

КОРОТКО-ВОСТАНОВИТЕЛЬНЫЕ СУКЦЕССИИ В ЕЛОВЫХ ЛЕСАХ ЮЖНОГО УРАЛА

Г.В. Андреев, Н.С. Иванова*

Ботанический сад УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

* Эл. почта: i.n.s@bk.ru

Статья поступила в редакцию 05.04.2024; принята к печати 14.05.2024

Понимание биосферной роли лесов в смягчении последствий глобального потепления климата, а также важности других экосистемных функций лесов ставят их сохранение и восстановление в число одних из самых актуальных проблем современности. Цель наших исследований: изучение динамики растительности в процессе коротко-восстановительных сукцессий в преобладающем на Южном Урале типе леса – ельниках мелкотравно-зеленомошных, произрастающих в нижних частях пологих склонов с мощными дренированными бурьями горнолесными почвами. В качестве методологической основы выбрана генетическая лесная типология и схемы типов леса Е.М. Фильрозе. В статье использованы материалы наших многолетних исследований и лесоустройства. В районе исследования выявлен высокий уровень трансформации лесной растительности. Установлено, что после сплошных рубок в древостоях всех классов возраста ель сибирская и пихта сибирская имеют предварительное рубке происхождение. Подтверждено, что коротко-производные березняки характеризуются наиболее динамичным составом по сравнению с другими производными лесами. Восстановление преобладания ели сибирской и пихты сибирской в коротко-производных березняках завершается к 60–80-летнему возрасту древостоя. Темпы восстановления темнохвойных лесов гораздо выше в сравнении с длительно-производными березняками, при формировании которых восстановление темнохвойных лесов длится более 120 лет. Результаты исследований имеют значение для сохранения, восстановления темнохвойных лесов и организации устойчивого лесопользования в горных темнохвойных лесах Южного Урала.

Ключевые слова: трансформация лесов, лесные сукцессии, динамика древостоя, темнохвойные леса, производные древостой.

SHORT-TERM RESTORATIVE SUCCESSIONS IN SPRUCE FORESTS OF SOUTH URALS

G.V. Andreyev, N.S. Ivanova*

Botanical Garden the Urals Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

* Email: i.n.s@bk.ru

Forests roles in the biosphere include moderating the consequences of global warming. That is why forests conservation and remediation is now one of the most important tasks. The objective of the present study is to assess vegetation dynamics in the course of short-term restorative successions in the type of forests that dominates in South Urals, that is in short-grass green-moss spruce forests growing on the lower parts of glacises having thick drained brown mountain-forests type soils. The methodology of the study is based on forest typology suggested by Ye.M. Filrode. The results of our long-term studies are generalized. A high level of transformation of forest vegetation has been found. After dense lumbering, tree stands of all age classes comprise Siberian spruces and firs of the pre-lumbering origins. Short-term secondary birch woods feature the most dynamic composition compared to that of other secondary forests. The restoration of the predominance spruce and fir stands in the place of birch woods becomes complete in tree stands reaching the ages of 60–68 years. The rate of restoration of dark coniferous forests are much higher in comparison with those of long-term secondary birch woods. Upon the development of the latter, the restoration of dark coniferous forests lasts for more than 120 years. These results are important for dark coniferous forests restoration and for organization of sustainable forest management in mountain dark coniferous forests of South Urals.

Keywords: forest transformation, forest successions, tree stand dynamics, dark coniferous forests, secondary tree stands.

Введение

Понимание биосферной роли лесов для смягчения последствий глобального потепления климата, а также важности других экосистемных функций, ставит проблему их сохранения и восстановления в число одних из самых актуальных проблем современности [41, 44]. Во многих странах, в том числе и в Российской Федерации, исследование биоразнообразия, продук-

тивности и динамики лесов относится к приоритетным направлениям для лесной экологии и лесоведения [26, 34, 38, 49]. Установлено, что деградация лесов и уменьшение их площадей вносят основной вклад в выбросы парниковых газов (занимают второе место среди всех их источников) [45]. Последствия от нарушений лесов проявляют себя как на региональном, так и глобальном уровнях и выражаются в снижении

экосистемных услуг, экономической ценности лесных ресурсов и кроме того в увеличении угроз стихийных бедствий [44, 45]. При этом адаптивные способности экосистем не всегда могут компенсировать влияние внешних воздействий, что приводит к потере устойчивости и еще большей деградации [44, 53]. Усилиями мирового научного общества разработана программа REDD+ (Reducing Emissions from Deforestation and forest Degradation). Это глобальная инициатива, направленная на сокращение выбросов парниковых газов путем лесовосстановления и сокращения лесной деградации. Цель REDD+ заключается не только в сокращении выбросов парниковых газов, но и в содействии сохранению биоразнообразия, защите экосистемных услуг, улучшении экономического и социального благополучия населения. Чтобы сделать данную инициативу эффективной, REDD+ предусматривает разработку механизмов финансового вознаграждения стран, которые активно занимаются сохранением лесов и устойчивым лесопользованием [51], и ожидается, что данная REDD+ будет иметь положительный эффект для сохранения и восстановления лесов во всем мире. Однако до сих пор процесс лесной деградации не остановлен [31, 42, 46, 48], а положительные тенденции отмечаются крайне редко. Например, улучшение обстановки в землепользовании и лесовосстановлении отмечается для отдельных регионов Китая [43], некоторые положительные тенденции отмечаются в отдельных странах Евросоюза [49]. При этом информация о качестве лесов, их сукцессионном статусе, видовом разнообразии и устойчивости, как правило, отсутствует. В литературе неоднократно подчеркивается, что для точных оценок лесной деградации и прогнозов успешности лесовосстановления все еще остро ощущается нехватка информации о региональных и лесотипологических особенностях [40, 42, 54, 55]. Для этих целей активно развиваются ГИС технологии [52]. Тем не менее подчеркивается сложность анализа лесной динамики на основе дистанционных методов зондирования территорий и, несмотря на их стремительное развитие, данные технологии все еще не позволяют решить все проблемы [33]. В данном контексте увеличивается важность изучения восстановительно-возрастной динамики лесов наземными методами, так как анализ сукцессий позволяет разграничить лесовосстановление и лесную деградацию. В дальнейшем объединение полевых измерений на выборочных территориях со спутниковыми изображениями позволит получить оценки динамики растительности на больших территориях.

Многолетнее интенсивное лесопользование привело к преобразованию структуры и функций горных экосистем на больших площадях, и данный процесс все еще продолжается [12, 37]. Уже Б.П. Колесников [14] отмечал непрерывное снижение площадей, за-

нимаемых темнохвойными лесами, констатировал увеличение доли лиственных древостоев, представляющих длительные и устойчивые смены растительности, а также эрозию почв и сопряженную с ней потерю продуктивности древостоев. Данный процесс необходимо контролировать. Важны как мониторинг лесной деградации, так и оценка потенциала лесовосстановления. В настоящее время данным проблемам уделяется пристальное внимание: ряд работ посвящен антропогенной трансформации ландшафтов [18], восстановительным сукцессиям [30], изучению влияния климатических факторов на лесные экосистемы [17, 27, 28].

Цель наших исследований: изучение восстановительно-возрастной динамики коротко-производных березняков преобладающего типа лесорастительных условий Южного Урала на принципах генетической лесной типологии на основе материалов лесоустройства и дополнительных собственных исследований.

Материал и методика

В качестве района исследования выбран Катав-Ивановский лесхоз (ныне Катав-Ивановское лесничество) Челябинской области (рис. 1). Абсолютные высоты составляют 400–800 м над уровнем моря. Данный район является типичным для Юрюзанско-Верхнеайской провинции горных южно-таежных и смешанных лесов [14]. Леса в данной провинции сформировались на стыке двух групп лесной растительности [12]: 1) восточно-европейские липово-дубовые леса; 2) южно-таежные темнохвойные и широколиственно-темнохвойные подтаежные леса.

