

ВЛИЯНИЕ ДРЕВОСТОЯ НА ФИТОМАССУ И ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ТРАВЯНО-КУСТАРНИЧКОВОГО ЯРУСА В ГОРНЫХ ЛЕСАХ ЮЖНОГО УРАЛА

Н.С. Иванова

ФГБУН Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук (Ботанический сад УрО РАН), Россия, 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, д. 202а

i.n.s@bk.ru

Проведено исследование влияния состава и возраста древостоя условно-коренных и производных лесов на фитомассу и видовое разнообразие травяно-кустарничкового яруса в наиболее распространенном типе леса западных низкогорий Южного Урала ельниках мелкотравно-зеленомошных. Установлено, что все исследованные критерии: видовое богатство фитоценоза, фитомасса травяно-кустарничкового яруса и биоразнообразие, оцененное на основе индексов Шеннона, Пielу, Симпсона проявляют высокую чувствительность к возрасту и составу древостоя. Выявлено, что разработанные нами графические модели могут быть использованы для совмещения с данными лесоустройства с целью получения широкомасштабных данных о фитомассе и биоразнообразии подчиненных ярусов условно-коренных и производных лесов в типе леса ельники мелкотравно-зеленомошные западных низкогорий Южного Урала.

Ключевые слова: Южный Урал, горные леса, фитомасса, индексы разнообразия

Ссылка для цитирования: Иванова Н.С. Влияние древостоя на фитомассу и видовое разнообразие травяно-кустарничкового яруса в горных лесах Южного Урала // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 4. С. 14–22. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-14-22

Для понимания ресурсного потенциала лесной растительности и его регионального и глобального значения, в том числе для смягчения последствий потепления климата и сохранения водных ресурсов, необходимы углубленные исследования структуры, биоразнообразия, продуктивности и динамики лесной растительности. Данное направление исследований относится к приоритетным для лесной экологии и лесоведения во многих странах [1–5], в том числе и Российской Федерации [6, 7].

Стремительно развивающиеся методы дистанционного зондирования Земли способствуют получению непрерывного потока информации о структуре древесного яруса лесонасаждений на больших площадях. При этом естественное возобновление древесных растений, подлесок, травяно-кустарничковый ярус остаются по-прежнему недостаточно изученными [6, 8]. Конкуренция всходов древесных растений с травяно-кустарничковым ярусом во многом определяет успех естественного возобновления древесных растений под пологом леса [9–11], а от интенсивности развития трав на вырубках и гарях может зависеть не только густота подроста древесных растений, но и направление восстановительных сукцессий [12, 13].

Видовое разнообразие таежных фитоценозов также во многом зависит от подчиненных ярусов, которые характеризуется существенно большим

(по сравнению с древостоем) видовым разнообразием [10, 11, 14]. Подчиненные ярусы проявляют высокую чувствительность к внешним нарушениям (как естественным, так и антропогенным) и могут служить индикатором лесной деградации и лесовосстановления [14, 15], предоставить важную информацию о структуре и устойчивости лесных фитоценозов, в том числе о характере землепользования в прошлом [10, 16].

Подпологовая растительность вносит значимый вклад в лесную фитомассу и депонирование углерода [17], хотя существенно зависит от древостоя, поэтому для прогнозных моделей динамики лесной растительности и сохранения биоразнообразия необходима точная и достоверная информация о региональных и лесотипологических особенностях взаимосвязей древостоя и подчиненных ярусов [8, 10, 11, 18]. В связи с этим исследования по данной проблеме относятся к актуальным.

Леса Урала являются важным компонентом лесной зоны Северного полушария и признаны важными стабилизаторами климата [19]. Однако в течение почти 300 лет уральские леса подвергаются интенсивному лесопользованию. Климатические и близкие к ним леса сохранились только на особо охраняемых природных территориях.

На Южном Урале проводятся масштабные исследования растительности по различным направлениям. Геоботанические исследования выполнены Л.Н. Тюлиной [20], П.Л. Горчаковским [21],

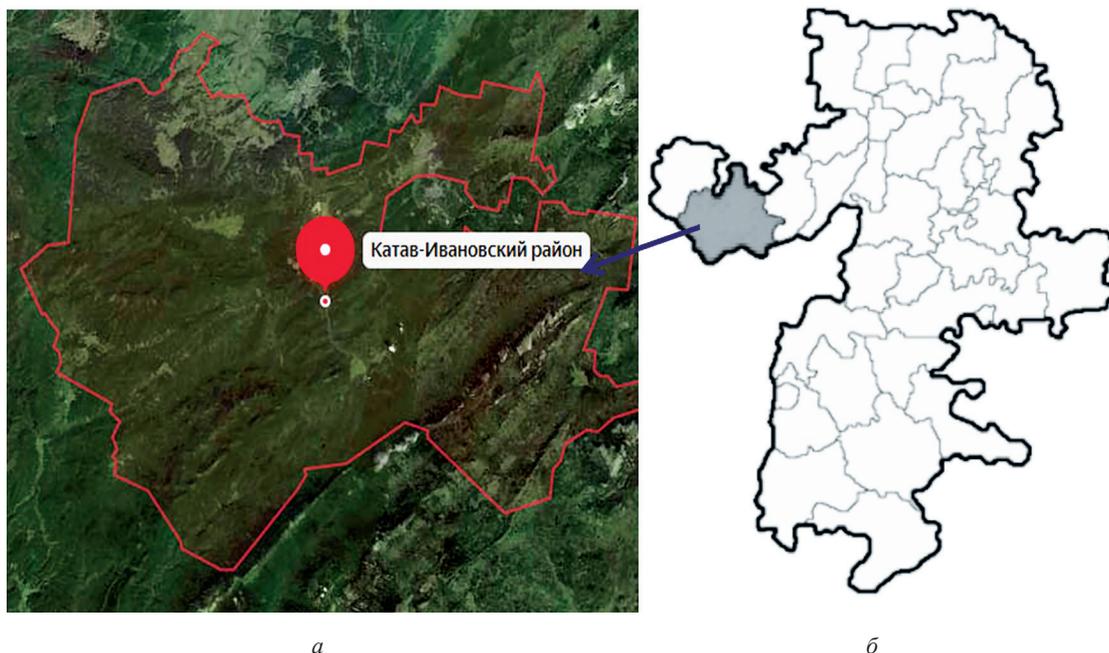


Рис. 1. Район исследований (а) на карте Челябинской области (б)
 Fig. 1. Study area (а) on the map of the Chelyabinsk Region (б)

