

ЛЕСА РОССИИ И ХОЗЯЙСТВО В НИХ



ЛЕСА РОССИИ И ХОЗЯЙСТВО В НИХ

Журнал

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-31334,

выдано Россвязьохранкультурой 05.03.2008 г.

Издается с 2002 года

Выходит четыре раза в год



Редакционный совет:

Е. П. Платонов – председатель редакционного совета,
главный редактор**В. В. Фомин** – зам. гл. редактора**С. В. Залесов** – зам. гл. редактора

Редколлегия:

А. В. Вураско, Э. Ф. Герц, З. Я. Нагимов, И. В. Петрова,

А. Н. Рахимжанов, Р. Р. Сафин, Р. Р. Султанова,

В. А. Усольцев, П. А. Цветков

Редакция журнала:

Н. П. Бунькова – зав. редакционно-издательским отделом**И. А. Панин** – ответственный за выпуск**Е. Л. Михайлова** – редактор**Т. В. Упорова** – компьютерная верстка

Фото на обложке И. А. Панина

Материалы для публикации подаются ответственному
за выпуск журнала И. А. Панину
(контактный телефон 8 (952) 743-44-87,
e-mail: paninia@m.usfeu.ru)
или в РИО (контактный телефон 8 (343) 221-21-44)

Подписано в печать 21.12.2021.

Дата выхода в свет 28.12.2021.

Формат 60×84/8. Печать офсетная.

Уч.-изд. л. 9,36. Усл. печ. л. 10,00.

Тираж 100 экз. (1-й завод 36 экз.). Заказ № 7259.

Учредитель: ФГБОУ ВО «Уральский государственный
лесотехнический университет»
620100, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37
Тел.: 8(343) 221-21-00Адрес редакции и издательства:
Редакционно-издательский отдел
ФГБОУ ВО «Уральский государственный
лесотехнический университет»
620100, Екатеринбург, Сибирский тракт, 33а/1
Тел.: 8(343)221-21-44

Цена свободная

Отпечатано с готового оригинал-макета
Типография ООО ИЗДАТЕЛЬСТВО
«УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЦЕНТР УПИ»
620062, РФ, Свердловская область, Екатеринбург,
ул. Гагарина, 35а, оф. 2© ФГБОУ ВО «Уральский государственный
лесотехнический университет», 2021

К сведению авторов

Внимание! Редакция принимает только те материалы,
которые полностью соответствуют обозначенным ниже требованиям.
Недоукомплектованный пакет материалов не рассматривается.
Плата за публикацию рукописей не взимается.1. Статьи должны содержать результаты научных исследований, которые
можно использовать в практической работе специалистов лесного хозяйства, ле-
сопромышленного комплекса и смежных с ними отраслей (экономики и органи-
зации лесопользования, лесного машиностроения, охраны окружающей среды и
экологии), либо представлять познавательный интерес (исторические материалы,
краеведение и др.). Рекомендуемый объем статей – 8–10 страниц текста (не менее
4 страниц). Размер шрифта – 14, интервал – 1,5, гарнитура – Times New Roman,
поля – 2,5 см со всех сторон. Абзацный отступ – 1 см.

2. Структура представляемого материала следующая.

Номер УДК определяется в соответствии с классификатором (выравнивание
по левому краю, без абзацного отступа).**Заглавие статьи** должно быть информативным. В заглавии можно исполь-
зовать только общепринятые сокращения. Все буквы прописные, полужирное
начертание (выравнивание по центру, без абзацного отступа).**Сведения об авторах:** фамилия, имя, отчество (полужирное начертание),
ученая степень, звание; место работы (официальное название организации и
почтовый адрес обязательно); электронный адрес, телефон (выравнивание по
правому краю).**Ключевые слова** (до 10 слов) – это определенные слова из текста, по которым
ведется оценка и поиск статьи. В качестве ключевых слов могут использоваться
как слова, так и словосочетания.**Аннотация (резюме)** должна соответствовать требованиям ГОСТ 7.9-95

«Реферат и аннотация. Общие требования». Она должна быть:

- информативной (не содержать общих слов);
 - оригинальной;
 - содержательной (отражать основную суть статьи и результаты исследова-
ний);
 - структурированной (следовать логике описания результатов в статье);
 - объемом 200–250 слов, но не более 2000 знаков с пробелами.
- Аннотация включает следующие аспекты содержания статьи:
- предмет, цель работы;
 - метод или методологию проведения работы;
 - результаты работы;
 - область применения результатов;
 - выводы.

Далее следует на **английском языке** заглавие статьи, сведения об авторах,
ключевые слова, аннотация (резюме).**В тексте статьи** необходимо выделить заголовки разделов («Введение»,
«Цель, задача, методика и объекты исследования», «Результаты исследования
и их обсуждение», «Выводы», «Библиографический список»).Ссылки на литературу, используемую в тексте, обозначаются в **квадратных
скобках**, нумерация сквозная, возрастает с единицы по мере упоминания источ-
ников.Линии графиков и рисунков в файле должны быть сгруппированы. Таблицы
представляются в формате Word, формулы – в стандартном редакторе формул
Word, структурные химические – в ISIS / Draw или сканированные, диаграммы –
в Excel. Иллюстрации представляются в электронном виде в стандартном редак-
торе формул Word (Вставка – Объект – Создание – Тип объекта MathType 6.0
Equation, в появившемся окне набирается формула). Рекомендуется нумерацию
формул также делать сквозной. Нумеровать следует только те формулы, на ко-
торые есть ссылки в тексте. Иллюстрации представляются в электронном виде
в стандартных графических форматах. Также обязательно переводить названия
к иллюстрациям, данные иллюстраций, табличные данные вместе с заголовками
непосредственно с показателями и примечаниями, т. е. сначала приводятся табли-
цы и иллюстрации на русском языке, затем на английском.**Библиографический список** оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.05–2008
(на русском и английском языках).3. На каждую статью требуется одна **внешняя** рецензия. Перед публикацией
редакция вправе направлять материалы на дополнительное рецензирование в ве-
дущие НИИ соответствующего профиля по всей России. Внимание! Рецензентом
может выступать только доктор наук или член Академии наук!4. На публикацию представляемых в редакцию материалов требуется
письменное разрешение организации, на средства которой проводилась работа,
если авторские права принадлежат ей.

5. Авторы представляют в редакцию журнала:

- статью в печатном и электронном виде (формат DOC или RTF) в одном
экземпляре, без рукописных вставок, на одной стороне стандартного ли-
ста, подписанную на обороте последнего листа всеми авторами, с указа-
нием даты сдачи материала. Материалы, присланные в полном объеме по
электронной почте, дублировать на бумажных носителях не обязательно.
Адрес электронной почты – 952011169@mail.ru (Бачурина Анна Влади-
мировна);
 - иллюстрации к статье (при наличии);
 - рецензию;
 - авторскую справку или экспертное заключение;
 - согласие на публикацию статьи и персональных данных.
6. Фотографии авторов не требуются.

Усольцев В. А., Цепордей И. С.

Пространственно-временное замещение в экологии и проблема адаптации растений в условиях изменения климата 4

Боярский А. А., Аржанников Ю. А., Панин И. А.

Ресурсы плодовых растений подлеска в сосняках и березняках подзоны южной тайги Свердловской области 40

Шевелина И. В., Воробьева Т. С., Суслов А. В., Киришаум А. Р., Мальчихин О. Н.

Рекреационный потенциал насаждений парка «Березовая роща» в г. Екатеринбурге 49

Фролова Т. И., Протазанова П. С., Антупьева В. Ф., Антончук А. В.

Сохранение биоразнообразия в Имеретинской низменности города Сочи, путем создания орнитологического природного парка 57

Бартыш А. А., Никитин Р. Р.

Оценка зарастания сельскохозяйственных земель лесной растительностью в Берёзовском городском округе Свердловской области 63

Савиных Т. И., Савиных М. А., Якимович С. Б.

Сравнительный анализ способов заготовки древесины харвестером по критерию производительности и удельной энергоёмкости 69

Тишкина Е. А., Кожухина И. А.

Сорта сирени обыкновенной (*Syringa* L., Oleaceae), культивируемые в Ботаническом саду УРО РАН 75

Content

Usoltsev V. A., Tsepordey I. S.

Space-for-time substitution in ecology and the problem of plant adaptation
in the conditions of climate change 5

Boyarsky A. A., Arzhannikov Yu. A., Panin I. A.

Resources of undergrowth fruit plants in pine and birch forests
of the southern taiga subzone of the Sverdlovsk region 40

**Shevelina I. V., Vorobyeva T. S., Suslov A. V., Kirshbaum A. R.,
Malchikhin O. N.**

Recreational potential of plantings of the park «Birch grove» in Yekaterinburg 50

Frolova T. I., Protazanova P. S., Antufyeva V. F., Antonchuk A. V.

Conservation of biodiversity in the Imereti lowland of Sochi, through the creation
of an ornithological natural park 58

Bartysh A. A., Nikitin R. R.

Assessment of overgrowth of agricultural land with forest vegetation
in the Berezovsky city district of the Sverdlovsk region 64

Savinykh T. I., Savinykh M. A., Yakimovich S. B.

Comparative analysis of methods of harvesting wood by harvester according to the criterion
of productivity and specific energy intensity 70

Tishkina E. A., Kozhukhina I. A.