Исследования выполнены в южно-таежных лесах в нижних частях пологих склонов с мощными дренированными бурыми горно-лесными почвами. В разработанных Е.М. Фильрозе [29] для Южного Урала схемах лесорастительных условий и типов леса основными диагностическими признаками типа леса являются положение в рельефе и условия увлажнения почв. Мощность почв имеет важное значение. В зависимости от мощности почва может содержать различные количества влаги и элементов минерального питания. Чем больше мощность почвы, тем больше ресурсов для роста растений. Мощность почв зависит от положения в рельефе. Эта закономерность является ключевой для лесной типологии горных территорий. Изученные нижние части склонов характеризуются мощными почвами (более 50 см) и устойчивым режимом увлажнения почв в течение всего вегетационного сезона. В данных лесорастительных условиях произрастают ельнички мелкоствольно-зеленомошные. В условно-коренных лесах в древостое доминируют ель сибирская *Picea obovata* Ledeb. и пихта сибирская *Abies sibirica* Ledeb., при этом их пропорции варьируют. Участие березы *Betula pubescens* Ehrh. может со-

ставлять до 20%. Сосна обыкновенная *Pinus sylvestris* L. связана исключительно с пожарами, поэтому в данном типе леса является надежным индикатором этого явления. Возрастная и пространственная структуры условно-коренных ельников характеризуются как сложные. Отличительными особенностями по сравнению с производными лесами являются многоярусный разновозрастный древостой при относительной полноте в пределах 0,7–1,0. Запас древостоя нередко превышает 300 м³/га [2]. В подлеске встречаются липа *Tilia cordata* Mill., рябина *Sorbus aucuparia* L., малина *Rubus idaeus* L., черемуха *Padus avium* Mill. Проективное покрытие мхов превышает 60%. Обычными видами являются *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt., *Hylocomium splendens* (Hedw.) B. S. G., *Dicranum* sp. Проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса уступает моховому покрову и не превышает 40%. Наиболее обильны кислица *Oxalis acetosella* L., плауны *Lycopodium clavatum* L. и *Lycopodium annotinum* L. Часто встречаются вейник *Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth, осоки *Carex pilosa* Scop. и *Carex rhizina* Blytt. ex Lindbl., кочедыжник *Athyrium filix-femina* (L.) Roth, щитовники *Dryopteris expansa* (C. Presl) Fraser-Jenk. & Jermy и *Dryopteris carthusiana* (Vill.) H.P. Fuchs. Из видов неморального комплекса присутствуют живучка *Ajuga reptans* L., копытень *Asarum europaeum* L., подмаренник *Asperula odorata* L., осока *Carex pilosa* Scop., наперстянка *Digitalis grandiflora* Mill., щитовник *Dryopteris filix-mas* (L.) Schott, медуница *Pulmonaria obscura* Dumort., фиалка *Viola mirabilis* L. [12].

Под пологом ельников мелкотравно-зеленомошных развиваются бурые горно-лесные почвы. Почвы в данном типе леса хорошо дренированы за счет склонового положения и высокой щебнистости [7, 19]. Почвенный профиль следующий: A₀ – A₁ – B – BC – D. Дифференциация профиля на генетические горизонты – слабая. Признаки оподзоливания отсутствуют либо выражены слабо. Скелетность увеличивается вниз по профилю и характеризуется как высокая. Интенсивность бурой окраски напротив снижается вниз по профилю. Подстилка составляет не более 5 см, а гумусовый горизонт – не более 10 см, в котором преобладают фульвокислоты [7]. Механический состав почв изученного типа леса характеризуется как суглинистый и легкосуглинистый.

Первый этап исследований включал анализ материалов лесоустройства, выполненных на основе генетической лесной типологии [15] с использованием лесотипологических схем, разработанных Е.М. Фильрозе [29]. Всего исследовано 104 выдела площадью 617,8 га.

Второй этап – собственные полевые исследования и анализ полученных данных. Исследования проведены между 54°33' – 54°40'N и 57°48' – 57°55'E (рис. 1). Были заложены пробные площади размером 0,5 га. По общепринятым методикам проведена таксация древостоя [6]. Для изучения подроста древесных растений на каждой пробной площади закладывалось по 40 учетных площадок размером 5x5 м. Для каждого экземпляра подроста определены: высота, возраст, жизненное состояние.



Рис. 1. Район исследований

Возрастной ряд коротко-производных березняков подобран по методике Р.Г и З.И. Синельщиковых, Е.П. Смолоногова и А.М. Шихова [22, 23, 24] с дополнением и уточнением [2]. В основу были положены теоретические положения о том, что развитие лесных сообществ в пространстве повторяет их последовательность во времени [32, 39, 47, 50] и лесные фитоценозы разных возрастов, имеющие сходную историю возникновения и формирования и произрастающие в одинаковых лесорастительных условиях, можно объединить в один естественный (генетический) ряд развития [25]. При работе с данными лесоустройства количество деревьев и сумма площадей сечений были рассчитаны по формуле Линь Чен Гана способом С.К. Бараева [8] по каждой составляющей. Кроме того, была выполнена аппроксимация динамики запаса коротко-производных березняков [16, 21] с использованием общеизвестного в лесной таксации уравнения Ф. Корсуня и Г. Бакмана, описывающего s-образный период роста древостоев

$$y = e^{-4,5543+4,1829\ln x-0,4379 \ln x^2} \quad (1)$$

(где: x – возраст, y – общий запас древостоя с коэффициентом детерминации 0,989), а также общего для древостоя среднего и текущего изменения запаса, выравненного на основе этой формулы.

Ход роста по высоте березы вычислялся по уравнению В.Н. Дракина и Д.И. Вуевского [16, 21]:

$$y = a(1-e^{-bx})^c, \quad (2)$$

а для остальных древесных растений – по уравнению Ф. Корсуня:

$$y = x^2/(a+bx+cx^2), \quad (3)$$

где: x – возраст, y – высота, a , b и c – константы.

Достоверность различий динамики запаса рассчитывалась на основе двухфакторного дисперсионного анализа [18].

Результаты и обсуждение Трансформация горных темнохвойных лесов Южного Урала

Проведенные исследования выявили высокий уровень трансформации лесной растительности в преобладающих лесорастительных условиях Южного Урала (рис. 2). Темнохвойные леса сохранились только на 8% лесопокрытых площадей. В структуре лесного фонда преобладают длительно- и устойчиво-производные леса, в которых восстановление эдификаторной роли ели сибирской и пихты сибирской занимает длительный период времени. Доля коротко-производных древостоев составляет лишь 5%, из них 4% – коротко-производные березняки и 1% – коротко-производные осинники.

Антропогенная трансформация не только затрагивает древостой, но и изменяет видовой состав и структуру подчиненных ярусов. Наибольшая уязвимость выявлена у мохового покрова. В темнохвойных лесах моховой ярус имеет покрытие 70–80%. Увеличение доли березы и осины в составе древостоя инициирует быстрое сокращение обилия мхов вплоть до 0,1% (в 700–800 раз) (рис. 3). В травяно-кустарничковом ярусе нами выявлено изменение видового состава и количественных соотношений между видами [12, 36, 37], также установлено, что темпы восстановления подчиненных ярусов значительно ниже, чем темпы восстановления древостоя [10–12]. Это подтверждает важность более бережного отношения к горным темнохвойным лесам.