М.И. Котовым [22], В.Б. Мартыненко, А.И. Соломещ, Т.В. Жирновой, П.С. Широких, Н.И. Федоровым [15, 23, 24]. По лесоводственному направлению работали И.И. Левицкий и А.В. Письмеров [25], Е.М. Фильрозе [26–28], Г.В. Андреев [29, 30], Ю.П. Горичев, А.Н. Давыдычев, А.Ю. Кулагин [31], Б.Ф. Окишев [32]. Ввиду чрезвычайного разнообразия, динамичности и поливариантности развития лесных экосистем до конца не изучены механизмы поддержания уровня биоразнообразия, устойчивости и тенденции динамики. По-прежнему ощущается недостаток информации о взаимосвязях древостоя и подчиненных ярусов, корреляции их динамики в процессе дигрессивных и восстановительных смен.

Цель работы

Цель работы — исследование влияния состава и возраста древостоя условно-коренных и производных лесов на фитомассу и видового разнообразия травяно-кустарничкового яруса в наиболее распространенном типе леса западных низкогорий Южного Урала — ельниках мелкотравно-зеленомошных.

Объекты и методы

Методической основой выбраны генетическая лесная типология [33], метод пробных площадей и общепринятые методики лесогеоботанических и почвенных исследований [34]. В целях классификации объектов использованы схемы типов леса, составленные согласно принципам генетической лесной типологии [26, 27].

Изучение южно-уральских лесов начато в 1991 г. и является продолжением многолетних лесотипологических исследований Е.М. Фильрозе [26, 27]. В настоящее время район исследований расширен на регионы Среднего и Северного Урала, где по аналогичным методикам исследуются лесотипологические особенности структуры, биоразнообразия и динамики лесных фитоценозов. Широкомасштабные многолетние исследования позволят выполнить сравнительный анализ между регионами и типами леса. В настоящей статье рассматривается один тип — леса Южного Урала. Исследования проведены в западных низкогорьях Южного Урала в пределах Челябинской обл., а также на территории бывшего Челябинского областного бюджетного учреждения (ЧОБУ) «Катав-Ивановское лесничество» (рис. 1).

Объектом исследования служил наиболее распространенный и продуктивный тип леса ельника мелкотравно-зеленомошные на нижних частях пологих склонов с мощными дренированными бурными горно-лесными почвами. Всего заложено 35 пробных площадей (ПП) в субкоренных ельниках, послерубочных пихтарниках, березняках и осинниках (коротко-, длительно- и устойчиво-производных) различного состава и возраста. Размер пробных площадей подбирался таким образом, чтобы на них произрастало не менее 200 деревьев основного поколения преобладающего лесообразователя и в большинстве случаев составлял 0,5 га. Каждая из ПП разбита на четыре секции для объективной оценки показателей подчиненных ярусов.

$$H = - \sum_{i=1}^S p_i \cdot \ln p_i$$

Индекс Шеннона

$$e = \frac{H}{\ln S}$$

Индекс выравненности Пиелу

$$C = \sum_{i=1}^S p_i^2$$

Индекс Симпсона

Рис. 2. Индексы разнообразия: N — общая фитомасса травяно-кустарничкового яруса; S — количество видов травяно-кустарничкового яруса, p_i — относительное обилие

Fig. 2. Indices of diversity: N — total phytomass of grass and shrub layer; S — number of species of grass and shrub layer; p_i — relative abundance

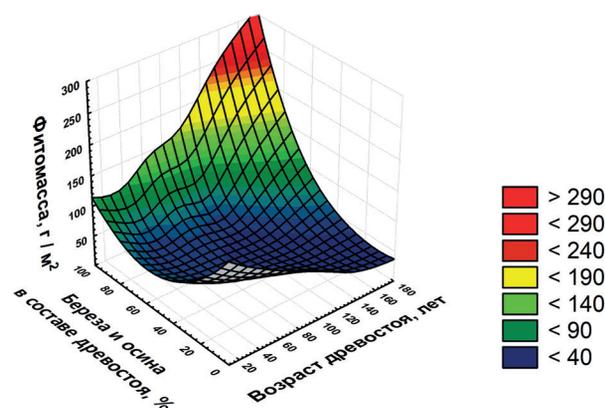


Рис. 3. Зависимость фитомассы травяно-кустарничкового яруса от возраста и состава древостоя

Fig. 3. Dependence of the phytomass of herbaceous-shrubby layer on the age and composition of growing stock

Древостой, естественное возобновление древесных растений, травяно-кустарничковый ярус изучались по апробированным методикам [34, 35]. На ПП древостой исследован Г.В. Андреевым [29, 30]. Материалы исследования древостоя и подростов древесных растений изложены в более ранних совместных публикациях [36–38]. Для определения видовой насыщенности и фитомассы в каждой секции была заложена серия из 15...20 учетных площадок размером 1×1 м, расположенных двумя параллельными рядами. Для определения фитомассы все произрастающие на учетных площадках растения срезались на уровне почвы. Укосы трав разбирались по видовой принадлежности и высушивались до абсолютно сухого состояния (до постоянной массы) при температуре 105 °С. Для уточнения видовой принадлежности растений был использован гербарий Ботанического сада УрО РАН. В наиболее

сложных случаях идентификации растений за помощью обращались к М.С. Князеву.

Для оценки видового разнообразия использовали видовое богатство фитоценоза и индексы разнообразия [39] (рис. 2), которые широко используются в современных исследованиях [40–43]. В расчете индексов разнообразия оказал помощь В.В. Евдокимов. Анализ данных выполнен с помощью программного обеспечения Statistica 6.0 [44]. Для разработки трехмерных графических моделей использовано экспоненциальное сглаживание [45].