Sorts of *Syringa vulgaris* (*Syringa* L., Oleaceae) culti-vated in the Botanical garden
of the Ural branch of the Russian academy of sciences 76

Леса России и хозяйство в них. 2021. № 4. С. 4–39

Forests of Russia and economy in them. 2021. № 4. P. 4–39

Обзорная статья

УДК 630*52

Doi: 10.51318/FRET.2021.55.23.001

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ ЗАМЕЩЕНИЕ В ЭКОЛОГИИ И ПРОБЛЕМА АДАПТАЦИИ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Владимир Андреевич Усольцев¹, Иван Степанович Цепордей²

^{1,2} Ботанический сад Уральского отделения РАН, Екатеринбург, Россия

¹ Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

¹ Usoltsev50@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4587-8952>

² ivan.tsepordey@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-4747-5017>

Аннотация. Пространственно-временное замещение означает использование современных закономерностей и явлений, наблюдаемых в пространственных градиентах, для понимания и моделирования тех же закономерностей и процессов в ретроспективных и перспективных градиентах времени, которые на данный момент не поддаются наблюдению. Считается, что статистическую взаимосвязь между факторами окружающей среды и реакцией экосистем лучше всего выявить на основе наблюдений в течение длительного периода времени. Однако во многих случаях долгосрочные данные временных рядов недоступны, и тогда исследователи в своих моделях заменяют временные данные пространственными данными. Истоки теории пространственно-временного замещения восходят в XIX в., когда немецкий физик Больцман разработал кинетическую теорию газов. В наши дни методы, основанные на пространственно-временном замещении, применяются в разных областях: палеоклиматологии, геоморфологии, ландшафтоведении и экологических исследованиях. Метод пространственно-временного замещения используется в лесной таксации для построения таблиц хода роста путем подбора древостоев одного естественного ряда, а в лесной экологии – при прогнозировании растительных сукцессий, в частности восстановительно-возрастного морфогенеза таежных лесов. В связи с прогрессирующими климатическими изменениями применение метода пространственно-временного замещения в экологии является особенно актуальным. При построении трансконтинентальных моделей биомассы, чувствительных к изменению климата, на основе принципа пространственно-временного замещения установлено, что зависимость биомассы от температур и осадков описывается пропеллерообразной 3D-поверхностью. В холодных регионах при повышении осадков биомасса снижается, но по мере перехода к теплым регионам она характеризуется противоположным трендом; при повышении температуры во влажных регионах биомасса увеличивается, но по мере перехода в сухие условия снижается. Тем самым подтверждено действие закона лимитирующего фактора в отношении лесных сообществ в условиях изменения климата. Применение метода пространственно-временного замещения связано с рядом неопределенностей, и одна из них устанавливается различными адаптационными возможностями древесных растений, иногда даже у разных видов в пределах рода. Тем не менее, когда нет иной возможности исследовать экосистемные процессы в ретроспективе или перспективе, метод пространственно-временного замещения представляет вполне приемлемую альтернативу.

Ключевые слова: пространственно-временное замещение, палеоклиматология, геоморфология, ландшафтоведение, экология, растительные сукцессии, трансконтинентальные климатические тренды лесной биомассы и их прогнозирование, закон лимитирующего фактора

Review article

SPACE-FOR-TIME SUBSTITUTION IN ECOLOGY AND THE PROBLEM OF PLANT ADAPTATION IN THE CONDITIONS OF CLIMATE CHANGE

Vladimir A. Usoltsev¹, Ivan S. Tsepordey²^{1,2} Botanical Garden of Ural Branch of RAS, Yekaterinburg, Russia,² Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia,¹ Usoltsev50@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4587-8952>² ivan.tsepordey@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-4747-5017>

Abstract. Space-for-time substitution means the use of modern patterns and phenomena observed in spatial gradients to understand and model the same patterns and processes in retrospective and prospective temporal gradients that are currently not observable. It is believed that the statistical relationship between environmental factors and the response of ecosystems is best identified using observations over a long period of time. However, in many cases, long-term time series data is not available, and then researchers in their models replace the temporal data with spatial data. The origins of the theory of space-time substitution go back to the XIX century, when the German physicist Boltzmann developed the kinetic theory of gases. Nowadays, methods based on space-for-time substitution are used in various fields: paleoclimatology, geomorphology, landscape sciences and environmental studies. The method of space-for-time substitution is used in forest taxation to build forest yield tables by selecting stands of one natural sequence of different ages, and in forest ecology – when predicting plant successions, in particular, the restoration-age morphogenesis of taiga forests. Due to the progressive climatic changes, the use of the method of space-for-time substitution in ecology is especially relevant. When constructing transcontinental models of biomass sensitive to climate change, based on the principle of space-for-time substitution, it was found that the dependence of biomass on temperatures and precipitation is described by a propeller-shaped 3D surface. In cold regions, when precipitation increases, the biomass decreases, but as the transition to warm regions proceeds, it is characterized by the opposite trend; when the temperature increases in wet regions, the biomass increases, but as the transition to dry conditions, it decreases. Thus, the effect of the law of the limiting factor in relation to forest communities in the conditions of climate change is confirmed. The use of the principle of space-for-time substitution is associated with a number of uncertainties, and one of them is determined by different adaptive capabilities of woody plants, sometimes even in different species within the genus. Nevertheless, when there is no other way to study ecosystem processes in retrospect or perspective, the method of space-for-time substitution is a completely acceptable alternative.

Keywords: *space-for-time substitution, paleoclimatology, geomorphology, landscape studies, ecology, plant succession, transcontinental climate trends of forest biomass and their forecasting, the law of the limiting factor*

Введение

Пространственно-временное замещение означает использование современных закономерностей и явлений, наблюдаемых в пространственных градиентах, для понимания и моделирования тех же закономерностей и процессов в ретроспективных и пер-

спективных градиентах времени, которые на данный момент не поддаются наблюдению [1]. При экологическом прогнозировании используются научные данные для моделирования сценариев экосистемных изменений [2]. Корректно применяемые модели незаменимы в управлении

окружающей средой, поскольку они позволяют принимать правильные решения и улучшают коммуникацию между учеными и менеджерами. Однако прогностическая способность этих моделей зависит от количества и качества данных, используемых для определения статистической

взаимосвязи между факторами окружающей среды и реакцией экосистем. Считается, что эту взаимосвязь лучше всего выявить на основе наблюдений в течение длительного периода времени [3]. Однако во многих случаях долгосрочные данные временных рядов недоступны. В качестве альтернативы исследователи в своих моделях заменяют временные данные пространственными данными, предполагая, что пространственная взаимосвязь между фактором окружающей среды и переменной отклика может использоваться в качестве прогноза временной взаимосвязи. Сбор данных с широким пространственным охватом за короткий промежуток времени позволяет исследователям увеличить диапазон и количество экспериментальных данных, используемых для определения взаимосвязи между экологическими факторами и реакцией на них, без необходимости сбора данных в течение многих лет.

Однако не все исследователи считают использование пространственно-временного замещения приемлемым способом построения прогностических моделей. Проблематичность метода заключается в том, что факторы, отличные от целевого, могут влиять на реакцию экосистемы и варьировать в пространственном отношении [4]. Это может привести к ошибочной корреляции между целевым фактором и реакцией экосистемы, хотя степень этой проблематичности в литературе оценивается по-разному [5–9].

Истоки теории пространственно-временного замещения

Истоки теории пространственно-временного замещения восходят в XIX в., когда немецкий физик Больцман разработал кинетическую теорию газов [10]. Согласно этой теории, в классической системе ньютоновской механики молекулярное движение одной молекулы газа в пространстве имеет три степени свободы. Исходя из этого, для описания движения частицы могут быть определены скорость движения и траектория. Однако для популяции, состоящей из большого числа частиц, степень свободы отдельной молекулы выходит за пределы расчетного диапазона, в котором классическая механика приемлема для описания общего состояния движения. В действительности, чтобы понять закон теплового явления, нет необходимости понимать состояние каждой молекулы в каждом движении. Для описания общего поведения достаточно применить статистический метод определения общего макроскопического движения. Для установления пространственного распределения быстро движущихся молекул газа было предложено понятие эргодичности (свойство динамических систем, состоящее в том, что в процессе эволюции почти каждое состояние с определённой вероятностью проходит вблизи любого другого состояния системы). Согласно понятию эргодичности, среднее наблюдение движения отдельной молекулы, сделанное во времени, равно

среднему наблюдению движения многих молекул в данный момент времени. Таким образом, наблюдения, сделанные в разные периоды времени, могут быть использованы в качестве суррогата для пространственного распределения молекул в данный момент [11, 12].

Методы, основанные на пространственно-временном замещении, применяются в разных областях. В частности, для изучения долгосрочного круговорота питательных веществ и сукцессий растений используются экологические временные ряды [13–15], а для вывода прошлых изменений окружающей среды из геологических прокси применяются функции перехода [16, 17]. Термин «прокси» в палеоклиматологии (изучение климата прошлого) предполагает, что климатические заместители сохраняют физические характеристики прошлого, которые используются для прямых метеорологических измерений и позволяют реконструировать климатические условия на протяжении более длительного отрезка истории Земли. Однако надежные глобальные записи климата были начаты только в 1880-х годах.