Наиболее быстрое восстановление темнохвойных лесов возможно при формировании коротко-производных березняков на вырубках. Поэтому, несмотря на то что коротко-производные березняки занимают небольшие площади, их роль в восстановлении тем-

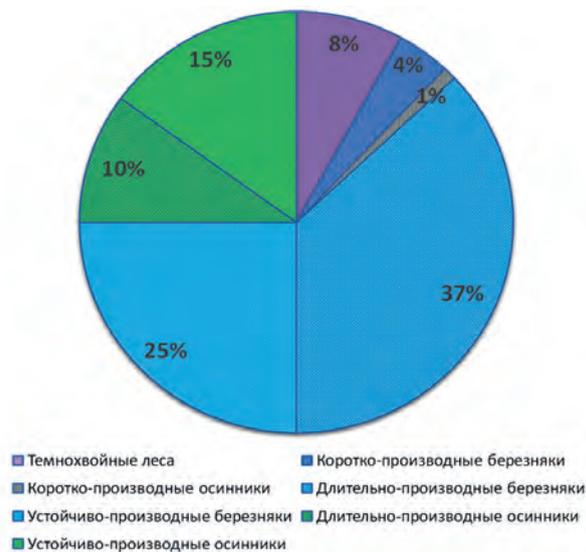


Рис. 2. Распределение лесов по эколого-динамическим рядам восстановления и развития биogeоценозов в преобладающих лесорастительных условиях западных низкогорий Южного Урала

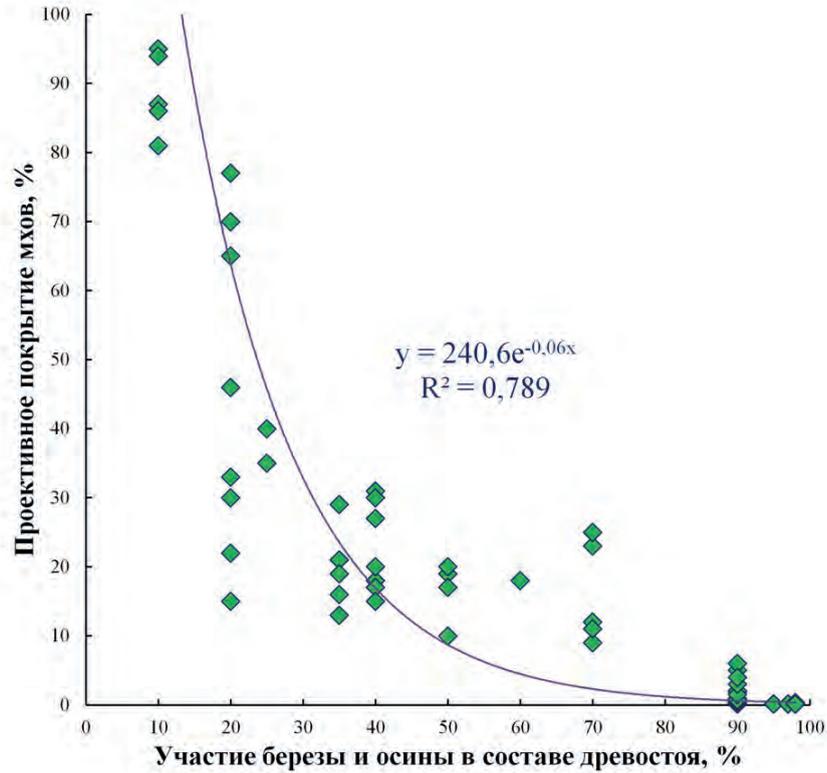


Рис. 3. Динамика проективного покрытия мохового покрова в связи с увеличением участия березы и осины в составе древостоя в преобладающих лесорастительных условиях западных низкогорий Южного Урала

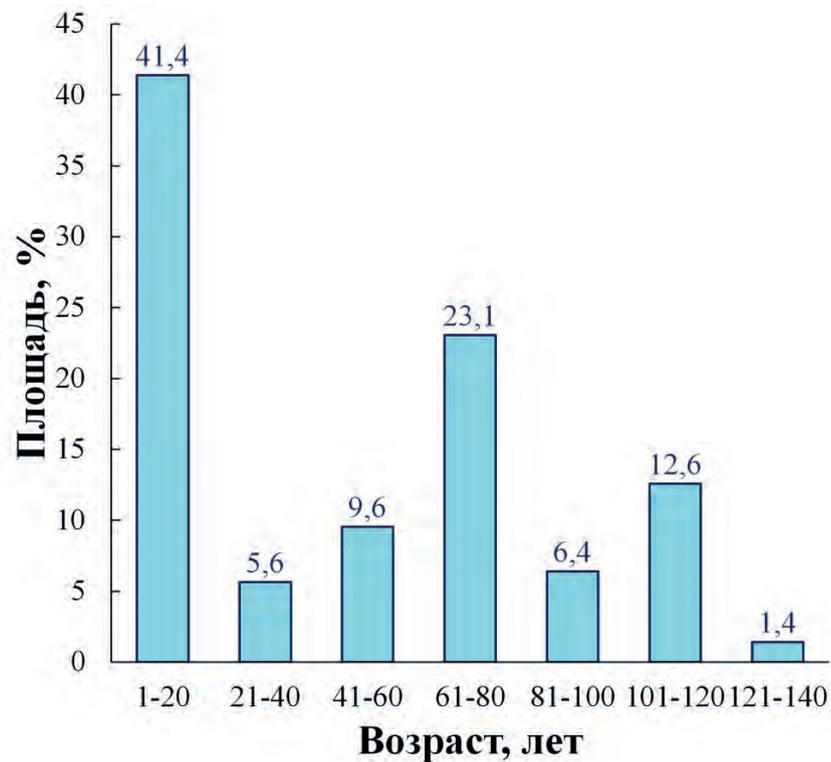


Рис. 4. Распределение коротко-производных березняков по возрасту в преобладающих лесорастительных условиях западных низкогорий Южного Урала

нохвойных лесов заслуживает особого внимания. Анализ распределения коротко-производных по возрасту выявил преобладание молодняков (рис. 4). Это свидетельствует о положительной тенденции к увеличению площадей данных древостоев в структуре лесного фонда. Низкая доля старовозрастных коротко-производных березняков связана, вероятно, с естественными процессами их распада, а также с повторными рубками

Восстановительно-возрастная динамика древесного яруса коротко-производных березняков
Соотношение возраста березы пушистой с возрастом ели сибирской и пихты сибирской

Соотношение возраста основного лесобразующего вида березы (*B. pubescens* Ehrh.) с возрастом ели сибирской (*P. obovata* Ledeb.) и пихты сибирской (*A. sibirica* Ledeb.) показано в табл. 1. Она наглядно показывает, что ель сибирская и пихта сибирская в коротко-производных березняках старше березы пушистой и соответственно имеют предварительное рубке происхождение, формируясь из сохранившегося во время лесозаготовок подроста.

Динамика количественных показателей древостоя

Количественные показатели структуры и динамики коротко-производных березняков приведены в табл. 2. В ней использованы стандартные индексы, принятые в лесном хозяйстве для основных лесобразующих видов: Б – березы повислая и пушистая (*B. pendula* и *B. pubescens* spp.), Е – ель сибирская (*P. obovata* Ledeb.), Ос – осина (*P. tremula* L.), П – пихта сибирская (*A. sibirica* Ledeb.), С – сосна обыкновенная (*P. sylvestris* L.), Лп – липа мелколистная (*T. cordata* Mill.), Олс – ольха серая (*Alnus incana* L.), Л – лиственница (*Larix* spp), Ив – древовидные виды ив (*Salix* spp), Е_{пдр} и П_{пдр} – подрост ели и пихты.

Средний прирост по запасу определяется делением абсолютной величины запаса на возраст древостоя.

Текущее изменение запаса или текущий прирост представляет собой величину, на которую изменяется запас за определенное время жизни древостоя. В данном случае это 20-летний период, в котором текущий прирост определяется как разность запаса, деленная на 20 лет. Соотношение среднего и текущего прироста характеризует возрастные стадии древостоя. В молодняках и средневозрастных древостоях текущий прирост больше среднего, в спелых древостоях – напротив, больше средний прирост. Возраст, в котором средний и текущий приросты равны, определяет возраст количественной спелости древостоя. Нулевое значение текущего прироста характеризует возраст естественной или биологической спелости и наступления у березы стадии сенильности. При уменьшении запаса – текущий прирост становится отрицательным.

В молодняках (до 20 лет) доля березы составляет в среднем $5,0 \pm 0,36$ единиц по запасу. Максимум $6,0 \pm 0,63$ (4–7) единиц достигается в возрасте 21–40 лет. В дальнейшем доля березы в составе древостоев уменьшается. В возрасте 101–120 лет – составляет $3,1 \pm 0,26$ (1–5) единицы. Доля осины нередко превышает 1 единицу состава в возрасте до 40 лет, а начиная с 41 года ее доля может увеличиваться до 5% по запасу. Примерно такую же долю по запасу имеет липа.