Результаты и обсуждение

Важным и наиболее сложным для определения показателем является фитомасса. Установлено, что минимальные значения фитомассы отмечены в старовозрастных (условно-коренных) темнохвойных лесах (рис. 3). С увеличением участия лиственных древесных растений в составе древостоя фитомасса травяно-кустарничкового яруса увеличивается. Также на фитомассу данного яруса оказывает влияние возраст древостоя. Более молодые хвойно-лиственные и лиственно-хвойные леса имеют повышенную фитомассу трав и кустарничков. Темнохвойные молодняки и коротко-производные леса вне зависимости от возраста имеют близкие значения фитомассы травяно-кустарничкового яруса. Максимальных значений фитомасса трав и кустарничков достигает в старо-возрастных устойчиво-производных березняках и осинниках.

Другой важной характеристикой лесного фитоценоза является биоразнообразие, которое определяет устойчивость лесов и направление восстановительно-возрастных смен после разрушающих воздействий. Видовое разнообразие (количество видов сосудистых растений на ПП размером 0,5 га) также проявляет высокую чувствительность к возрасту и составу древесного яруса. Минимальное видовое разнообразие выявлено в условно-коренных темнохвойных лесах (рис. 4). С увеличением в составе древостоя березы и осины видовое богатство увеличивается. Этот критерий достигает максимальных значений в молодых березовых лесах с небольшим количеством хвойных древесных растений (15...35 % общего состава) (см. рис. 4). Кроме того, локальный максимум отмечен для темнохвойных лесов возрастом 100...120 лет и, вероятно, связан с восстановительно-возрастными сменами, перестройкой структуры древостоя в связи с массовым вывалом березы, сопровождаемым появлением окон в пологе древостоя и изменением однородности освещения под пологом леса. В целом темнохвойные леса всех возрастов характеризуются более низким видовым богатством, а производные березняки и осинники (как коротко-производные,

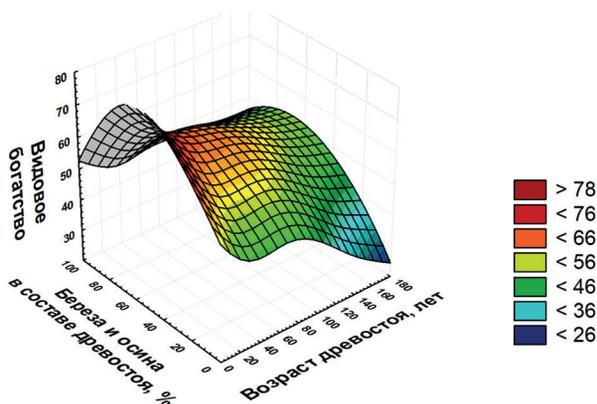


Рис. 4. Зависимость видового богатства фитоценоза от возраста и состава древостоя

Fig. 4. The dependence of the species richness of a phytocenosis on the age and composition of a stand

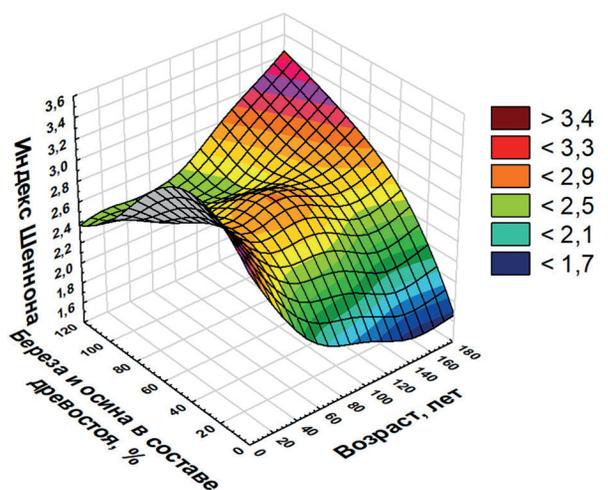


Рис. 5. Зависимость индекса Шеннона от возраста и состава древостоя

Fig. 5. The dependence of the Shannon index on the age and composition of the stand

так и длительно-производные) — повышенным. В итоге форма полученной поверхности, отражающая взаимосвязь древостоя и видового разнообразия растений, характеризуется как достаточно сложная с несколькими максимумами.

Более углубленный анализ зависимости видовой структуры подчиненных ярусов от возраста и состава древостоя проведен на основе индексов разнообразия, рассчитанных на основе значений надземной фитомассы растений в абсолютно сухом состоянии. Нами использованы три индекса разнообразия. Зависимости, полученные на основе индексов Шеннона (рис. 5) и Пиелу (рис. 6) достаточно сложные, с несколькими максимумами и минимумами. При этом по внешнему виду графики очень сходны между собой. Отметим, что интервал варьирования индекса Пиелу лежит между 0 и 1 и является нормировкой индекса Шеннона, поэтому данный

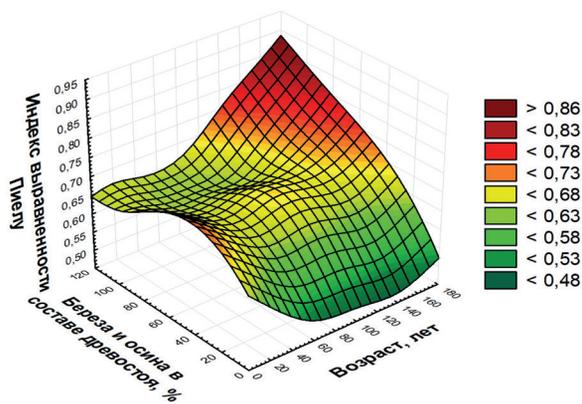


Рис. 6. Зависимость индекса Пиелу от возраста и состава древостоя

Fig. 6. The dependence of the Pielou index on the age and composition of the stand