Применение метода пространственно-временного замещения в геоморфологии

Широкое применение метод пространственно-временного замещения получил в геоморфологии. Геоморфология изучает происхождение и эволюцию топографических и батиметрических объектов, созданных

физическими, химическими или биологическими процессами, действующими на поверхности Земли [18, 19]. Из-за относительно большого временного масштаба многих геоморфологических явлений, особенно некоторых крупномасштабных единиц рельефа, геоморфологи, как правило, не могут полностью наблюдать и понимать процессы формирования рельефа на основе существующих научно-технических условий. Если взять в качестве примера лессовую форму рельефа («Плато Желтой Земли» на севере Китая), то появление и изменение микро топографии в виде ручьев и неглубоких оврагов можно наблюдать на лессовом склоне после обильных осадков, в то время как формирование Лессового плато занимало сотни тысяч или даже миллионы лет [20].

Имеется несколько способов решить эту проблему. Один из них заключается в реконструкции исторического рельефа с использованием методов датирования и георадара [21, 22]. Этот метод опирается на достоверные геохронологические и археологические данные и применим только в отдельных районах, где среда геологических отложений относительно хорошо сохранилась. Второй способ заключается в построении физической или эмпирико-статистической моделей геоморфологического развития [23–25], основанных на физическом механизме геоморфологического процесса или данных статистических выборок. Из них физическая модель

имеет сложные граничные условия, и определить граничное условие в геоморфологических исследованиях гораздо сложнее, чем выявить идеальное состояние в физических исследованиях. Статистическая модель дает только частоту и тенденцию сложных геоморфологических процессов и не имеет описания специфической характеристики пространственной дифференциации. Например, простые правила перехода в клеточных автоматах сильно отличаются от реальных геоморфологических процессов [26]. Третий способ состоит в наблюдении и прогнозировании геоморфологических изменений с помощью периодических исторических карт и данных дистанционного зондирования [27, 28]. Из-за того, что современная техника наблюдений Земли охватывает период лишь около ста лет, временной масштаб результатов часто бывает относительно коротким. Четвертый подход заключается в физическом моделировании ландшафтных изменений (в масштабе, уменьшенном по сравнению с таковым в реальности), в которых геоморфологические процессы длятся относительно быстрее [29, 30]. Из-за большой разницы во временном и пространственном масштабах между моделью и рельефом механическое и граничное условия не могут полностью восстановить изменение геоморфологического процесса. Все вышперечисленное в определенной степени ограничивает изучение геоморфологической эволюции [11, 12, 31, 32].

В геоморфологии под пространственно-временным замещением понимается вывод о долгосрочной эволюции форм рельефа, основанный на сравнении форм рельефа, образованных в разные периоды развития, и форм, реализованных на разных стадиях развития. Оно предполагает, что при определенных условиях окружающей среды изучение пространственных процессов эквивалентно изучению процессов временных. Следует отметить, что как научный термин пространственно-временное замещение имеет синонимы, такие как эргодическая аргументация [33], пространственно-временной аналог [34], замещение местоположения временем [32]. Общее свойство этих терминов состоит в возможности делать выводы об изменениях во времени на основе разнообразия форм в настоящее время [11, 12].

Развитие форм рельефа в конкретных условиях обычно демонстрирует пространственное распределение, которое происходит по принципу от «молодого» к «старому». На примере Лессового плато в Китае показано, что из-за усиления скорости эрозии отложений в направлении с запада на восток лессовая овражная эрозия проявлялась в пространственном распределении от слабой до умеренной и сильной. Это также рассматривается как представление временных рядов процесса развития рельефа в регионе. Поэтому при определенных условиях пространственное распределение типов и признаков рельефа может отражать процесс

их эволюции и развития в полном соответствии с концепцией пространственно-временного замещения [11, 12].

Применение метода пространственно-временного замещения в ландшафтных исследованиях

Пространственно-временные стохастические процессы играют важную роль во многих областях ландшафтных исследований. В статистических терминах ландшафт может восприниматься как реализация пространственно-временного стохастического процесса. Статистический анализ ландшафтных данных, как правило, включает анализ пространственно-временных данных, хотя в конкретных случаях можно иметь данные либо пространственных, либо временных рядов. Отличие пространственных данных от временных рядов состоит в том, что обобщение временного порядка не очевидно на пространственном уровне [35, 36]. Пространственно-временное замещение в ландшафтных исследованиях используется для понимания долгосрочных изменений растительности. Оно основано на евклидовых расстояниях между векторами наблюдений на разных участках [36].

При анализе пространственно-временных данных важными факторами являются длина временных рядов в каждом местоположении и общее число пространственных местоположений, в которых имеются данные. Например, когда длина временного

ряда в данном месте невелика, можно объединить информацию из «ближайших» пространственных местоположений для достижения требуемой точности. Проблема может быть решена на основе концепции пространственно-временного замещения, или принципа временной последовательности. Архивные данные о сукцессиях в течение длительных периодов времени встречаются редко [37, 38]. Поэтому при исследовании долгосрочных изменений использование временной последовательности иногда предлагает единственную альтернативу чрезмерно длительному времени наблюдения [13]. В то же время подобный подход связан с некоторыми известными рисками. Наиболее очевидным из них является то, что экологические условия на двух разных участках часто близки, но никогда не идентичны. Несмотря на множество потенциальных неопределенностей в интерпретации получаемых результатов, исследования показывают, что скорость и направление изменения сукцессии непосредственно связаны с начальными условиями, как предпосылкой пространственно-временного замещения [36].

Применение метода пространственно-временного замещения в экологических исследованиях

Теория пространственно-временного замещения была введена в экологию для изучения смены биомов в длительном

масштабе времени [39]. Суть основной идеи в том, что для прогнозирования процесса преемственности сообществ, общества в одном и том же пространстве могут быть дифференцированы в соответствии с относительной разницей их развития при условии, что другие экологические факторы, кроме времени, поддерживаются как можно более стабильными [11, 12].

Метод пространственно-временного замещения подвергался наиболее тщательному анализу и обсуждался в исследованиях временных рядов, причем выводы варьировали от значимого подтверждения [40, 41] до сильного смещения [15] результатов пространственно-временного замещения. Был показан положительный эффект совместного анализа результатов, полученных методом пространственно-временного замещения и временной модели [42]. С некоторыми предосторожностями применение метода пространственно-временного замещения считается допустимым для изучения генетических закономерностей в микроэволюционных процессах как на стационарных, так и на нестационарных ландшафтах [43].

В исследованиях, связанных с изменением климата (модели биоклиматической оболочки), метод пространственно-временного замещения использовался для представления о том, как прогнозируемые изменения климата повлияют на ареал и распределение видов [44–46].

Все чаще пространственно-временное замещение применяется в моделировании биоразнообразия для прогнозирования влияния климатических изменений на распределение видов, видовое обилие и изменение видового состава [47–53]. Изучение моделей для отдельных видов выявило проблемы, связанные с проекцией этих пространственных моделей на временной масштаб [54–57], и было высказано предположение, что могут быть более надежными модели, основанные на коллективных свойствах биоразнообразия [49, 58, 59]. Однако фундаментальное предположение о том, что пространственные отношения между климатом и биоразнообразием могут быть использованы для прогнозирования временных траекторий биоразнообразия в условиях меняющегося климата, остается в значительной степени непроверенным. В то же время имеются и обнадеживающие результаты [1, 58, 59].

Для проверки метода пространственно-временного замещения хорошо подходит процесс обмена видов между сообществами, поскольку он может быть количественно определен независимо в пространстве или во времени и поскольку изменение видового состава сильно коррелирует с изменениями климата как в пространстве, так и во времени [60–62]. Однако другие факторы, такие как история видов, история местообитаний и взаимодействие видов, также влияют на изменение видового состава независимо от клима-

та или во взаимодействии с ним [63–65]. Даже когда климат является основным определяющим фактором видового состава сообщества, некоторые аспекты климата (например, временная изменчивость, ковариация между критическими переменными) могут в большей степени различаться в пространстве, чем во времени [66, 67]. Понимание того, в какой степени изменение видового состава связано с климатом и являются ли видо-вые соотношения одинаковыми в пространстве и времени, имеет важное значение для оценки точности прогнозов изменения видового состава под влиянием изменения климата [1].

Таким образом, пространственно-временное замещение широко используется в моделировании биоразнообразия для вывода прошлых или будущих траекторий развития экологических систем исходя из современных пространственных моделей. Однако основополагающее предположение о том, что движущие силы пространственных градиентов видового состава также приводят к временным изменениям биоразнообразия, редко подвергается проверке.

Для прогнозирования реакции растений на глобальное потепление имеют решающее значение фенологические данные растений. Для оценки изменения климата и его влияния на экологические процессы стали широко использоваться хронологии периодических фенофаз, обусловленные окружающей средой (исторические тенденции

в фенологии растений) [68–71]. Такие анализы основаны на долгосрочных записях фенологических наблюдений, накопленных в рамках национальных сетей или собранных отдельными исследователями [72–74]. Глобальное потепление чаще всего вызывает более раннее распускание почек и более раннее появление листьев и цветов и немного задерживает осенние фенофазы (более поздняя окраска листьев и опадение листьев) с общим эффектом удлинения вегетационного периода в средних и высоких широтах [75–77]. Исторические записи часто охватывают относительно короткие периоды или содержат недостающие данные, не позволяющие исследователям делать значимые статистические выводы. Это делает проблематичной экстраполяцию исторических тенденций на будущее, поскольку в некоторых записях может отсутствовать полная величина климатических циклов или экстремальных явлений. В этой связи было предложено [78] применение косвенного пространственно-временного замещения, при котором качественные пространственные фенологические и температурные данные, полученные в одном и том же городском ландшафте, используются для заполнения пробелов в неполных исторических записях и для построения дополнительных фенологических моделей. Из-за наличия фенологического мониторинга в населенных пунктах или вблизи них городские районы хорошо подходят для применения

метода пространственно-временного замещения и должны получать больше внимания со стороны исследователей, разрабатывающих подходы к изучению фенологии и климатических тенденций [78].