Участие ели сибирской и пихты сибирской увеличивается от 2,3 единиц в молодняках до 4,5 единиц в спелых березовых древостоях (61–80 лет) и до 7 единиц к 120 годам. Таким образом, восстановление преобладания ели сибирской и пихты сибирской наблюдается гораздо раньше, чем в длительно-производных березняках, возникших на вырубках или после пожаров [4].

Количество деревьев (экз./га) в молодняках для березы составляет 2893 ± 803 (497–11141), уменьшаясь до 121 ± 21 (37–288) к 100-120-летнему возрасту (табл. 2). В таблице средний и текущий приросты березы получены на основе выравненного значения запаса и выделены курсивом, а в заголовках обозначены звездочкой.

Табл. 1

Разница возрастов березы и темнохвойной компоненты фитоценоза (ели сибирской и пихты сибирской)

Возраст березы	Разница с возрастом ели сибирской			Разница с возрастом пихты сибирской		
	Минимум	Максимум	Среднее	Минимум	Максимум	Среднее
1–20	10	35	16	0	35	21
21–40	0	0	20	10	25	17
41–60	10	75	34	0	70	28
61–80	10	70	31	0	40	13
81–100	10	90	36	0	30	8
101–120	0	40	17	0	10	1
121–140	0	0	50	0	0	10

Динамика таксационных показателей модального древостоя (эскиз хода роста) коротко-производного березняка преобладающего типа лесорастительных условий западных низкогорий Южного Урала

Состав, единицы	Порода	А, лет	Н м	Д см	Н экз./га	S	ρ	М м ³ /га	D	Z _М *
1–20 лет										
5,3	Б	15	6,8	5,9	2893	3,75	0,68	15,3	1,1	1,1
0,8	Е	33	4,5	6,5	397	0,41		1,6		
0,7	Лп	16	4,7	6,3	202	0,49		2,0		
1,2	Ос	18	8,0	6,5	579	1,90		8,0		
1,5	П	36	5,7	6,7	533	1,34		5,2		
0,2	Ив	20	9,0	8,0	27	0,14		0,7		
0,1	Л	20	7,0	8,0	15	0,08		0,3		
0,1	Олс	20	8,0	6,0	40	0,11		0,1		
0,4	С	22	6,8	8,0	105	0,31		1,2		
Всего									1,9	1,9
Выровненный общий запас и его изменение								35,2	2,3	2,3
21–40 лет										
6,0	Б	28	12,0	10,8	1113	9,90	0,86	59,8	1,9	2,8
2,4	П	45	10,4	11,6	435	4,32		24,2		
0,2	Е	50	12,0	14,0	16	0,25		1,6		
0,4	Олс	30	10,0	8,0	138	0,69		3,6		
1,0	Ос	25	12,0	12,0	159	1,80		10,8		
Всего									3,3	5,8
Выровненный общий запас и его изменение								96,9	3,3	4,4
41–60 лет										
5,0	Б	57	18,3	18,6	358	9,67	0,60	83,7	1,6	1,4
1,5	Е	93	20,9	24,3	60	2,70		28,1		
0,5	Ос	52	15,3	15,0	46	0,92		7,1		
2,2	П	84	19,0	21,3	113	3,64		33,3		
0,1	Л	80	22,0	28,0	4	0,22		2,2		
0,3	Лп	65	16,0	16,0	25	0,50		4,0		
0,2	Олс	50	13,0	12,0	30	0,34		2,2		
0,2	С	80	20,0	24,0	11	0,48		4,4		
Всего									2,5	1,8
Выровненный общий запас и его изменение								181,2	3,2	3,1
6,9	П _{пдр}	22	2,1		1150					
3,1	Е _{пдр}	23	2,1		950					
								2100		
61–80 лет										
4,6	Б	74	20,7	24,1	250	10,41	0,57	98,3	1,2	0,0
2,6	Е	105	22,9	28,1	95	5,53		58,6		
1,9	П	87	19,5	21,5	111	3,84		36,7		
0,3	Лп	67	16,3	16,7	40	0,85		6,9		
0,4	Ос	70	19,5	23,0	23	0,82		7,3		
0,1	С	90	21,0	26,0	3	0,17		1,7		
Всего									2,5	3,0
Выровненный общий запас и его изменение								207,9	2,8	1,6

Продолжение. Начало таблицы на стр. 189.

Состав, единицы	Порода	А, лет	Н м	Д см	Н экз./га	S	p	М м ³ /га	D	Z _М *
8,4	П _{пдр}	23	2,7		1286					
1,6	Е _{пдр}	23	2,5		367					
Всего					1653					
81–100 лет										
3,5	Б	93	22,3	28,0	125	7,45	0,42	75,5	0,9	-0,4
2,5	Е	115	24,0	29,5	83	4,96		55,0		
3,0	П	100	21,5	25,0	126	6,23		64,0		
0,3	Лп	100	17,0	22,0	15	0,57		4,8		
0,8	Ос	95	23,0	29,0	23	1,51		15,8		
Всего					372	20,71	0,42	215,0	4,3	0,3
Выровненный общий запас и его изменение								223,3	2,4	0,8
3,9	Е _{пдр}	28	2,5		644					
6,1	П _{пдр}	28	2,5		996					
Всего					1640					
101–120 лет										
3,1	Б	112	22,6	28,5	121	7,01	0,44	71,0	0,7	-0,6
4,3	Е	136	26,0	32,5	111	8,32		99,8		
2,3	П	120	22,8	24,4	102	4,66		50,3		
0,3	Лп	110	17	16	31	0,63		5,25		
0,1	Емл	80	22	28	3	0,19		2,0		
Всего					368	20,81	0,44	228,3	1,8	0,6
Выровненный общий запас и его изменение								228,9	2,0	0,3
6,3	П _{пдр}	30	2,6		2004					
3,7	Е _{пдр}	30	2,6		1038					
Всего					3042					
121–140 лет										
6	П	140	25,0	28,0	191	11,73	0,4	138,0		
1	Е	180	29,0	40,0	14	1,71		23,0		
3	Б	130	24,0	32,0	79	6,39		69,0		
Всего					284	19,83	0,4	230,0	0,5	-0,6
Выровненный общий запас и его изменение								228,4	1,8	-0,03
8	П _{пдр}	30	2		1200					
2	Е _{пдр}				300					
Всего					1500					

Примечание: А – средний возраст элемента леса, Н – средняя высота, Д – средний диаметр, N – количество деревьев, ΣG – сумма площадей сечений или абсолютная полнота, p – относительная полнота, М – запас стволовой древесины, ΔM и Z_M – среднее и текущее изменение запаса. Средний и текущий приросты березы получены на основе выровненного значения запаса и выделены курсивом, а в заголовках обозначены звездочкой.

дочкой. При этом количество деревьев ели и пихты в древостоях до 20 лет составляет около 1 тыс., а к возрасту древостоев 61–80 лет уменьшается из-за сильной конкуренции с лиственными до 173 и остается стабильным на уровне около 200 до 140 лет. Таким образом восстановление господства ели сибирской и пихты сибирской происходит за счет отпада менее долговечных лиственных пород. Соответственно общее количество деревьев с возрастом древостоя уменьшается с 4452 ± 988 (726–15612) в молодняках до 368 ± 42 (205–655) к 101–120-летнему возрасту.