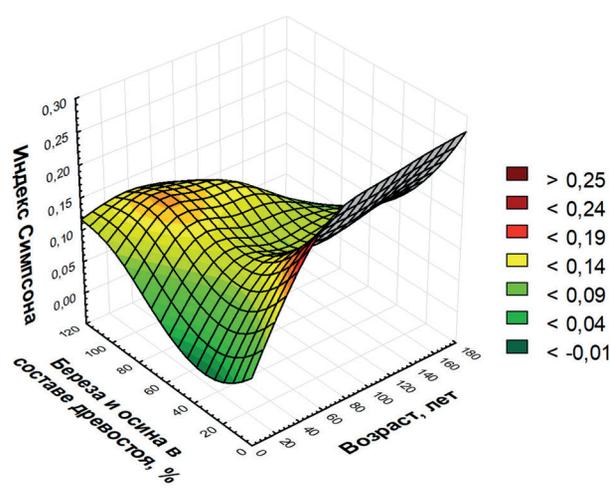


Рис. 7. Зависимость индекса Симпсона от возраста и состава древостоя

Fig. 7. Dependence of the Simpson index on age and composition of growing stock

индекс более удобен в интерпретации, чем индекс Шеннона. Индекс Шеннона для фитоценозов в большинстве случаев принимает значения от 1,5 до 3,5 и редко превышает 4,5. Интерпретировать результаты можно следующим образом: чем больше в фитоценозе видов и чем меньше отличается их обилие (в данном случае фитомасса), тем выше значения индексов Шеннона и Пиелу. Данные индексы в большей степени характеризуют выравненность обилия видов, чем само разнообразие. Результаты наших исследований показали, что данные индексы являются информативными для исследования взаимосвязей между древостоем и травяно-кустарничковым ярусом, а их минимальные значения отмечены в темнохвойных лесах. Локальные максимумы отмечены в хвойно-лиственных молодняках, хвойно-лиственных лесах 100...130-летнего возраста и в чистых (устойчиво-производных) березняках

и осинниках возрастом более 100 лет. Таким образом, данные индексы не только выявляют выравненность обилия видов в травяно-кустарничковом ярусе, но и индицируют стадии дигрессивных и восстановительно-возрастных смен древостоев.

Из различных мер доминирования был выбран индекс Симпсона, который является наиболее популярным у исследователей. При его расчете больше внимания уделяется обилию наиболее распространенных видов, чем редких. Данный индекс характеризует вероятность принадлежности случайно выбранных экземпляров растений к одному и тому же виду. Результаты наших исследований показали сложность зависимости между древостоем и травяно-кустарничковым ярусом на основе индекса Симпсона (рис. 7).

Минимальные значения индекс Симпсона принимает в хвойно-лиственных молодняках, а также в темнохвойно-лиственных древостоях (коротко-производных) в возрасте 90...120 лет и, видимо, связан с восстановительно-возрастными сменами и перестройкой структуры древостоя. Максимальные значения индекс Симпсона принимает в средне- и старовозрастных темнохвойных лесах. Кроме того, отмечается локальный максимум в средне- и старовозрастных чистых (устойчиво-производных) березняках и осинниках. Таким образом, индекс Симпсона не только выявляет степень доминирования в травяно-кустарничковом ярусе, но также индицирует стадии дигрессивных и восстановительно-возрастных смен древостоев.

Выводы

Исследования, проведенные в наиболее распространенном типе леса западных низкогорий — на Южном Урале, подтвердили нашу нулевую гипотезу о возможности моделирования фитомассы и видового разнообразия травяно-кустарничкового яруса по структуре древостоя. Все исследованные критерии: видовое богатство фитоценоза, фитомасса травяно-кустарничкового яруса, биоразнообразие, оцененное на основе индексов Шеннона, Пиелу и Симпсона проявили высокую чувствительность к возрасту и составу древостоя. Разработанные нами графические модели можно использовать для совмещения с данными лесоустройства в целях получения широкомасштабных данных о фитомассе и биоразнообразии травяно-кустарничкового яруса условно-коренных и производных лесов в типе леса ельники мелкотравно-зеленомошные в западных низкогорьях Южного Урала. Для расширения области применения разработанных моделей планируется проведение дополнительных исследований для других типов леса Урала.

Работа выполнена в рамках государственного задания Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ботанический сад УрО РАН.

Список литературы

- [1] Bonan G.B. Forests and climate change: Forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests // *Science*, 2008, v. 320(5882), p. 1444–1449. <https://doi.org/10.1126/science.1155121>
- [2] Albrich K., Rammer W., Seidl R. Climate change causes critical transitions and irreversible alterations of mountain forests // *Global Change Biology*, 2020, no. 26(7), pp. 4013–4027. <https://doi.org/10.1111/gcb.15118>
- [3] Williams C.A., Gu H., Jiao T. Climate impacts of U.S. forest loss span net warming to net cooling // *Science Advances*, 2021, no. 7(7). <https://doi.org/10.1126/sciadv.aax8859>
- [4] Lawrence D., Coe M., Walker W., Verchot L., Vandecar K. The Unseen Effects of Deforestation: Biophysical Effects on Climate // *Frontiers in Forests and Global Change*, 2022, no. 5. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.756115>
- [5] Yonghong S., Fandi L., Gaofeng Z., Zhang K., Qi Z. The biophysical climate mitigation potential of riparian forest ecosystems in arid Northwest China // *Science of the Total Environment*, 2023, no. 862. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160856>
- [6] Усольцев В.А. Биоразнообразие и биопродуктивность лесов в контексте климатогенной биогеографии // *Эко-потенциал*, 2019. № 1 (25). С. 48–115.
- [7] Ivanova N., Fomin V., Kusbach A. Experience of Forest Ecological Classification in Assessment of Vegetation Dynamics // *Sustainability*, 2022, v. 14, no. 6, pp. 3384. <https://doi.org/10.3390/su14063384>
- [8] Liang W., Wei X. Relationships between ecosystems above and below ground including forest structure, herb diversity and soil properties in the mountainous area of Northern China // *Global Ecology and Conservation*, 2020, no. 24. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01228>
- [9] Санникова Н.С., Санников С.Н., Петрова И.В., Мищенко Ю.Д., Черепанова О.Е. Факторы древостоев-эдификатора: количественный анализ и синтез // *Экология*, 2012. № 6. С. 1–7.
- [10] Gilliam F.S. The ecological significance of the herbaceous layer in temperate forest ecosystems // *BioScience*, 2007. <https://doi.org/10.1641/B571007>
- [11] Иванова Н.С. Лесотипологические особенности биоразнообразия и восстановительно-возрастной динамики растительности горных лесов Южного и Среднего Урала: дис. ... д-ра биол. наук 06.03.02. Екатеринбург, 2019. 304 с.
- [12] Ivanova N.S., Zolotova E.S. Model of Forest Restoration // *Population Dynamics: Analysis, Modelling, Forecast*, 2013, no. 2(2), pp. 50–60.
- [13] Ivanova N.S. Recovery of Tree Stand After Clear-cutting in the Ural Mountains // *International J. of Bio-resource and Stress Management*, 2014, v. 5 (1), pp. 90–92.
- [14] Широких П.С., Мартыненко В.Б., Бикбаев И.Г., Наумова Л.Г., Баишева Э.З. Восстановительные сукцессии на вырубках темнохвойно-широколиственных лесов Южного Урала // *Естественные и технические науки*, 2019. № 11 (137). С. 192–197.
- [15] Zolotova E., Ivanova N., Ivanova S. Global Overview of Modern Research Based on Ellenberg Indicator Values // *Diversity*, 2023, no. 15, p. 14. <https://doi.org/10.3390/d15010014>