Была выполнена эмпирическая проверка предположения о пространственно-временном соотношении путем построения ортогональных наборов данных изменения видового состава таксонов растений и климатического сходства во времени и пространстве [1]. Были использованы позднечетвертичные палинологические данные (результаты споропыльцевого анализа) из восточной части Северной Америки с последующим моделированием обусловленного климатом изменения видового состава. Прогнозы, основанные на пространственно-временном замещении, были на 72 % более точными, чем прогнозы по «времени на время». Однако пространственно-временное замещение плохо работало в голоцене, когда временные вариации климата были малы относительно пространственных вариаций и требовали взятия подвыборок для проверки соответствия степени пространственных и временных климатических градиентов. Несмотря на это предостережение, полученные результаты в целом поддерживают разумное использование пространственно-временного замещения при моделировании реакции сообщества на изменение климата [1].

Метод пространственно-временного замещения был приме-

нен при прогнозировании последствий будущего потепления в функционировании тундровых сообществ обоих полушарий Земли [79]. Известно, что процесс потепления в тундре происходит быстрее, чем в любом другом биоме на Земле, и потенциальные изменения имеют далеко идущие последствия из-за глобальных эффектов обратной связи между растительностью и климатом. Более глубокое понимание того, как факторы окружающей среды формируют структуру и функции растений, имеет решающее значение для прогнозирования последствий изменения окружающей среды для функционирования экосистем.

Быстрое потепление климата в арктических и альпийских регионах приводит к изменениям в структуре и составе тундровых экосистем [80, 81] с потенциально глобальными последствиями. До 50 % мировых запасов подземного углерода содержится в почвах вечной мерзлоты [82], и ожидается, что тундровые регионы в течение следующего столетия внесут большую часть вызванных потеплением потерь углерода в почву [83]. Свойства растений сильно влияют на круговорот углерода и энергетический баланс экосистемы, что, в свою очередь, может влиять на региональный и глобальный климат [84–86]. Поэтому количественная оценка связи между окружающей средой и функциональными особенностями растений важна для понимания последствий изменения клима-

та, но такие исследования редко распространяются на тундру [87–89]. В этой связи была поставлена задача оценить взаимосвязи между климатом и свойствами растений в самых холодных экосистемах Земли, где последствия потепления климата для функциональных изменений в тундре остаются в значительной степени неизвестными [79].

Используя набор данных 56 000 измерений признаков тундровых растений в упомянутых сообществах [79], количественно оценили общебиомные связи между температурой, влажностью почвы и ключевыми признаками морфологии и функций растений [90]. Внутривидовая изменчивость признаков является особенно важной в тундре, где биоразнообразие невелико или где виды имеют широкий географический ареал [91]. Была проанализирована внутривидовая изменчивость (фенотипическая пластичность или генетические различия между популяциями) и изменчивость на уровне сообщества (изменения видового состава или обилия видов в пространстве). Сначала исследовано, как изменяются свойства растений в зависимости от температуры и влажности почвы в тундровом биоме. Затем количественно оценено относительное влияние внутривидовой вариации признака на вариацию признака на уровне сообщества для пространственных отношений температуры и признаков растений. Наконец, исследовано, объясняются ли

пространственные отношения температуры и признаков растений экотопными различиями в обилии видов или изменении видового состава [79].

Основной предпосылкой для количественной оценки пространственных соотношений температуры и признаков растений было обеспечение эмпирической основы для прогнозирования потенциальных последствий будущего потепления [92–94]. Поэтому оценены фактические темпы изменения признаков растений с течением времени на уровне сообщества с использованием тридцатилетних данных обследования растительности на 117 пробных участках тундры. На уровне межвидовых вариаций признаков показано, как изменения в признаках сообщества за три десятилетия потепления окружающей среды соотносятся с прогнозами пространственных соотношений температуры и признаков растений. При анализе использован обобщаемый байесовский подход моделирования, который позволил учесть иерархическую пространственную, временную и таксономическую структуру данных, а также многочисленные источники неопределенности [79].

Связи температуры и свойств растений в пространстве в основном обнаружили довольно тесными, но влажность почвы оказала заметное влияние на тесноту и направление этих связей, что означает для сообществ тундры сильное влияние изменений влагообеспеченности на будущие сдвиги признаков рас-

тений. За последние три десятилетия высота растений в сообществах увеличилась с потеплением на всех участках, но другие свойства оказались смещенными относительно прогнозируемых темпов изменений. Полученные результаты подчеркивают сложность использования пространственно-временного замещения при прогнозировании последствий будущего потепления для функционирования растений и предполагают, что функции, тесно связанные с высотой растений, будут испытывать наиболее быстрые изменения. Они также показывают силу влияния факторов окружающей среды на формирование биотических сообществ в самых холодных экстремумах планеты и на их основе оценивают возможности улучшения прогнозов функциональных изменений в тундровых экосистемах с потеплением климата [79].

Данные мониторинга в национальном парке Эверглейдс во Флориде (США) были использованы для проверки возможности замены пространственных данных временными в моделях прогнозирования. Пространственные модели, которые предсказывали реакцию популяции рыбы-лукании (*Lucania goodei*) на аридизацию водно-болотных угодий, работали иногда даже лучше, чем временные модели. Модели работали лучше всего, когда результаты не экстраполировались за пределы диапазона изменчивости, охватываемого исходным набором данных. Взятые в контексте других исследо-

ваний, полученные результаты показывают, что метод пространственно-временного замещения лучше всего работает в экосистемах с низким бета-разнообразием, высоким сходством между участками и небольшим отставанием в реакции организма на ведущий фактор [95].

Применение метода пространственно-временного замещения в анализе растительных сукцессий

Понятие сукцессии является одним из древнейших в экологии [96]. Вследствие продолжительности времени, необходимого для фактического наблюдения за изменениями (сукцессией) растительности на данном местообитании, в исследованиях сукцессий используется метод пространственно-временного замещения. Согласно этому методу, выводится временная последовательность развития на данном местообитании на основе серии участков, различающихся по возрасту с момента некоторого начального состояния, т. е. с того момента, когда местообитание стало доступным для зарастивания. В основе метода лежит предположение о том, что каждый участок в последовательности отличается только возрастом и имеет одинаковую историю как абиотических, так и биотических компонентов. Если эти предположения верны, то каждое местообитание будет повторять сукцессию каждого другого более старого местообитания вплоть до его нынешнего возраста [15].

Сукцессионная динамика растительности прибрежных песчаных дюн. Классическим примером сукцессионного анализа методом пространственно-временного замещения является исследование сукцессионной динамики прибрежных песчаных дюн вдоль южного берега озера Мичиган [97]. По мере того, как постледниковое озеро со временем отступало, это приводило к образованию сукцессий песчаных дюн, представляющих собой прибрежные гряды. На основе изучения растительности, растущей на сукцессиях дюн, различающихся по возрасту, была выведена последовательность развития растительности [97, 98], которая повторяется во многих учебниках по экологии [99, 100]. Последовательность растительности для дюнных сукцессий демонстрирует простую линейную сукцессионную последовательность однолетних растений,

песчаных дюнных трав, а затем тополей, сосен и дубов (рис. 1). Тем не менее имеются эмпирические доказательства, корректирующие эту простую последовательность [101, 102].

Послеледниковая растительная сукцессия. Как и в примере с дюнными сукцессиями, объяснение постледникового развития растительности основано на гипотезе Ф. Клементса [101]. Постледниковая сукцессионная последовательность выведена на основе растительности, обнаруженной на участках, которые вышли из-под ледника в разное время и, таким образом, представляли разные возрасты или стадии развития растительности. Сукцессия начинается с пионерных мхов и нескольких травянистых видов. Затем появляются сначала стланиковые, а позднее кустарниковые виды ив. Вскоре в сукцессию вступает ольха, которая спустя 50 лет об-

разует заросли высотой до 10 м с примесью тополя. В ольховые сообщества внедряется ель ситхинская, образуя густой смешанный лес, который продолжает развиваться с примесью тсуги западной и тсуги горной [103]. Однако проверка этой гипотетической последовательности развития растительности в постледниковый период с использованием методов, отличных от пространственно-временного анализа, показала наличие существенных отклонений [15].