Для коротко-производных березняков характерно увеличение относительной полноты с $0,68 \pm 0,03$ (0,4–0,9) в молодняках до $0,86 \pm 0,05$ (0,7–1,0) в средневозрастных древостоях возрастом 21–40 лет. Затем наблюдается ее уменьшение до $0,44 \pm 0,03$ (0,3–0,6) к 120-летнему возрасту (табл. 2). Это связано с интенсивным распадом березовой части древостоя и переходом ко второму периоду динамики – интенсивному отпаду березы [24]. При этом запас ($\text{м}^3/\text{га}$) березы увеличивается с $15,3 \pm 2,1$ (4–42) в молодняках до $98,3 \pm 10,4$ (42–208) к 61–80-летнему возрасту древостоев, а затем уменьшается до 70 в 120-летних древостоях. Суммарный запас ели и пихты увеличивается с 6,8 в молодняках до 161 в возрасте 121–140 лет. Таким образом, общий запас стволовой древесины коротко-производных березняков возрастает с $34 \pm 3,83$ (10–70) в молодняках до $228,3 \pm 10,1$ (150–290) к 120 годам. Это обусловлено тем, что повышенный отпад березы компенсируется увеличением прироста темнохвойных.

Из-за того, что динамика выявлена методом интерпретации синхронных пространственных данных как временных рядов без детального анализа по каждому выделу признаков предыдущего и прогнозирования последующего состояния древостоя, результаты по сопоставлению количественных данных могут быть неточными. То, что в какой-то возрастной группе той или иной породы больше или меньше, чем в соседних возрастных группах, может не означать увеличения / уменьшения ее участия, а может означать разницу в стартовых условиях по соотношению пород в разные десятилетия в случае, когда нет аргументации относительно единства начальных условий. При таком сравнении разница до одной единицы в формуле древостоя может означать отсутствие различий.

Конкуренентоспособность ели, пихты и сосны с березой, осиной и липой послерубочного происхождения

В отличие от ситуации с длительно- и устойчиво-производными березняками [1, 4, 9], где ель и пихта находятся редко или отсутствуют, в основном ярусе древостоя удалось исследовать конкурентоспособность темнохвойных, а также сосны предварительного происхождения по отношению к березе, осине

и липе послерубочной генерации. Результаты были получены на основе соотношения хода роста по высоте у ели и пихты, а также сосны предварительного происхождения и хода роста у березы, осины и липы послерубочного происхождения.

Результаты исследований показали, что ель и пихта смогут составить конкуренцию березе и осине, если в момент рубки их возраст превышает 30 лет, а высота – 2,9 м [2, 3, 5, 13]. Для успешной конкуренции с липой необходимо, чтобы в момент рубки возраст ели и пихты превышал возраст липы более чем на 25 лет, а высота превышала более чем на 2,0–2,5 м. Сосна может конкурировать с березой и осиной, если в момент рубки ее возраст превышает 15 лет, а высота – 4,1 м. Для успешной конкуренции с липой необходимо превышение возраста 10 лет, а высоты – 2,6 м [2, 3, 5, 13]. Данные лесоустроительных материалов подтверждают ранее опубликованные полевые материалы авторов о конкурентоспособности ели и пихты предварительного происхождения с березой и осиной [2, 3, 5, 13] в преобладающей группе III типов лесорастительных условий (в нижних частях пологих склонов с мощными дренированными почвами).

Сравнительный анализ эколого-динамических рядов лесной динамики

Динамика запаса основного элемента древостоя (березы) в коротко-производных березняках по сравнению с длительно- и устойчиво-производными березняками показала, что во всех рядах восстановительно-возрастной динамики березняков (до 60–70 лет) наблюдается увеличение запаса березы. После чего начинается их уменьшение. Это обусловлено особенностями роста березы в данных лесорастительных условиях и оправдано возрастом рубки березы с 61 года в эксплуатационных лесах [1, 4].

Сравнение роста коротко-производных березняков с длительно- и устойчиво-производными [1, 4] показало лишь незначительное уменьшение общего запаса древостоев в возрасте 121–140 лет. Это связано с тем, что отпад березы компенсируется усилением прироста ели и пихты предварительной генерации. До 40 лет общий запас древостоев коротко-производных березняков близок к запасу устойчиво-производных березняков, но меньше запаса длительно-производных. Лишь в возрасте старше 60 лет коротко-производные березняки характеризуются большими запасами по сравнению с длительно- и устойчиво-производными. Это также подтверждает увеличение в составе древостоев ели и пихты. Двухфакторный дисперсионный анализ показал, что пихто-ельники, которые возникли из сохранившегося подроста, и коротко-производные березняки достоверно не различаются не только по среднему уровню ($F=1,674$ при $p < 0,95$), но и по

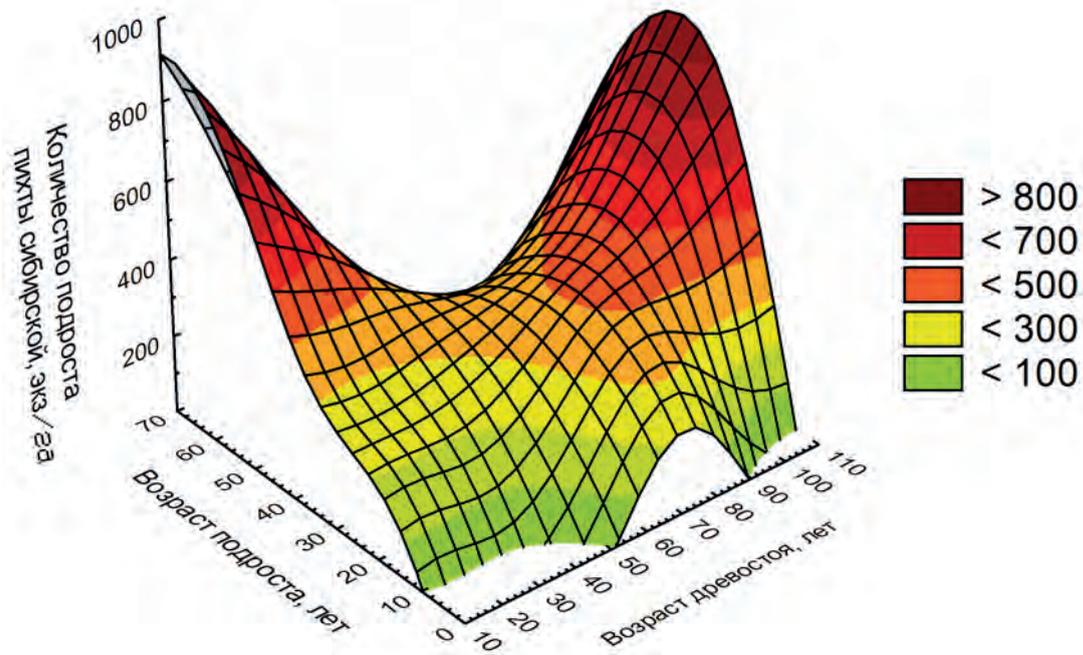


Рис. 5. Зависимость возрастной структуры подроста пихты сибирской от возраста древостоя в коротко-производных березняках

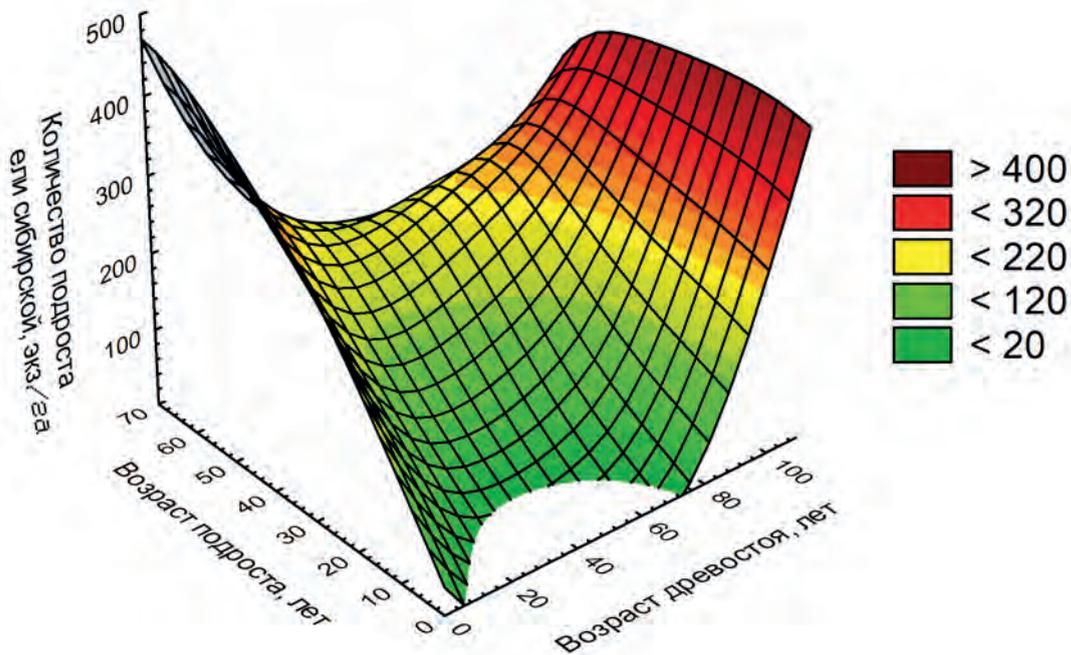


Рис. 6. Зависимость возрастной структуры подроста ели сибирской от возраста древостоя в коротко-производных березняках