- [16] Zhigunova S.N., Martynenko V.B., Fedorov N.I., Shendel G.V. The influence of climatic and topographic parameters on the distribution of forest communities of the Ufa plateau // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 6, Politics, Industry, Science, Education. Сер. «VI All-Russian Science and Technology Conference: Forests of Russia: Politics, Industry, Science, Education, FR 2021» 2021. p. 012085. DOI 10.1088/1755-1315/876/1/012085
- [17] Gonzalez M., Augusto L., Gallet-Budynек A., Xue J., Yauschew-Raguenes N., Guyon D., Bakker M.R. Contribution of understory species to total ecosystem aboveground and belowground biomass in temperate *Pinus pinaster* Ait. Forests // Forest Ecology and Management, 2013, no. 289, pp. 38–47. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.10.026>
- [18] Marefat S., Rad J. E., Khanalizadeh A. Effects of mixed beech and hornbeam stands on soil properties and plant species diversity indices in hyrcanian forests of Iran // Madera y Bosques, 2020, no. 26(3), pp. 1–14. <https://doi.org/10.21829/myb.2020.2632015>
- [19] Maiti R., Rodriguez H., Ivanova N. Autoecology and ecophysiology of woody shrubs and trees: concepts and applications // John Wiley & Sons, Ltd., 2016, 355 p.
- [20] Тюлина Л.Н. Материалы по высокогорной растительности // Изв. Гос. геогр. об-ва, 1931. Т. 63. Вып. 5–6. С. 455–492.
- [21] Горчаковский П.Л. Растительность // Урал и Приуралье. М.: Наука, 1968. С. 211–268.
- [22] Котов М.И. Ботанико-географический очерк гор Зигальга и Машак на Южном Урале // Материалы по классификации растительности Урала: тез. докл. на совещ. Свердловск, 1959. С. 59–61.
- [23] Мартыненко В.Б., Соломещ А.И., Жирнова Т.В. Леса Башкирского государственного природного заповедника: синтаксономия и природоохранная значимость. Уфа: Гилем, 2003. 203 с.
- [24] Широких П.С., Мартыненко В.Б., Баишева Э.З., Бикбаев И.Г. Динамика растительности на вырубках южно-уральского региона: основные итоги исследований уфимской геоботанической школы // Фиторазнообразие Восточной Европы, 2018. Т. 12. № 3. С. 17–30.
- [25] Левицкий И.И., Письмеров А.В. Характеристика основных типов елово-пихтовых лесов Уфимского плато // Лесной журнал, 1963. № 5. С. 33–36.
- [26] Фильрозе Е.М. Природные особенности и система хозяйства в горных лесах Южного Урала // Леса Урала и хозяйство в них, 1968. Вып. 2. С. 43–47.
- [27] Фильрозе Е.М. Схема генетической классификации типов леса Южного Урала // Эколого-географические и генетические принципы изучения лесов. Свердловск: Изд-во УНЦ АН СССР, 1983. С. 53–60.
- [28] Фильрозе Е.М., Гладушко Г.М. Экологический анализ структуры лесных массивов в западных низкогорьях Южного Урала // Роль экологических факторов в лесообразовательном процессе на Урале. Свердловск. Изд-во УНЦ АН СССР, 1981. С. 65–84.
- [29] Андреев Г.В. Восстановительно-возрастная динамика темнохвойных древостоев на Южном Урале (на примере северной части западного макросклона): автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.03. Екатеринбург, 2005. 26 с.
- [30] Андреев Г.В. Структура и динамика длительно-производных березняков на Южном Урале // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова, 2022. № 1 (66). С. 60–67.
- [31] Горичев Ю.П., Давыдычев А.Н., Кулагин А.Ю. О лесообразующей роли темнохвойных пород на Южном Урале // Вестник Оренбургского государственного университета, 2017. № 12 (212). С. 48–50.
- [32] Окишев Б.Ф. Возобновление ели и пихты // Возобновительные процессы в горных широколиственно-хвойных лесах. Уфа, 1981. С. 4–14.
- [33] Колесников Б.П. Кедровые леса Дальнего Востока. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1956. 261с.
- [34] Ivanova N. Research Methods of Timber-Yielding Plants (in the Example of Boreal Forests) // Biology, Productivity and Bioenergy of Timber-Yielding Plants / M.N. Heya, R. Maiti, R.F. Pournavab, A. Carrillo-Parra Springer Briefs in Plant Science. Springer, Cham, 2017, pp. 121–137.
- [35] Ануцин Н.П. Лесная таксация. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 552 с.
- [36] Иванова Н.С., Андреев Г.В. Естественное восстановление структуры ценопопуляций ели сибирской и пихты сибирской в темнохвойных лесах Южного Урала // Аграрный вестник Урала, 2008. № 6. С. 82–86.
- [37] Иванова Н.С., Андреев Г.В. Естественное восстановление структуры ценопопуляций ели сибирской и пихты сибирской под пологом коротко-производных березняков в горах Южного Урала // Аграрный вестник Урала, 2008. № 7. С. 75–77.
- [38] Иванова Н.С., Андреев Г.В. Естественное восстановление структуры ценопопуляций ели сибирской и пихты сибирской под пологом длительно-производных березняков в горах Южного Урала // Аграрный вестник Урала, 2008. № 8. С. 74–76.
- [39] Hill M.O. Diversity and evenness: A unifying notation and its consequences // Ecology, 1973, no. 54, pp. 427–432. <https://doi.org/10.2307/1934352>
- [40] Gamito S. Caution is needed when applying Margalef diversity index // Ecological Indicators, 2010, no. 10(2), pp. 550–551. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.07.006>
- [41] Cadena-Zamudio D.A., Flores-Garnica J.G., Lomeli-Zavala M.E., Flores-Rodríguez A.G. Does the severity of a forest fire modify the composition, diversity and structure of temperate forests in Jalisco? // Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente, 2022, no. 28(1), pp. 3–20. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2020.12.076>
- [42] Hsieh T.-Y., Yang C.-J., Li F., Chiou C.-R. Numerical Ecology and Social Network Analysis of the Forest Community in the Lienhuachih Area of Taiwan // Diversity, 2023, no. 15, p. 60. <https://doi.org/10.3390/d15010060>
- [43] Liang H., Fu T., Gao H., Li M., Liu J. Climatic and Non-Climatic Drivers of Plant Diversity along an Altitudinal Gradient in the Taihang Mountains of Northern China // Diversity, 2023, no. 15, p. 66. <https://doi.org/10.3390/d15010066>
- [44] Халафян А.А. Statistica 6. Статистический анализ данных. М.: Бином-пресс, 2010. 528 с.
- [45] Грешилов А.А., Стакун В.А., Стакун А.А. Математические методы построения прогнозов. М.: Радио и связь, 1997. 112 с.