Сукцессия растительности на землях, вышедших из сельскохозяйственного оборота. Сукцессионная последовательность зарастания брошенных сельскохозяйственных полей в Пьемонте Северной Каролины (США) исследована на совокупности территориально разделенных участков, вышедших из оборота в разное календарное время. Сделано предположение, что

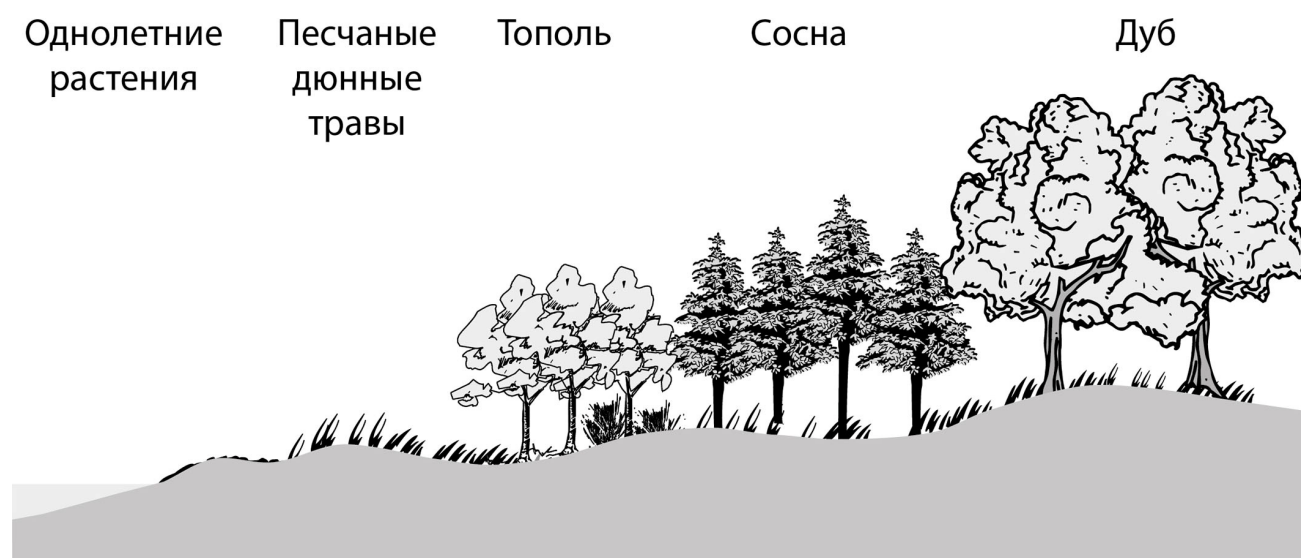


Рис. 1. Схема растительной сукцессии на песчаных дюнах южного берега озера Мичиган, США [15]
Fig. 1. Scheme of plant succession on the sand dunes of the southern shore of Lake Michigan, USA [15]

последовательность в пределах локальной области в однородных почвенных условиях следует в целом предсказуемому курсу и что любое поле в определенных пределах представляет собой стадию, через которую пройдут или прошли все остальные. Согласно установленной сукцессионной последовательности (рис. 2), чистые брошенные поля быстро покрываются разнообразными однолетними растениями. В течение нескольких лет большая часть однолетних растений заменяется травянистыми многолетниками и кустарниками. За кустарниками следуют сосны, которые в конечном итоге вытесняют более ранние сукцессионные виды; сосновые леса, в свою очередь, заменяются различными лиственными древесными видами, которые составляют последнюю стадию сукцессионной последовательности [100, 104]. Однако последующие исследования данной сукцессии на постоянных пробных площадях выявили существенные отклонения от исходной схемы [105].

Исследование лесообразовательного процесса в таежной зоне и генетическая классификация типов леса. Интенсивность и направленность лесообразовательного процесса регулируются непрерывно идущими экологическими преобразованиями, которые оцениваются характером функционирования всех компонентов лесных экосистем. Результативность лесообразовательного процесса становится заметной через десятки, иногда сотни лет, когда фиксируются изменения в составе лесов, edificatorной роли древесных видов, в изменении структуры лесных сообществ [106, 107]. Вследствие растянутости лесообразовательного процесса во времени сукцессионная динамика таежных лесов устанавливается путем подбора экотопов из разных стадий онтоценогенеза и интерпретации их совокупности методом пространственно-временного замещения. В частности, динамика состава и других таксационных показателей по классам возраста получена

при статистической обработке более 600 таксационных описаний потенциальных и коренных кедровников мшисто-разнотравных (ТЛУ-322, согласно генетической классификации, по Б. П. Колесникову [106]) в Североуральском и Карпинском лесхозах Свердловской области.

В итоге сукцессионная последовательность восстановительно-возрастного морфогенеза кедровников поделена на три периода (рис. 3): *I* – период восстановления леса на вырубках и гарях березой и осиной, *II* – по мере отпада лиственных в основной полог выходят ели и пихта, а кедр сибирский остается пока в подчиненном ярусе, *III* – период господства основного edificatorного вида – кедра сибирского – продолжается от 180 до 360 и более лет, а в дальнейшем сменяется вторичными возрастными поколениями темнохвойных и кедра [107].

Составление таблиц хода роста методом «указательных» насаждений. В лесной таксации типичным примером подобного



Рис. 2. Схема растительной сукцессии на землях, вышедших из-под сельскохозяйственного оборота в Пьемонте, США [104]

Fig. 2. Scheme of plant succession on lands that have been released from agricultural turnover in Piedmont, USA [104]

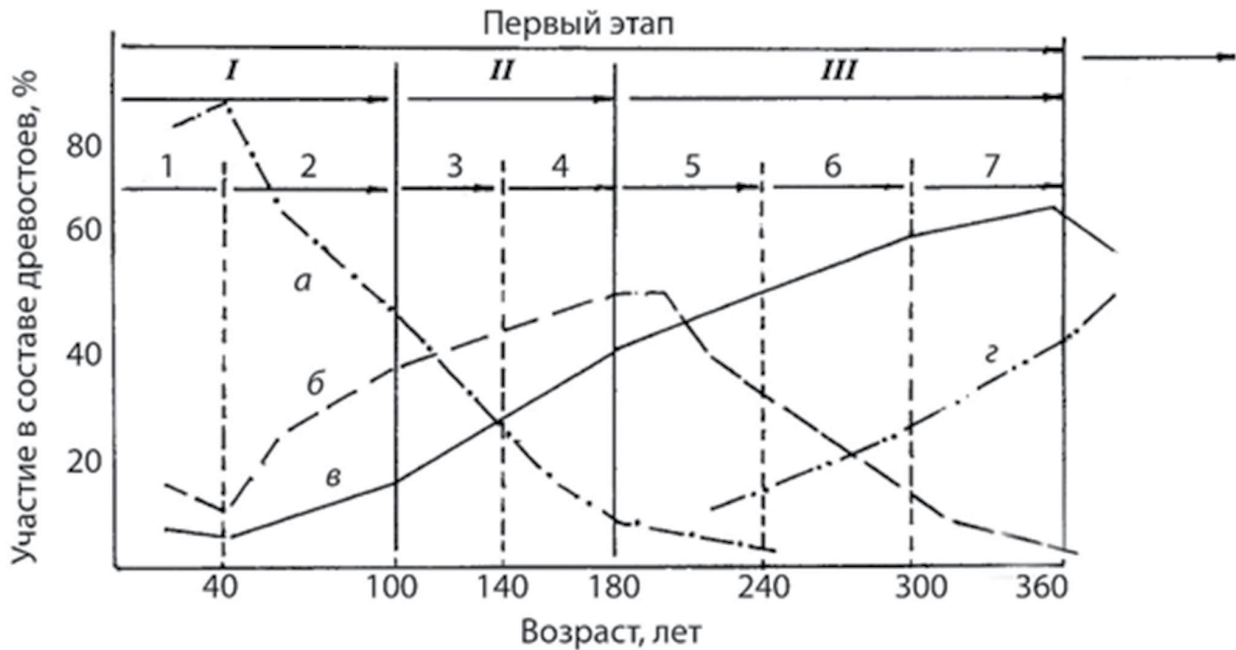


Рис. 3. Схема восстановительно-возрастного морфогенеза кедровников мшисто-разнотравных. I–III – периоды восстановительно-возрастного морфогенеза кедровников; 1–7 – фазы морфогенеза. Участие в составе: а – лиственные береза и осина, б – темнохвойные ель и пихта сибирские, в – кедр сибирский, г – вторичные возрастные поколения темнохвойных и кедра [107]

Fig. 3. The scheme of the restoration-age morphogenesis of mossy-mixed *Pinus sibirica* forests. I–III – periods of recovery-age morphogenesis of *Pinus sibirica* forests; 1–7 – phases of morphogenesis. Participation in the composition: а – deciduous birch and aspen, б – dark coniferous Siberian spruce and Siberian fir, в – *Pinus sibirica*, г – secondary age generations of dark coniferous and *Pinus sibirica* [107]

пространственно-временного замещения является метод «указательных» насаждений при составлении таблиц хода роста «нормальных» (полных) древостоев по данным таксации временных пробных площадей, заложенных в одном и том же типе леса, но в древостоях разного возраста. При этом древостои должны принадлежать к одному естественному ряду развития, представляющему совокупность однородных насаждений, достигающих одинаковых средних высот в определенном возрасте и характеризующихся общностью роста по другим таксационным показателям [108]. Отклонение от подобных траекторий «указательных» насаждений было выявлено еще А. Шваппахом [109]

по данным таксации древостоев на постоянных пробных площадях, и позднее В. В. Кузьмичевым [110] было сформулировано положение, согласно которому «нормальные насаждения представляют собой тот предел, которого достигают конкретные насаждения только один (или несколько) раз на протяжении своей жизни, но расти в этом экстремальном состоянии они не могут» (с. 142) и вследствие естественного изреживания снижают продуктивность. Тем не менее таблицы хода роста нормальных древостоев широко применяются в современном лесоустройстве, когда требуется актуализация запасов с небольшим временным лагом (до 10 лет).