не параллельности динамики запаса ($F = 1,248$ при $p < 0,95$). На полученном материале также не удалось выявить достоверные различия между коротко-производными и длительно- и устойчиво-производными березняками как по среднему уровню ($F = 0,417$ и $F = 0,015$ при $p < 0,95$), так и по не параллельности динамики запаса ($F = 3,071$ и $F = 0,635$ при $p < 0,95$).

Среднее выравненное изменение запаса основного лесообразователя, березы, достигает максимума в 21–40 лет ($1,9 \text{ м}^3/\text{га}/\text{год}$), после чего уменьшается до $0,5 \text{ м}^3/\text{га}/\text{год}$ к возрасту древостоев 121–140 лет. Текущее изменение выравненного значения запаса березы возрастает с $0,5$ до $2,7 \text{ м}^3/\text{га}/\text{год}$ к возрасту 21–40 лет, затем уменьшается, достигая отрицательных значений в 90 лет в фазе интенсивного отпада березы.

Среднее изменение выравненного общего запаса древостоя в возрасте от 21 до 60 лет достигает максимума ($3,2 \text{ м}^3/\text{га}/\text{год}$) и постепенно уменьшается до $1,6 \text{ м}^3/\text{га}/\text{год}$ в возрасте древостоев 121–140 лет (что соответствует фазе естественной спелости леса). Текущее изменение выравненного общего запаса коротко-производных березняков увеличивается с $1,6$ до $5,5 \text{ м}^3/\text{га}/\text{год}$, затем уменьшается, достигая отрицательного значения $0,03 \text{ м}^3/\text{га}/\text{год}$ в возрасте 121–140 лет.

Возобновление ели сибирской и пихты сибирской под пологом древостоев

Одним из показателей, характеризующих восстановительные процессы лесной растительности, является протекание процессов естественного возобновления под пологом древостоев. Исследования численности подроста ели сибирской и пихты сибирской под пологом древостоев были проведены ранее [13, 35]. В данном исследовании нами углублен анализ и проанализирована зависимость возрастной структуры подроста от возраста древостоя для коротко-производных березняков. Результаты приведены на рис. 5 и 6.

Графики на рис. 5 и 6 подтверждают выявленную особенность: формирование коротко-производных березняков идет за счет предварительных рубке генераций темнохвойного подроста. Последующее возобновление на начальных стадиях сукцессии либо от-

сутствует совсем, либо незначительное. В связи с тем, что новые поколения пихты сибирской и ели сибирской крайне малочисленны, количество темнохвойного подроста под пологом коротко-производных березняков первые 40–50 лет уменьшается (рис. 5, 6). Далее отмечается появление новых генераций пихты сибирской (рис. 5) и ели сибирской (рис. 6), и возобновительный процесс приобретает непрерывный характер. Количество разновозрастного темнохвойного подроста увеличивается. Эта особенность подтверждает успешность восстановления темнохвойных лесов после рубок с сохранением молодых поколений ели сибирской и пихты сибирской: за период жизни основного лесообразователя (березы пушистой) происходит восстановление преобладания пихты сибирской и ели сибирской как в древостое, так и в подросте.

Заключение

Для ельников мелкотравно-зеленомошных, произрастающих в преобладающих лесорастительных условиях западных низкогорий Южного Урала (нижние части пологих склонов с мощными дренированными бурными горнолесными почвами) выявлен высокий уровень антропогенной трансформации лесной растительности. Установлено, что после сплошных рубок в древостоях всех классов возраста ель сибирская и пихта сибирская имеют предварительное рубке происхождение. Подтверждено, что коротко-производные березняки характеризуются наиболее динамичным составом по сравнению с другими производными лесами. Восстановление преобладания ели сибирской и пихты сибирской в коротко-производных березняках завершается к 60–80-летнему возрасту древостоя. Темпы восстановления темнохвойных лесов гораздо выше по сравнению с длительно-производными березняками, при формировании которых восстановление темнохвойных лесов длится более 120 лет. Результаты исследований имеют значение для сохранения, восстановления темнохвойных лесов и организации устойчивого лесопользования в горных темнохвойных лесах Южного Урала.

Работа выполнена в рамках государственного задания Ботанического сада УрО РАН.

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Андреев ГВ. Структура и динамика устойчиво-производных березняков на Южном Урале. Вестник Алтайского ГАУ. 2011;11(85):39-43.
2. Андреев ГВ. Восстановительно-возрастная динамика темнохвойных древостоев на западном макросклоне Южного Урала. Лесное хозяйство. 2007;(3):38-40.