Сведения об авторе

Иванова Наталья Сергеевна — д-р биол. наук, вед. науч. сотр., ФГБУН Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук (Ботанический сад УрО РАН), i.n.s@bk.ru

Поступила в редакцию 30.01.2023.

Одобрено после рецензирования 28.03.2023.

Принята к публикации 14.06.2023.

IMPACT OF STAND ON BIOMASS AND SPECIES DIVERSITY OF HERB LAYER IN MOUNTAIN FORESTS OF SOUTHERN URALS

N.S. Ivanova

Institute Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 202a, 8 Marta st., 620144, Yekaterinburg, Russia

i.n.s@bk.ru

The effect of the stand composition and age of subclimax and secondary forests on the biomass and species diversity of the herb layer in the most common forest type in the western low mountains of the Southern Urals (spruce small-grass-green-moss forests) was investigated. It was found that all of the criteria investigated as species richness of plant community, biomass of herb layer, biodiversity estimated on the basis of Shannon, Pielou, Simpson indices showed high sensitivity to the age and composition of the stand. We found that the graphical models we developed can be used to combine with forest inventory data to obtain large-scale data on biomass and biodiversity of subordinate layers of subclimax and secondary forests in the shallow grass-green-mossy spruce forest type of western low mountains of the Southern Urals.

Keywords: Southern Urals, mountain forests, biomass, diversity indices

Suggested citation: Ivanova N.S. *Vliyanie drevostoya na fitomassu i vidovoe raznoobrazie travyano-kustarnichkovogo yarusa v gornykh lesakh Yuzhnogo Urala* [Impact of stand on biomass and species diversity of herb layer in mountain forests of Southern Urals]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 4, pp. 14–22. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-14-22

References

- [1] Bonan G.B. Forests and climate change: Forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. *Science*, 2008, v. 320(5882), p. 1444–1449. <https://doi.org/10.1126/science.1155121>
- [2] Albrich K., Rammer W., Seidl R. Climate change causes critical transitions and irreversible alterations of mountain forests. *Global Change Biology*, 2020, no. 26(7), pp. 4013–4027. <https://doi.org/10.1111/gcb.15118>
- [3] Williams C.A., Gu H., Jiao T. Climate impacts of U.S. forest loss span net warming to net cooling. *Science Advances*, 2021, no. 7(7). <https://doi.org/10.1126/sciadv.aax8859>
- [4] Lawrence D., Coe M., Walker W., Verchot L., Vandecar K. The Unseen Effects of Deforestation: Biophysical Effects on Climate. *Frontiers in Forests and Global Change*, 2022, no. 5. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.756115>
- [5] Yonghong S., Fandi L., Gaofeng Z., Zhang K., Qi Z. The biophysical climate mitigation potential of riparian forest ecosystems in arid Northwest China. *Science of the Total Environment*, 2023, no. 862. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160856>
- [6] Usol'tsev V.A. *Bioraznoobrazie i bioproduktivnost' lesov v kontekste klimatogennoy biogeografii* [Biodiversity and bioproductivity of forests in the context of climatogenic biogeography]. *Eco-potential*, 2019, no. 1 (25), pp. 48–115.
- [7] Ivanova N., Fomin V., Kusbach A. Experience of Forest Ecological Classification in Assessment of Vegetation Dynamics. *Sustainability*, 2022, v. 14, no. 6, pp. 3384. <https://doi.org/10.3390/su14063384>
- [8] Liang W., Wei X. Relationships between ecosystems above and below ground including forest structure, herb diversity and soil properties in the mountainous area of Northern China. *Global Ecology and Conservation*, 2020, no. 24. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01228>
- [9] Sannikova N.S., Sannikov S.N., Petrova I.V., Mishchikhina Yu.D., Cherepanova O.E. *Factory drevostoya-edifikatora: kolichestvennyy analiz i sintez* [Tree stand-edifier factors: quantitative analysis and synthesis]. *Ekologiya [Ecology]*, 2012, no. 6, pp. 1–7.
- [10] Gilliam F.S. The ecological significance of the herbaceous layer in temperate forest ecosystems. *BioScience*, 2007. <https://doi.org/10.1641/B571007>
- [11] Ivanova N.S. *Lesotipologicheskie osobennosti bioraznoobraziya i vosstanovitel'no-vozhrastnoy dinamiki rastitel'nosti gornykh 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]. *Dis. Dr. Sci. (Biol.)* 06.03.02. Yekaterinburg, 2019, 304 p.
- [12] Ivanova N.S., Zolotova E.S. *Model of Forest Restoration // Population Dynamics: Analysis, Modelling, Forecast*, 2013, no. 2(2), pp. 50–60.
- [13] Ivanova N.S. Recovery of Tree Stand After Clear-cutting in the Ural Mountains. *International J. of Bio-resource and Stress Management*, 2014, v. 5 (1), pp. 90–92.