Прогностические возможности чувствительных к изменению климата моделей биомассы деревьев и древостоев при использовании принципа пространственно-временного замещения

Результаты последних исследований [111] дают эмпирическую поддержку теоретическому ожиданию того, что климатический контекст является ключом к пониманию отношений между свойствами растений и их историей жизни (life history) в глобальном плане. Включение в аллометрические модели биомассы деревьев температуры и осадков в качестве дополнительных независимых переменных улучшает точность оценок и дает возможность

прогнозирования изменений биомассы в лесах Китая при климатических сдвигах [112, 113]. На основе 539 пробных площадей лиственных насаждений на севере и северо-востоке Китая были сопоставлены базовая и чувствительная к климату модели биомассы древостоев. Хотя последняя объясняла 85 % изменчивости биомассы, разница в полученных оценках биомассы по сравнению с базовой составила лишь 0,27 % [114]. Подобные результаты применимы только для территории Китая, поскольку модели биомасса – климат, разработанные для ограниченного географического региона, могут быть непригодны для более широкого применения [115]. В упомянутых исследованиях [112, 113] территориальные различия климата экстраполированы на текущие и прогнозируемые климатические сдвиги во времени.

Разработанные базы данных о биомассе деревьев и древостоев основных лесообразующих древесных видов Евразии [116, 117] дали возможность построения трансконтинентальных моделей биомассы, чувствительных к изменению климата, и прогнозирования изменений ее структуры при предполагаемых климатических сдвигах с использованием принципа пространственно-временного замещения. Установлено, что зависимость большинства компонентов биомассы от температур и осадков описывается пропеллерообразной 3D-поверхностью. В холодных регионах при повышении

осадков биомасса снижается, но по мере перехода к теплым регионам она характеризуется противоположным трендом. При повышении температуры во влажных регионах биомасса увеличивается, но по мере перехода в сухие условия снижается. Тем самым биомасса деревьев и древостоев лесообразующих видов реагирует на предполагаемые климатические сдвиги в соответствии с принципом лимитирующего фактора: в условиях недостатка влаги любое повышение температуры усугубляет ее дефицит и биомасса уменьшается, а в условиях достаточного увлажнения повышение температуры способствует увеличению биомассы, т. е. вызывает эффект, прямо противоположный. В холодных регионах увеличение осадков вызывает «сверхнормативное» переувлажнение и биомасса деревьев снижается, а в теплых регионах эффект противоположный и биомасса увеличивается [118–121].

Таким образом, успех применения теории пространственно-временного замещения в экологии растений зависит от того, насколько экологические условия, определяющие свойства растений в территориальных градиентах, соответствуют будущим экологическим условиям, определяющим свойства растений во временном градиенте. Однако имеется еще один уровень неопределенности, связанный с пространственно-временным замещением, и определяется он адаптационными возможностями растений.

Адаптационные возможности растений при пространственно-временном замещении

Адаптационная способность как одна из трех детерминант уязвимости экосистем при изменении климата определяется как способность видов сохраняться в их нынешнем местоположении, справляясь с новыми условиями окружающей среды посредством акклиматизации и/или эволюции [122]. Поскольку сформировавшимся экосистемам Земли свойственно оптимальное поведение [123], значительные климатические изменения неизбежно вызовут их стресс. Даже в тех районах, где потепление в конечном итоге окажет некоторое благотворное воздействие, потребуются затраты на корректировку. Адаптация к климату предполагает изменение в поведении экосистем в ответ на его фактическое или ожидаемое изменение. Процесс этот эндогенный и довольно сложный, поскольку по мере изменения климата адаптивные реакции должны меняться вместе с ним [124]. Проблема адаптаций растительного покрова к изменению климата требует междисциплинарных решений. Важнейшим компонентом этого подхода является разработка систем оценки адаптационных процессов [125]. Предлагается комплексно, во взаимосвязи рассматривать как мероприятия по смягчению последствий изменения климата, так и возможности адаптации в контексте устойчивого развития [126, 127].

Адаптации лесов, повышающие их функциональность в условиях многофакторного давления глобальных изменений, способствуют как адаптивное ведение лесного хозяйства, так и восстановление лесных экосистем [128]. Глобальные изменения включают изменение условий произрастания лесов в результате климатических сдвигов, в частности проявляющихся в экстремальных погодных явлениях и в сопутствующем проявлении патогенов [129]. Кроме того, быстро растет спрос на экосистемные услуги со стороны растущего населения мира и меняющихся социальных потребностей в продовольствии, биоэнергии и водоснабжении. Обеспечение соответствия этих изменяющихся социальных потребностей в условиях изменения климата местным условиям произрастания является одной из основных задач XXI в. в области управления лесами [130].

Ожидается, что при беспрецедентных темпах изменения климата популяции древесных видов окажутся в климатических условиях, выходящих за рамки тех, к которым они адаптированы, что составит угрозу санитарному состоянию и жизнеспособности лесов [131, 132]. Деревья представляют собой основу лесной среды обитания, играют важную роль в регулировании глобального углеродного цикла и поддерживают экономику, основанную на ресурсах. Поэтому прогнозирование их потенциальной реакции на изменение

климата имеет первостепенное значение для управления лесами и их сохранения [133, 134]. Понимание того, каким видам может благоприятствовать или угрожать изменение климата, необходимо при отборе древесных видов в программах лесовосстановления, лесоразведения [135, 136] и для определения приоритетов в управленческих действиях, направленных на сохранение и повышение устойчивости лесных экосистем [129, 137, 138].

В ответ на изменение климата древесные виды могут либо оставаться в своем нынешнем местоположении, либо мигрировать вслед за смещающейся климатической нишей, либо погибнуть [139]. Однако многие исследования показывают, что изменения в климатических нишах деревьев в течение следующего столетия превысят миграционную способность древесных видов [140–144]. Чтобы оценить способность видов сохраняться в рамках нынешнего распространения, в последние годы многие исследования были направлены на оценку экологической уязвимости при изменении климата [134, 140, 145–147].

Уязвимость видов при изменении климата определяют три фактора: а) воздействие – масштаб прогнозируемых изменений окружающей среды; б) чувствительность – степень, в которой это изменение окажет негативное влияние на вид, и в) адаптивная способность – способность видов справляться с новыми условиями и адапти-

роваться к ним [122]. По мнению некоторых авторов [148, 149], миграционная способность является частью адаптивной стратегии видов по отношению к изменениям окружающей среды. Однако для деревьев, лишенных возможности перемещаться, миграционная способность включает в себя набор специфических признаков и условий [150].

В одной из последних работ [122] предложена основа для количественной оценки пяти ключевых компонентов адаптивной способности деревьев к изменению климата: индивидуальная адаптация посредством фенотипической пластичности, фенотипическое разнообразие популяции под влиянием генетического разнообразия, генетический обмен внутри популяций, генетический обмен между популяциями и генетический обмен между видами. Для каждого компонента определены основные механизмы, лежащие в основе адаптивного потенциала, и представлены соответствующие показатели, которые могут быть использованы в качестве индексов. Чтобы проиллюстрировать использование этой структуры, оценена относительная адаптивная способность 26 древесных видов в северо-восточной части Северной Америки. Установлено, что адаптивная способность сильно варьирует между видами и между компонентами адаптивной способности, так что ни один вид не занимает последовательное место по всем компонентам. В среднем хвойные *Picea*

glauca и широколиственные *Acer rubrum* и *A. saccharinum* демонстрируют наибольшую адаптивную способность среди исследованных видов, в то время как хвойные *Picea rubens* и *Thuja occidentalis* и широколиственные *Ostrya virginiana* обладают самыми низкими показателями. Таким образом, виды даже в пределах одного рода могут обладать противоположными адаптивными способностями. В работе обсуждены ограничения, возникающие при сравнении адаптивных возможностей между видами, включая проблемы, связанные с ограниченной доступностью данных и недостаточной сопоставимостью показателей, полученных с помощью различных методов в разных исследованиях. Объем данных, необходимых для такой оценки, свидетельствует о междисциплинарном характере адаптационного потенциала и необходимости продолжения перекрестного сотрудничества для лучшего прогнозирования последствий изменения климата [122].

Природное районирование рассматривается Б. Б. Родоманом [151] как пространственная форма закона перехода количества в качество в философском смысле, а в более узком смысле – как реализация позиционного принципа – зависимости существенных свойств объектов от их положения в пространстве. Позиционный принцип широко представлен в живой природе, где он реализуется спонтанно. Фактически все природные

зоны территориально подвижны. Если на сдвиги природных зон, замеченные А. Гумбольдтом, уходят тысячелетия и века, то в антропогенных геосистемах – десятилетия и даже годы [152, 153]. Объяснение физических и функциональных свойств объектов через пространственное положение Б. Б. Родоман [151] определяет термином пространственной редукции. Позиционная редукция предполагает, что можно и нужно сводить свойства объектов к производным от их географического положения и выводить свойства объектов из их географического положения [154]. Геологически сложившийся климат двух соседних экорегионов определяет не только разделение одного рода на два вида или замену одного вида другим, но и различие в морфологическом строении и биомассе древостоев. Адаптация видов к различным климатическим условиям этих регионов длилась, как уже отмечалось, тысячи лет.