3. Андреев ГВ. Динамика длительно-производных осинников на Южном Урале. Вестник Алтайского ГАУ. 2012;10(96):55-8.
4. Андреев ГВ. Структура и динамика длительно-производных березняков на Южном Урале. Вестник Бурятской ГСХА имени В.Р. Филиппова. 2022;(1):61-7.
5. Андреев ГВ. Ход роста по высоте основных лесобразующих пород на Южном Урале. Лесное хозяйство. 2010;(3):36-7.
6. Анучин НП. Лесная таксация: учебник для вузов. М.: Лесная промышленность; 1982.
7. Арефьева ЗН, Фильрозе ЕМ. К характеристике генезиса бурых горно-лесных почв Челябинской области. В кн.: Вопросы генезиса бонитировки и повышения плодородия почв Южного Урала и Среднего Поволжья. Уфа; 1974. С. 47-51.
8. Бараев СК. Определение запасов без обмена модельных деревьев. Лесное хозяйство. 1963;(8):26-9.
9. Дебков НВ, Грязькин АВ, Ковалев НВ, Новикова НА. Особенности формирования древостоев из подроста предварительной генерации. Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2015;213:6-17.
10. Иванова НС. Исследование сопряженности восстановительно-возрастной динамики древостоя и подчиненных ярусов в коротко-производных березняках западных низкогорий Южного Урала. Аграрный вестник Урала. 2009;(1):76-9.
11. Иванова НС. Сопряженность восстановительно-возрастной динамики древостоя и подчиненных ярусов в длительно-производных березняках западных низкогорий Южного Урала. Аграрный вестник Урала. 2009;(2):79-82.
12. Иванова НС. Лесотипологические особенности биоразнообразия и восстановительно-возрастной динамики растительности горных лесов Южного и Среднего Урала: дис. ... д-ра биол. наук 06.03.02. Екатеринбург, 2019.
13. Иванова НС, Андреев ГВ. Естественное восстановление структуры ценопопуляций ели сибирской и пихты сибирской под пологом коротко-производных березняков в горах Южного Урала. Аграрный вестник Урала. 2008;(7):75-7.
14. Колесников БП. Леса Челябинской области. В кн.: Леса СССР. Т. 4. Москва: Наука; 1967. С. 125-56.
15. Колесников БП. Генетический этап в лесной типологии и его задачи. Лесоведение. 1974;(2):3-20.
16. Кузьмичев ВВ. Закономерности динамики древостоев: принципы и модели. Новосибирск: Наука; 2013.
17. Кучеров СЕ, Кучерова СВ, Мартыненко ВБ, Вельмовский ПВ. Климатический сигнал в годичных слоях дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) на юго-восточной границе его ареала в бассейне р. Урал. Юг России: экология, развитие. 2023;18(1):34-45. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-1-34-45.
18. Латыпова ЗБ, Давлетбердин ДД. Геоэкологическая оценка антропогенных изменений горно-лесных ландшафтов Башкортостана. Проблемы региональной экологии. 2022;(6):102-5. DOI: 10.24412/1728-323X-2022-6-102-105.
19. Новгородова ГГ, Андреев ГВ. Трансформация почв в связи с антропогенной динамикой ельников западных низкогорий Южного Урала. В кн.: Леса Башкортостана: современное состояние и перспективы: материалы научно-практической конференции. Уфа; 1997. С. 125-6.
20. Плохинский НА. Алгоритмы биометрии. М.: Изд-во МГУ; 1980.
21. Свалов НН. Прогнозирование роста древостоев. Итоги науки и техники: Лесоведение и лесоводство. 1978;2:110-96.
22. Синельщиков РГ. Развитие лесов, формирующихся на еловых вырубках Среднего Урала. Лесное хозяйство. 1966;(4):24-7.
23. Синельщикова ЗИ. Динамика ельника кисличного и липнякового в южнотаежных лесах Зауралья. Экология. 1973;(5):39-45.
24. Смолоногов ЕП, Шихов АМ. Восстановительно-возрастная динамика лесов Билимбаевского опытно-показательного лесхоза. В кн.: Восстановительная и возрастная динамика таежных лесов Среднего Урала: Сборник научных трудов ИЭРиЖ. Свердловск: УрО АН СССР; 1987. С. 4-46.
25. Третьяков НВ. Метод исследования динамики древостоев данного типа леса. Труды Лесотехнической академии им С.М. Кирова. 1956;(73):110-6.
26. Усольцев ВА. Биоразнообразие и биопродуктивность лесов в контексте климатогенной биогеографии. Эко-потенциал. 2019;1(25):48-115.
27. Федоров НИ, Жигунова СН, Мартыненко ВБ, Широких ПС, Михайленко ОИ. Влияние климата и рельефа на распространение лесных сообществ в разных ботанико-географических районах южно-уральского региона. Экология. 2022;(6):411-420. DOI: 10.31857/S036705972206004X.
28. Федоров НИ, Мартыненко ВБ, Жигунова СН, Михайленко ОИ, Шендель ГВ, Наумова ЛГ.

- Изменение распространения широколиственных древесных видов в центральной части Южного Урала со второй половины XX века. Экология. 2021;(2): 103-111. DOI: 10.31857/S0367059721020050.
29. Фильрозе ЕМ. Схема генетической классификации типов леса Южного Урала. В кн.: Эколого-географические и генетические принципы изучения лесов. Свердловск: УНЦ АН СССР; 1983. С. 53-60.
 30. Широких ПС, Мартыненко ВБ, Баишева ЭЗ, Бикбаев ИГ. Динамика растительности на вырубках южно-уральского региона: основные итоги исследований уфимской геоботанической школы. Фиторазнообразии Восточной Европы. 2018;12(3):17-30. DOI: 10.24411/2072-8816-2018-10023.
- Общий список литературы/References**
1. Andreyev GV. [Structure and dynamics of sustainably derived birch forests in the Southern Urals]. Vestnik Altayskogo GAU. 2011;11(85):39-43. (In Russ.)
 2. Andreyev GV. [Restoration and age dynamics of dark coniferous stands on the western macroscline of the Southern Urals]. Lesnoye Khozyaystvo. 2007;(3):38-40. (In Russ.)
 3. Andreyev GV. [Dynamics of long-term derivative aspen forests in the Southern Urals]. Vestnik Altayskogo GAU. 2012;10(96):55-8. (In Russ.)
 4. Andreyev GV. [Structure and dynamics of long-term derivative birch forests in the Southern Urals]. Vestnik Buryatskoy GSKHA Imeni V.R. Filippova. 2022;(1):61-7. (In Russ.)
 5. Andreyev GV. [The course of growth in height of the main forest-forming species in the Southern Urals]. Lesnoye Khozyaystvo. 2010;(3):36-7. (In Russ.)
 6. Anuchin NP. Lesnaya Taksatsiya Uchebnik dlya VUZov. Moscow: Lesnaya Promyshlennost'; 1982. (In Russ.)
 7. Arefyeva ZN, Filrose YeM. [On characterizing the genesis of brown mountain forest soils of the Chelyabinsk region]. In: Voprosy Genezisa Bonitirovki i Povysheniya Plodorodiya Pochv Yuzhnogo Urala i Srednego Povolzhya. Ufa; 1974. P. 47-51. (In Russ.)
 8. Barayev SK. [Determining stocks without measuring model trees]. Lesnoye Khozyaystvo. 1963;(8):26-9. (In Russ.)
 9. Debkov NV, Gryazkin AV, Kovalev NV, Novikova NA. [Features of the formation of stands of pre-generation undergrowth]. Izvestiya Sankt-Peterburgskoy Lesotekhnicheskoy Akademii. 2015;213:6-17. (In Russ.)
 10. Ivanova NS. [A study of the conjugacy of the restoration-age dynamics of the stand and subordinate tiers in short-derived birch forests of the western lowlands of the Southern Urals]. Agrarnyi Vestnik Urala. 2009;(1):76-9. (In Russ.)
 11. Ivanova NS. [The conjugacy of the restoration-age dynamics of the stand and subordinate tiers in long-term derived birch forests of the western lowlands of the Southern Urals]. Agrarnyi Vestnik Urala. 2009;(2):79-82. (In Russ.)
 12. Ivanova NS. Lesotipologicheskiye Osobennosti Bioraznoobraziya i Vosstanovitelno-Vozrastnoy Dinamiki Rastitelnosti Gornyx Lesov Yuzhnogo i Srednego Urala. [Forest Typological Features of Biodiversity and Restoration-Age Dynamics of Vegetation of Mountain Forests of the Southern and Middle Urals]. PhD Dissertation. Yekaterinburg; 2019.
 13. Ivanova NS, Andreyev GV. [Natural restoration of the structure of the cenopopulations of Siberian spruce and Siberian fir under the canopy of short-derived birch forests in the mountains of the Southern Urals]. Agrarnyi Vestnik Urala. 2008;(7):75-7. (In Russ.)
 14. Kolesnikov BP. [Forests of the Chelyabinsk region]. In: Lesa SSSR. T. 4. Moscow: Nauka; 1967. P. 125-56. (In Russ.)
 15. Kolesnikov BP. [Genetic stage in forest typology and its tasks]. Lesovedeniye. 1974;(2):3-20. (In Russ.)
 16. Kuzmichev VV. Zakonomernosti Dinamiki Drevostoyev: Printsipy i Modeli. Novosibirsk: Nauka; 2013. (In Russ.)
 17. Kucherov SE, Kucherova SV, Martynenko VB, Velmovskiy PV. [Climatic signal in tree rings of the common oak (*Quercus robur* L.) on the south-eastern border of its range in the Ural River basin, Russia]. Yug Rossii Ekologiya Razvitiye. 2023;18(1):34-45. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2023-1-34-45>. (In Russ.)
 18. Latipova ZB, Davletberdin DD. [Geo-ecological assessment of anthropogenic changes to mountain and forest landscapes in Bashkortostan]. Problemy Regionalnoy Ekologii. 2022;(6):102-5. DOI: 10.24412/1728-323X-2022-6-102-105. (In Russ.)
 19. Novogorodova GG, Andreyev GV. [Soil transformation in connection with the anthropogenic dynamics of spruce forests in the western lowlands of the Southern Urals]. In: Lesa Bashkortostana: Sovremennoye Sostoyaniye i Perspektivy. Ufa; 1997. P. 125-6. (In Russ.)
 20. Plokhinskiy NA. Algoritmy Biometrii. Moscow: Izdatelstvo MGU; 1980. (In Russ.)
 21. Svalov N. [Forecasting the growth of stands]. Itoги Nauki i Tekhniki Lesovedeniye i Lesovodstvo. 1978;2:110-96. (In Russ.)