- [14] Shirokikh P.S., Martynenko V.B., Bikbaev I.G., Naumova L.G., Baisheva E.Z. *Vosstanovitel'nye suksessii na vyrubkakh temnokhvoynno-shirokolistvennykh lesov Yuzhnogo Urala* [Restorative successions in clearings of dark coniferous-broad-leaved forests of the Southern Urals]. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Natural and technical sciences], 2019, no. 11 (137), pp. 192–197.
- [15] Zolotova E., Ivanova N., Ivanova S. Global Overview of Modern Research Based on Ellenberg Indicator Values. *Diversity*, 2023, no. 15, p. 14. <https://doi.org/10.3390/d15010014>
- [16] Zhigunova S.N., Martynenko V.B., Fedorov N.I., Shendel G.V. The influence of climatic and topographic parameters on the distribution of forest communities of the Ufa plateau. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 6, Politics, Industry, Science, Education. Cep. «VI All-Russian Science and Technology Conference: Forests of Russia: Politics, Industry, Science, Education, FR 2021» 2021. p. 012085. DOI 10.1088/1755-1315/876/1/012085
- [17] Gonzalez M., Augusto L., Gallet-Budynek A., Xue J., Yauschew-Raguenees N., Guyon D., Bakker M. R. Contribution of understory species to total ecosystem aboveground and belowground biomass in temperate *Pinus pinaster* Ait. *Forests. Forest Ecology and Management*, 2013, no. 289, pp. 38–47. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.10.026>
- [18] Marefat S., Rad J. E., Khanalizadeh A. Effects of mixed beech and hornbeam stands on soil properties and plant species diversity indices in hyrcanian forests of Iran. *Madera y Bosques*, 2020, no. 26(3), pp. 1–14. <https://doi.org/10.21829/myb.2020.2632015>
- [19] Maiti R., Rodriguez H., Ivanova N. *Autoecology and ecophysiology of woody shrubs and trees: concepts and applications*. John Wiley & Sons, Ltd., 2016, 355 p.
- [20] Tyulina L.N. *Materialy po vysokogornoy rastitel'nosti* [Materials on alpine vegetation]. *Izv. Gos. geogr. obshchestva* [Proceedings of the State Geographical Society], 1931, t. 63, iss. 5–6, pp. 455–492.
- [21] Gorchakovskiy P.L. *Rastitel'nost'* [Vegetation]. Ural i Priural'e [Urals and Urals]. Moscow: Nauka, 1968, pp. 211–268.
- [22] Kotov M.I. *Botaniko-geograficheskoy ocherk gor Zigal'ga i Mashak na Yuzhnom Urale* [Botanical and geographical outline of the mountains Zigalga and Mashak in the Southern Urals]. *Materialy po klassifikatsii rastitel'nosti Urala* [Materials on the classification of vegetation of the Urals]: abstracts of reports. Sverdlovsk, 1959, pp. 59–61.
- [23] Martynenko V.B., Solomeshch A.I., Zhirnova T.V. *Lesy Bashkirskogo gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika: sintaksonomiya i prirodookhrannaya znachimost'* [Forests of the Bashkir State Nature Reserve: syntaxonomy and conservation significance]. Ufa: Guilem, 2003, 203 p.
- [24] Shirokikh P.S., Martynenko V.B., Baisheva E.Z., Bikbaev I.G. *Dinamika rastitel'nosti na vyrubkakh yuzhno-ural'skogo regiona: osnovnye itogi issledovaniy ufimskoy geobotanicheskoy shkoly* [Vegetation dynamics in the clearings of the South Ural region: the main results of the studies of the Ufa geobotanical school]. *Fitoraznoobrazie Vostochnoy Evropy* [Phytodiversity of Eastern Europe], 2018, v. 12, no. 3, pp. 17–30.
- [25] Levitskiy I.I., Pis'merov A.V. *Kharakteristika osnovnykh tipov elovo-pikhtovykh lesov Ufimskogo plato* [Characteristics of the main types of spruce-fir forests of the Ufimsky plateau]. *Lesnoy zhurnal* [Forest Journal], 1963, no. 5, pp. 33–36.
- [26] Fil'roze E.M. *Prirodnye osobennosti i sistema khozyaystva v gornyykh lesakh Yuzhnogo Urala* [Natural features and system of economy in the mountain forests of the Southern Urals]. *Lesy Urala i khozyaystvo v nikh* [Forests of the Urals and the economy in them], 1968, iss. 2, pp. 43–47.
- [27] Fil'roze E.M. *Skhema geneticheskoy klassifikatsii tipov lesa Yuzhnogo Urala* [Scheme of genetic classification of forest types in the Southern Urals]. *Ekologo-geograficheskie i geneticheskie printsipy izucheniya lesov* [Ecological-geographical and genetic principles of studying forests]. Sverdlovsk: UNTs AN SSSR, 1983, pp. 53–60.
- [28] Fil'roze E.M., Gladushko G.M. *Ekologicheskyy analiz struktury lesnykh massivov v zapadnykh nizkogor'yakh Yuzhnogo Urala* [Ecological analysis of the structure of forests in the western low mountains of the Southern Urals]. *Rol' ekologicheskikh faktorov v lesoobrazovatel'nom protsesse na Urale* [The role of environmental factors in the forest formation process in the Urals]. Sverdlovsk: AN SSSR, 1981, pp. 65–84.
- [29] Andreev G.V. *Vosstanovitel'no-voznrastnaya dinamika temnokhvoynnykh drevostoev na Yuzhnom Urale (na primere severnoy chasti zapadnogo makrosklona)* [Restoration and age dynamics of dark coniferous forest stands in the Southern Urals (on the example of the northern part of the western macroslope)]. *Diss. Cand. Sci. (Agric.) 06.03.03*. Yekaterinburg, 2005, 26 p.
- [30] Andreev G.V. *Struktura i dinamika dlitel'no-proizvodnykh bereznyakov na Yuzhnom Urale* [Structure and dynamics of long-term derivative birch forests in the Southern Urals]. *Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii im. V.R. Filippova* [Bulletin of the Buryat State Agricultural Academy V.R. Filippova], 2022, no. 1 (66), pp. 60–67.
- [31] Gorichev Yu.P., Davydychev A.N., Kulagin A.Yu. *O lesoobrazuyushchey roli temnokhvoynnykh porod na Yuzhnom Urale* [On the forest-forming role of dark coniferous species in the Southern Urals]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Orenburg State University], 2017, no. 12 (212), pp. 48–50.
- [32] Okishev B.F. *Vozobnovlenie eli i pikhty* [Renewal of spruce and fir]. *Vosstanovitel'nye protsessy v gornyykh shirokolistvennokhvoynnykh lesakh* [Renewal processes in mountain broad-leaved-coniferous forests]. Ufa, 1981, pp. 4–14.
- [33] Kolesnikov B.P. *Kedrovye lesa Dal'nego Vostoka* [Cedar forests of the Far East]. Moscow-Leningrad: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1956, 261p.
- [34] Ivanova N. *Research Methods of Timber-Yielding Plants (in the Example of Boreal Forests). Biology, Productivity and Bioenergy of Timber-Yielding Plants* / Heya M.N., Maiti R., Pournavab R.F., Carrillo-Parra A. *Springer Briefs in Plant Science*. Springer, Cham. 2017, pp. 121–137.
- [35] Anuchin N.P. *Lesnaya taksatsiya* [Forest taxation]. Moscow: Lesn. prom-st', 1982, 552 p.
- [36] Ivanova N.S., Andreev G.V. *Estestvennoe vosstanovlenie struktury tsenopopulyatsiy eli sibirskoy i pikhty sibirskoy v temnokhvoynnykh lesakh Yuzhnogo Urala* [Natural restoration of the structure of cenopopulations of Siberian spruce and Siberian fir in the dark coniferous forests of the Southern Urals]. *Agrarnyy vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], 2008, no. 6, pp. 82–86.
- [37] Ivanova N.S., Andreev G.V. *Estestvennoe vosstanovlenie struktury tsenopopulyatsiy eli sibirskoy i pikhty sibirskoy pod pologom korotko-proizvodnykh bereznyakov v gorakh Yuzhnogo Urala* [Natural restoration of the structure of cenopopulations of Siberian spruce and Siberian fir under the canopy of short-derived birch forests in the mountains of the Southern Urals]. *Agrarnyy vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], 2008, no. 7, pp. 75–77.