Согласно известному закону минимума Ю. Либиха [155], темп роста растения зависит от фактора, который находится в минимуме по отношению к его потребностям. Ю. Эсслен [156], вслед за Ю. Либихом, показал, что ограничивающим фактором может быть не только недостаток, но и избыток таких факторов, как свет, тепло и влага (много «хорошо» – тоже «нехорошо»). Идея лимитирующего влияния максимума наравне с минимумом была развита В. Шелфордом [157], который

распространил лимитирующий принцип на любые факторы окружающей среды и стал известен как автор закона толерантности Шелфорда, развитого затем У. Тейлором [158]. Позднее А. А. Молчанов [159] трактовал принцип ограничения применительно к лесным экосистемам как «расширенную концепцию лимитирующих факторов», согласно которой «любое состояние, приближающееся или превышающее предел устойчивости для любого организма и групп, нас интересующих, может считаться лимитирующим фактором» (с. 271). В последнее время это явление получило широкое распространение как принцип лимитирующих факторов Либиха – Шелфорда [160].

Проявление лимитирующих факторов прослеживается на региональном и локальном уровнях в исследовании радиального прироста ствола. Известно, что изменчивость ширины годичного кольца и биомассы деревьев во многом определяется циклами солнечной активности и количеством поступающей солнечной радиации [161–163]. Однако в условиях избыточного увлажнения на болотах Предуралья, где одновременно действуют два лимитирующих фактора – избыток влаги и недостаток кислорода в почве, циклический радиальный прирост объясняется гидрологическим режимом местообитания [164], а в другой крайности – при недостатке влаги в степной зоне – происходит повышение чувствительности роста деревьев

к атмосферным осадкам [165]. В болотных лесах Западной Сибири в условиях недостатка тепла радиальный прирост лимитируется увеличением количества осадков, а в условиях недостатка влаги в почве – повышением температуры [166]. В условиях недостатка тепла на севере Евразии продуктивность лесного покрова возрастает с повышением температуры, а в условиях южной лесостепи преобладающую роль играют осадки [167, 168].

На полярном пределе распространения березы в Сибири лимитирующим фактором является температура, но по мере продвижения к югу дефицит тепла снижается и возрастает роль дефицита увлажнения. Установлено, что смена лимитирующего фактора происходит в подзоне средней тайги [169]. При исследовании радиального прироста лиственницы в Средней Сибири в условиях многолетней мерзлоты получены закономерности увеличения прироста в направлении от плакоров к урезу воды, т. е. с увеличением глубины оттаивания грунта [169]. Использование принципа пространственно-временного замещения позволяет прогнозировать увеличение прироста лиственницы в темпоральном градиенте по мере глобального потепления и связанного с ним оттаивания грунта.

Выводы

1. Возникнув в XIX в., принцип пространственно-временного замещения получил распространение в геоморфологии,

ландшафтных, биолого-экологических и других исследованиях. В связи с наблюдаемыми климатическими сдвигами модели биологической продуктивности растительных сообществ, чувствительные к изменению климата в территориальных градиентах, могут быть использованы для прогнозирования изменений биопродуктивности в предполагаемых темпоральных изменениях климата на основе принципа пространственно-временного замещения. При этом в условиях недостатка влаги лимитирующим фактором является повышенная температура, а в условиях недостатка тепла лимитирующим фактором становится повышенная влажность местообитаний.

2. Выявленные закономерности биомасса – климат носят гипотетический характер: они отражают долговременные адаптивные реакции деревьев и древостоев на региональные климатические условия и не учитывают тенденции стремительных изменений окружающей среды, которые накладывают серьезные ограничения на способность лесов адаптироваться к новым климатическим условиям [130, 168, 170–173]. В частности, выводы о динамике биоразнообразия, основанные на методе пространственно-временного замещения, переоценивают масштабы реакции на современное потепление климата, поскольку пространственные градиенты отражают долгосрочные процессы [94].

3. Закон лимитирующего фактора Либиха хорошо работает

в стационарных условиях. При быстром изменении лимитирующих факторов (например, температуры воздуха или осадков) лесные экосистемы находятся в переходном (нестационарном) состоянии, при котором некоторые факторы, пока не имевшие существенного значения, могут выйти на первый план, и конечный результат может быть определен другими лимитирующими факторами [174]. Ситуация усугубляется неизвестным совместным влиянием температуры и осадков.

4. Недостаток метода пространственно-временного замещения состоит в том, что неучтенные факторы изменчивости признака в территориальном градиенте накладываются на неучтенные факторы при переносе территориальной изменчивости признака на его тренд во временном градиенте, что способствует неопределенности прогноза. Эта неопределенность усиливается неизбежными стрессовыми реакциями экосистем на резкие климатические изменения, которые могут привести к замене лимитирующего фактора и непредсказуемым катастрофическим явлениям [175, 176], порожденным, например, сменой положительного влияния фактора на отрицательное. Тем не менее, когда нет иной возможности исследовать экосистемные процессы в ретроспективе или перспективе, метод пространственно-временного замещения представляет пока вполне приемлемую альтернативу.

Список источников

1. Space can substitute for time in predicting climate-change effects on biodiversity / J. L. Blois, J. W. Williams, M. C. Fitzpatrick, S. T. Jackson, S. Ferrier // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 2013. – Vol. 110. – No. 23. – P. 9374–9379. – DOI: 10.1073/pnas.1220228110.
2. Ecological Forecasts: An Emerging Imperative / J. S. Clark, S. R. Carpenter, M. Barber, S. Collins, A. Dobson et al. // *Science*. – 2001. – Vol. 293. – P. 657–660. – DOI:10.1126/science.293.5530.657.
3. Ecological Variability in Space and Time: Insights Gained from the US LTER Program / T. K. Kratz, L. A. Deegan, M. E. Harmon, W. K. Lauenroth // *BioScience*. – 2003. – Vol. 53. – P. 57–67. – DOI: 10.1641/0006-3568(2003)053[0057:EVISAT]2.0.CO;2.
4. Magnuson J. J. Long-Term Ecological Research and the Invisible Present // *BioScience*. – 1990. – Vol. 40. – P. 495–501. – DOI:10.2307/1311317.
5. The climate envelope may not be empty / A. T. Peterson, N. Barve, L. M. Bini, J. A. Diniz-Filho, A. Jiménez-Valverde et al. // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. – 2009. – Vol. 106. – E47–E47. – DOI: 10.1073/pnas.0809722106.
6. Soininen J. Species Turnover along Abiotic and Biotic Gradients: Patterns in Space Equal Patterns in Time? // *BioScience*. – 2010. – Vol. 60. – P. 433–439. – DOI:10.1525/bio.2010.60.6.7.
7. Warming effects on marine microbial food web processes: how far can we go when it comes to predictions? / H. Sarmiento, J. M. Montoya, E. Vázquez-Domínguez, D. Vaqué, J. M. Gasol // *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. – 2010. – Vol. 365. – P. 2137–2149. – DOI:10.1098/rstb.2010.0045.
8. Butterfly abundance in a warming climate: patterns in space and time are not congruent / N. J. B. Isaac, M. Girardello, T. M. Brereton, D. B. Roy // *Journal of Insect Conservation*. – 2010. – Vol. 15. – P. 233–240. – DOI:10.1007/s10841-010-9340-0.
9. Kappes H., Sundermann A., Haase P. High spatial variability biases the space-for-time approach in environmental monitoring // *Ecological Indicators*. – 2010. – Vol. 10. – P. 1202–1205. – DOI:10.1016/j.ecolind.2010.03.012.
10. Boltzmann L. Einige allgemeine Sätze über Wärmegleichgewicht // *Wiener Berichte*. – 1871. – Vol. 63. – P. 679–711.
11. Theories and methods of space-for-time substitution in geomorphology / X. Huang, H. Ding, J. Na, G. Tang // *Acta Geographica Sinica*. – 2017. – Vol. 728. – No. 1. – P. 94–104. – DOI: 10.11821/dlxb201701008.
12. Space-for-time substitution in geomorphology: A critical review and conceptual framework / X. Huang, G. Tang, T. Zhu, H. Ding, J. Na // *Journal of Geographical Sciences*. – 2019. – Vol. 29. – No. 10. – P. 1670–1680. – DOI: 10.1007/s11442-019-1684-0.
13. Pickett S. Space-for-time substitution as an alternative to long-term studies // *Long-term studies in ecology: Approaches and alternatives*. Likens G. E. (ed.). – New York : Springer, 1989. – P. 110–135.
14. Fastie C. L. Causes and ecosystem consequences of multiple pathways of primary succession at Glacier Bay, Alaska // *Ecology*. – 1995. – Vol. 76. – No. 6. – P. 1899–1916. – DOI: 10.2307/1940722.
15. Johnson E. A., Miyanishi K. Testing the assumptions of chronosequences in succession // *Ecology Letters*. – 2008. – Vol. 11. – No. 5. – P. 419–431. – DOI: 10.1111/j.1461-0248.2008.01173.x.
16. Imbrie J., Kipp N. G. A new micropaleontological method for quantitative paleoclimatology : Application to a late Pleistocene Caribbean core // *The Late Cenozoic Glacial Ages*. Turekian K. (ed.). – New Haven : Yale Univ. Press, CT, 1971. – P. 77–181.
17. Environmental controls on branched tetraether lipid distributions in tropical East African lake sediments / J. E. Tierney, J. M. Russell, H. Eggermont, E. C. Hopmans, D. Verschuren, et al. // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 2010. – Vol. 74. – No. 17. – P. 4902–4918. – DOI:10.1016/J.GCA.2010.06.002.