22. Sinelshchikov RG. [Development of forests formed in the spruce clearings of the Middle Urals]. *Lesnoye Khozyaystvo*. 1966;(4):24-7. (In Russ.)
23. Sinelshchikova ZI. [Dynamics of the sour and linden spruce forests in the southern taiga forests of the Trans-Urals]. *Russ J Ecol*. 1973;(5):39-45. (In Russ.)
24. Smolonogov YeP, Shikhov AM. [Restoration and age dynamics of forests of the Bilimbayevsky Forestry]. In: *Vosstanovitelnaya i Vozrastnaya Dinamika Tayezhnykh Lesov Srednego Urala*. Sverdlovsk: UrO AN; 1987. P. 4-46. (In Russ.)
25. Tretyakov NV. [Method of studying the dynamics of stands of a given type of forest]. *Trudy Lesotekhnicheskoy Akademii im S M Kirova* 1956;73:110-6. (In Russ.)
26. Usoltsev VA. [Biodiversity and forest bioproductivity in the context of climatogenic biogeography]. *Eko-Potentsial*. 2019; 25(1):48-115. (In Russ.)
27. Fedorov NI, Zhigunova SN, Martynenko VB, Shirokikh PS, Mikhaylenko OI. [The influence of climate and relief on the prevalence of forest communities in different geobotanical areas of the Sout Urals Region]. *Russ J Ecol*. 2022;(6):411-20. DOI: 10.31857/S036705972206004X. (In Russ.)
28. Fedorov NI, Martynenko VB, Zhigunova SN, Shendel GV, Mikhaylenko OI, Naumova LG. [Changes in the distribution of broadleaf tree species in the central part of the Southern Urals since the 1970s]. *Russ J Ecol*. 2021;52(2):118-25. DOI: 10.1134/S1067413621020053 (In Russ.)
29. Fil'roze YeM. [Scheme of genetic classification of forest types in the Southern Urals]. In: *Ekologo-Geograficheskiye i Geneticheskiye Printsipy Izucheniya Lesov*. Sverdlovsk: UNTS AN SSSR; 1983. P. 53–60. (In Russ.)
30. Shirokikh PS, Martynenko VB, Baisheva EZ, Bikbayev IG. [Vegetation dynamics on felling in the southern Urals region: main results of studies of Ufa geobotanical school]. *Fitoraznoobrazniye Vostochnoy Yevropy*. 2018;12(3):17-30. DOI: 10.24411/2072-8816-2018-10023. (In Russ.)
31. Casas GG, Baselly-Villanueva JR, Limeira MMC, Torres CMME, Leite HG. Classifying the risk of forest loss in the Peruvian amazon rainforest: An alternative approach for sustainable forest management using artificial intelligence. *Trees Forests People*. 2023;14:100440. DOI: 10.1016/j.tfp.2023.100440.
32. Clements FE. *Plant Succession and Indicators*. N-Y; 1928.
33. Gao Y, Skutsch M, Paneque-Gálvez J, Ghilardi A. Remote sensing of forest degradation: a review. *Environ Res Lett*. 2020;15(10):103001. DOI: 10.1088/1748-9326/abaad7.
34. Ivanova N, Fomin V, Kusbach A. Experience of forest ecological classification in assessment of vegetation dynamics. *Sustainability*. 2022;14(6):3384. DOI: 10.3390/su14063384.
35. Ivanova N, Petrova I. Relationship between stand and regeneration of *Picea obovata* Ledeb. and *Abies sibirica* Ledeb. in the primary and secondary forests of the Southern Ural Mountains. *BIO Web Conf*. 2023;67:03012. DOI: 10.1051/bioconf/20236703012.
36. Ivanova N, Petrova I. Species abundance distributions: investigation of adaptation mechanisms of plant communities. *E3S Web Conf*. 2021;254:02003 DOI: 10.1051/e3sconf/202125402003.
37. Ivanova NS. Differentiation of forest vegetation after clear-cuttings in the Ural Mountains. *Modern Appl Sci*. 2014;8(6):195-203. DOI: 10.5539/mas.v8n6p195.
38. Kacic P, Kuenzer C. Forest biodiversity monitoring based on remotely sensed spectral diversity—A Review. *Remote Sens*. 2022;14: 5363. DOI: 10.3390/rs14215363.
39. Kuuluvainen T, Aacala T. Natural forest dynamics in boreal Fennoscandia: a review and classification. *Silva Fennica*. 2011;45(5):823-841.
40. Lankin YuP, Ivanova NS. Methodological problems in the modeling of ecosystems and ways of solutions. *Int J Bio-Resource Stress Manag (IJBSM)*. 2015;6(5):631-8 DOI:10.5958/0976-4038.2015.00098.6.
41. Lawrence D, Com M, Walker W, Verchot L, Vande-car K. The unseen effects of deforestation: Biophysical effects on climate. *Front Forests Global Change*. 2022;(5). DOI: 10.3389/ffgc.2022.756115.
42. Liu B, Liao C, Chang Y. Changing dynamic of tree species composition and diversity: A case study of secondary forests in Northern China in response to climate change. *Forests*. 2024;15:322. DOI:10.3390/f15020322.
43. Luo X, Luo Y, Le F, Zhang Y, Zhang H, Zhai J. Spatiotemporal variation and prediction analysis of land use/land cover and ecosystem service changes in Gannan, China. *Sustainability*. 2024;16:1551. DOI: /10.3390/su16041551.
44. Maiti R, Rodriguez H, Ivanova N. *Autoecology and Ecophysiology of Woody Shrubs and Trees: Concepts and Applications*. John Wiley & Sons Ltd; 2016.
45. Mitchell AL, Rosenqvist A, Mora B. Current remote sensing approaches to monitoring forest degradation in support of countries measurement, reporting and verification (MRV) systems for REDD+. *Carbon Balance Manage*. 2017;12(9). DOI: 10.1186/s13021-017-0078-9.
46. Petrokas R, Ibanga DA, Manton M. Deep ecology, biodiversity and assisted natural regeneration of European yemiboreal forests. *Diversity*. 2022;14:892. DOI: 10.3390/d14100892.

47. Pretzsch H. Forest Dynamics, Growth and Yield. BerQi Y, Hu Y. Spatiotemporal variation and driving factors analysis of habitat quality: A case study in Harbin, China. *Land*. 2024;13:67. DOI: 10.3390/land13010067.
48. Santoro A, Piras F, Fiore B, Bazzurro A, Agnoletti M. Forest-cover changes in European Natura 2000 sites in the Period 2012–2018. *Forests*. 2024;15:232. DOI: 10.3390/f15020232.
49. Shugart HH. A Theory of Forest Dynamics. The Ecological Implications of Forest Succession Models. N. Y.: Springer Verlag; 1984.
50. Teobaldelli M, Doswald N. From REDD to REDD-plus: Implications for Measuring, Reporting and Verification (MRV). Cambridge: UN-REDD Programme; 2010.
51. Yan X, Li J, Smith AR, Yang D, Ma T, Su Y. Rapid land cover classification using a 36-year time series of multi-source remote sensing data. *Land*. 2023;12:2149. DOI: 10.3390/land12122149.
52. Zavyalov K, Ivanova N, Potapenko A, Ayan S. Influence of soil fertility on the ability of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) to adapt to technogenic pollution. *CERNE*. 2019;25(4):326-331. DOI: 10.1590/01047760201925042670.
53. Zevallos J, Lavado-Casimiro W. Climate change impact on Peruvian biomes. *Forests*. 2022;13(2):238. DOI: 10.3390/f13020238.
54. Zolotova E, Ivanova N, Ivanova S. Global overview of modern research based on Ellenberg indicator values. *Diversity*. 2023;15(1):14. DOI: 10.3390/d15010014.