- [38] Ivanova N.S., Andreev G.V. *Estestvennoe vosstanovlenie struktury tsenopopulyatsiy eli sibirskoy i pikhty sibirskoy pod pologom dlitel'no-proizvodnykh bereznyakov v gorakh Yuzhnogo Urala* [Natural restoration of the structure of cenopopulations of Siberian spruce and Siberian fir under the canopy of long-term derivative birch forests in the mountains of the Southern Urals]. *Agrarnyy vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], 2008, no. 8, pp. 74–76.
- [39] Hill M.O. Diversity and evenness: A unifying notation and its consequences. *Ecology*, 1973, no. 54, pp. 427–432. <https://doi.org/10.2307/1934352>
- [40] Gamito S. Caution is needed when applying Margalef diversity index. *Ecological Indicators*, 2010, no. 10(2), pp. 550–551. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.07.006>
- [41] Cadena-Zamudio D.A., Flores-Garnica J.G., Lomelí-Zavala M.E., Flores-Rodríguez A.G. Does the severity of a forest fire modify the composition, diversity and structure of temperate forests in Jalisco?. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 2022, no. 28(1), pp. 3–20. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2020.12.076>
- [42] Hsieh T.-Y., Yang C.-J., Li F., Chiou C.-R. Numerical Ecology and Social Network Analysis of the Forest Community in the Lienhuachih Area of Taiwan. *Diversity*, 2023, no. 15, p. 60. <https://doi.org/10.3390/d15010060>
- [43] Liang H., Fu T., Gao H., Li M., Liu J. Climatic and Non-Climatic Drivers of Plant Diversity along an Altitudinal Gradient in the Taihang Mountains of Northern China. *Diversity*, 2023, no. 15, p. 66. <https://doi.org/10.3390/d15010066>
- [44] Khalafyan A.A. *Statistica 6. Statisticheskiy analiz dannyykh* [Statistica 6. Statistical analysis of data]. Moscow: Binom-press, 2010, 528 p.
- [45] Greshilov A.A., Stakun V.A., Stakun A.A. *Matematicheskie metody postroeniya prognozov* [Mathematical methods for constructing forecasts]. Moscow: Radio and communication, 1997, 112 p.

This work was performed under the state assignment of the Federal State Budgetary Scientific Institution Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences.

Author's information

Ivanova Natal'ya Sergeevna — Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, Institute Botanic Garden Ural Branch of Russian Academy of Sciences, i.n.s@bk.ru

Received 30.01.2023.

Approved after review 28.03.2023.

Accepted for publication 14.06.2023.