyazi s opytnoi gidromelioratsiei* (Biogeocoenological study of bog forests related to experimental hydrotechnical amelioration), Moscow: Nauka, 1982, 208 p.
- Chaddock R.E., *Principles and methods of statistics*, Boston, New York, 1925, 471 p.
- Dvoretzkiy M.L., *Posobie po variatsionnoi statistike* (Manual on analysis of variance), Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1971, 104 p.
- Dyrenkov S.A., *Struktura i dinamika taezhnykh el'nikov* (Structure and dynamics of the boreal spruce forest), Leningrad: Nauka, 1984, 174 p.

- Eckstein J., Leuschner H.H., Bauerochse A., Mid-Holocene pine woodland phases and mire development – significance of dendroecological data from subfossil trees from northwest Germany, *Journal of Vegetation Science*, 2011, Vol. 22, No. 5, pp. 781–794.
- Glebov F.Z., Toleiko L.S., O biologicheskoi produktivnosti bolotnykh lesov v lesoobrazovatel'nom i bolotoobrazovatel'nom protsessakh (Bioproductivity of boggy forests in processes of bog and forest formation), *Botanicheskii zhurnal*, 1975, Vol. 60, No. 9, pp. 1336–1347.
- Golovatskaya E.A., Biomassa i produktiya drevesnogo yarusa sosno-vo-kustarnichkovo-sfagnovykh bolot yuzhnoi taigi Zapadnoi Sibiri (Biomass and production of tree story of pine shrubby sphagnum peatlands in boreal domain in West Siberia), *Lesovedenie*, 2017, No. 2, pp. 102–110.
- Ivanov A.I., *Struktura i pervichnaya produktivnost' sosnyakov bolotnogo ryada*. Avtoref. diss. kand. biol. nauk (Structure and primary productivity of bog pine forests. Extended abstract of Candidate's biol. sci. thesis), Moscow: MGU, 1979, 20 p.
- Kochubei A.A., Sannikova N.S., Dinamika poseleniya, vyzhivaniya i chislennosti podrosta sosny na garyakh v sosnyakh bagul'nikovo-kassandrovo-sfagnovykh (Dynamics of Settlement, Survival and Population of Pine Undergrowth on Burnt Areas in Ledum-Cassander-Sphagnum Pine Forests), *Forests of Eurasia – Great Altai*, Materials of the 15 international conference of young scientists, dedicated to the 150-th anniversary of professor G.N. Vysotsky, 13–20 September, 2015: 2015, pp. 60–63.
- Komin G.E., Nekotorye osobennosti stroeniya raznovozrastnykh drevostoev zabolochennykh sosnyakov (Some features of the structure of different-aged stands of swampy pine forests), In: *Raznovozrastnye lesa Sibiri, Dal'nego Vostoka i Urala i vedenie khozyaistva v nikh* (Forests of different ages in Siberia, the Far East and the Urals and managing them), Krasnoyarsk: Vost. Sib. kn. izd-vo, 1967, pp. 19–26.
- Komin G.E., Semechkin I.V., Vozrastnaya struktura drevostoev i printsipy ee tipizatsii (Age structure of forest stands: the principles of classification), *Lesovedenie*, 1970, No. 2, pp. 24–33.
- Koronatova N.G., Milyaeva E.V., Opreделение produktivnosti sosnykh drevostoev v raznykh tipakh severotaezhnykh bolot (Estimation of productivity of pine trees in different mire types in Northern taiga), *Interekspo Geo-Sibir'*, 2014, Vol. 4, No. 2, pp. 79–83.
- Koronatova N.G., Produktivnost' drevesnogo yarusa na vypuklykh oligotrofnnykh bolotakh zapadnoi Sibiri, *Biogeocenology and landscape ecology: results and prospects*, Proceedings of the 4 Intern. Conf., 2012, pp. 76–80.
- Pleistotsenovyie oledeneniya Vostochno-Evropeiskoi ravniny* (Pleistocene glaciations at the East European Plain), Moscow: Nauka, 1981, 203 p.
- Pravdin L.F., *Sosna obyknovennaya* (Scots pine), Moscow: Nauka, 1964, 191 p.
- Pravila sanitarnoi bezopasnosti v lesakh* (Rules for sanitary safety in forests), Approved by order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation, December 24, 2013, No. 613 Moscow, 2013. 23 p.
- Prieditis N., Pine-birch forest communities on non drained peatlands in Latvia, *Feddes Repertorium*, 1993, Vol. 104, No. 3–4, pp. 271–281.
- Rysin L.P., Savel'eva L.I., *Sosnovye lesa Rossii* (Pine forests of Russia), Moscow: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2008, 289 p.
- Semenskii E.P., *Tekhnicheskii analiz torfa* (Technical analysis of peat), Moscow: Nedra, 1966, 231 p.
- Shvartsman Y.G., Bolotov I.N., *Prostranstvenno-vremennaya neodnorodnost' taezhnogo bioma v oblasti pleistotsenovykh materikovyykh oledeneni* (Spatial-temporal heterogeneity of the taiga biome in the area of Pleistocene continental glaciations), Ekaterinburg: UrO RAN, 2008, 263 p.
- Solonevich N.G., Struktura i produktivnost' nekotorykh bolotnykh rastitel'nykh soobshchestv (Structure and productivity of some swamp plant communities), *Trudy BIN RAN*, 1963, Ser. 3, Issue 15, pp. 3–93.
- Storozhenko V.G., *Drevesnyi otpad v korennykh lesakh Russkoi ravniny* (Woody debris in primary forests of the East European plain), Moscow: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2011, 122 p.
- Storozhenko V.G., Krutov V.I., Ruokolainen A.V., Kotkova V.M., Bondartseva M.A., *Atlas-opredelitel' derevorazruhayushchikh gribov lesov Russkoi ravniny* (Identification guide for wood-destroying fungi of the Russian plain's forests), Moscow: Grif i K, 2014, 198 p.
- Storozhenko V.G., *Ustoichivye lesnye soobshchestva* (Sustainable forest communities), Moscow: Grif i K, 2007, 190 p.
- Sukachev V.N., O bolotnoi sosne (On swamp pine), *Lesnoi zhurnal*, 1905, Vol. 35, No. 3, pp. 354–372.
- Tret'yakov N.V., Gorskii P.V., Samoilovich G.G., *Spravochnik taksatora* (Handbook for taxators), Moscow–Leningrad: Goslesbumizdat, 1952, 854 p.
- Tsvetkov V.F., Semenov B.A., *Sosnyaki Krainego Severa* (Pine forests of the Far North), Moscow: Agropromizdat, 1985, 116 p.
- Vomperskii S.E., Ivanov A.I., Vertikal'no-fraktsionnaya struktura i pervichnaya produktivnost' sosnyakov bolotnogo ryada (Vertical fractional structure and primary productivity of bog pine forests), *Lesovedenie*, 1978, No. 6, pp. 13–23.