18. Huggett R. J. *Fundamentals of Geomorphology*. – 3rd ed. – London ; New York : Routledge, 2011. – 533 p.
19. Bierman P. R., Montgomery D. R. *Key concepts in geomorphology*. – San Francisco : WH Freeman, 2014. – 532 p.
20. Liu D. S. *Loess and environment*. – Beijing : Science Press, 1985. – 207 p.
21. The relationship between gully development and climatic changes in the loess Yuan region: Examples from Luochuan, Shaanxi Province / B. Y. Yuan, T. E. Ba, J. X. Cui, Q. Yin // *Acta Geographica Sinica*. – 1987. – Vol. 54. – No. 4. – P. 42–51. – URL: https://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-DLXB198704004.htm
22. Modeling the evolution of loess-covered landforms in the Loess Plateau of China using a DEM of underground bedrock surface / L. Y. Xiong, G. A. Tang, F. Y. Li, B.-Y. Yuan, Z.-C. Lu // *Geomorphology*. – 2014. – Vol. 209. – No. 3. – P. 18–26. – DOI: 10.1016/j.geomorph.2013.12.009.
23. A cellular automata model for simulating the evolution of positive-negative terrains in a small loess watershed / M. Cao, G. A. Tang, F. Zhang, J. Yang // *International Journal of Geographical Information Science*. – 2013. – Vol. 27. – No. 7. – P. 1349–1363. – DOI: 10.1080/13658816.2012.756882.
24. Dynamic reorganization of river basins / S. D. Willett, S. W. McCoy, J. T. Perron, L. Goren, C.-Y. Chen // *Science*. – 2014. – Vol. 343 (6175). – 1248765. – DOI: 10.1126/science.1248765.
25. Yang R., Willett S. D., Goren L. In situ low-relief landscape formation as a result of river network disruption // *Nature*. – 2015. – Vol. 520 (7548). – 526. – DOI: 10.1038/nature14354.
26. Huang C., Liu G. H. A review of the application of cellular models in landscape evolution modeling // *Progress in Geography*. – 2010. – Vol. 24. – No. 1. – P. 105–115.
27. Coastline changes in Yancheng since 6000 years ago based on remote sensing image dodging / Y. Y. Kang, X. R. Ding, L. G. Cheng et al. // *Acta Geographica Sinica*. – 2010. – Vol. 65. – No. 9. – P. 1130–1136.
28. Sedimentary and morphological evolution of nearshore coast of Yangtze Estuary in the last 30 years / N. Ji, H. Q. Cheng, Z. Y. Yang, H. Hu, Z. Chen // *Acta Geographica Sinica*. – 2013. – Vol. 68. – No. 7. – P. 945–954. – URL: <http://www.geog.com.cn/EN/>
29. Parker R. S. *Experimental study of drainage basin evolution and its hydrologic implications* / [Ph.D. Dissertation]. – Fort Collins: Colorado State University, 1977. – 58 p. – URL: <http://hdl.handle.net/10217/61850>
30. Schumm S. A., Mosley M. P., Weaver W. E. *Experimental Fluvial Geomorphology*. – New York : John Wiley & Sons, 1987. – 413 p.
31. Glock W. S. The development of drainage systems: A synoptic view // *Geographical Review*. – 1931. – Vol. 21. – No. 3. – P. 475–482.
32. Paine A. D. M. Ergodic reasoning in geomorphology-time for a review of the term // *Progress in Physical Geography*. – 1985. – Vol. 9. – No. 1. – P. 1–15. – DOI: 10.1177/030913338500900101.
33. Fryirs K., Brierley G. J., Erskine W. D. Use of ergodic reasoning to reconstruct the historical range of variability and evolutionary trajectory of rivers // *Earth Surface Processes & Landforms*. – 2012. – Vol. 37. – No. 7. – P. 763–773. – DOI: 10.1002/esp.3210.
34. Schumm S. A. *To interpret the Earth: Ten ways to be wrong*. – Cambridge : Cambridge University Press, 1991. – 133 p.
35. Mardia K. V. *Statistics of directional data*. – London : Academic Press, 1972. – 380 p. – DOI: 10.1111/j.2517-6161.1975.tb01550.x.
36. Ghosh S., Wildi O. Statistical analysis of landscape data: Space-for-time, probability surfaces and discovering species // *A Changing World: Challenges for Landscape Research* / Kienast F., Wildi O., Ghosh S. (eds.). *Landscape Series*. – Vol. 8. – Dordrecht: Springer, 2007. – P. 209–221.
37. Foster B. L., Tilman D. Dynamic and static views of succession: Testing the descriptive power of the chronosequence approach // *Plant Ecology*. – 2000. – Vol. 146. – P. 1–10. – DOI: 10.1023/A:1009895103017.

38. Wildi O. Modelling succession from pasture to forest in time and space // *Community Ecology*. – 2002. – Vol. 3. – P. 181–189. – DOI: 10.1556/ComEc.3.2002.2.5.
39. Likens G. E. (ed.). Long-term studies in ecology: Approaches and alternatives. – New York : Springer, 1989. – 214 p. – DOI: 10.1007/978-1-4615-7358-6_5.
40. The use of chronosequences in studies of ecological succession and soil development / L. R. Walker, D. A. Wardle, R. D. Bardgett, B. D. Clarkson // *Journal of Ecology*. – 2010. – Vol. 98. – No. 4. – P. 725–736. – DOI: 10.1111/j.1365-2745.2010.01664.x.
41. Substituting space for time: Empirical evaluation of spatial replication as a surrogate for temporal replication in occupancy modelling / A. Srivathsa, M. Puri, N. S. Kumar, D. Jathanna, K. U. Karanth // *Journal of Applied Ecology*. – 2018. – Vol. 55. – P. 754–765. – DOI: 10.1111/1365-2664.13005.
42. Using space-for-time substitution and time sequence approaches in invasion ecology / S. M. Thomaz, A. A. Agostinho, L. C. Gomes, M. J. Silveira, M. Rejmanek, et al. // *Freshwater Biology*. – 2012. – Vol. 57. – P. 2401–2410. – DOI:10.1111/fwb.12005.
43. Wogan G. O. U., Wang I. J. The value of space-for-time substitution for studying fine-scale micro-evolutionary processes // *Ecography*. – 2018. – Vol. 41. – P. 1456–1468. – DOI: 10.1111/ecog.03235.
44. Beale C. M., Lennon J. J., Gimona A. Opening the climate envelope reveals no macroscale associations with climate in European birds // *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. – 2008. – Vol. 105. – P. 14908–14912. – DOI: 10.1073/pnas.0803506105.
45. The bioclimatic envelope of the wolverine (*Gulo gulo*): do climatic constraints limit its geographic distribution? / J. P. Copeland, K. S. McKelvey, K. B. Aubry, A. Landa, J. Persson et al. // *Canadian Journal of Zoology*. – 2010. – Vol. 88. – P. 233–246. – DOI:10.1139/Z09-136.
46. Mbogga M. S., Wang X., Hamann A. Bioclimate envelope model predictions for natural resource management: dealing with uncertainty // *Journal of Applied Ecology*. – 2010. – Vol. 47. – P. 731–740. – DOI:10.1111/j.1365-2664.2010.01830.x.
47. Currie D. J. Projected effects of climate change on patterns of vertebrate and tree species richness in the conterminous United States // *Ecosystems* (N. Y.). – 2001. – Vol. 4. – No. 3. – P. 216–225. – DOI: 10.1007/s10021-001-0005-4.
48. Guisan A., Thuiller W. Predicting species distribution: Offering more than simple habitat models // *Ecology Letters*. – 2005. – Vol. 8. – No. 9. – P. 993–1009. – DOI: 10.1111/j.1461-0248.2005.00792.x.
49. Ferrier S., Guisan A. Spatial modelling of biodiversity at the community level // *Journal of Applied Ecology*. – 2006. – Vol. 43. – No. 3. – P. 393–404. – DOI: 10.1111/j.1365-2664.2006.01149.x.
50. Elith J., Leathwick J. R. Species distribution models: Ecological explanation and prediction across space and time // *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*. – 2009. – Vol. 40. – No. 1. – P. 677–697. – DOI: 10.1146/annurev.ecolsys.110308.120159.
51. Forecasting the future of biodiversity: a test of single- and multi-species models for ants in North America / M. C. Fitzpatrick, N. J. Sanders, S. Ferrier, J. T. Longino, M. D. Weiser, et al. // *Ecography*. – 2011. – Vol. 34. – No. 5. – P. 836–847. – DOI: 10.1111/j.1600-0587.2011.06653.x.
52. Predicting climate change impacts on maritime Antarctic soils: a space-for-time substitution study / C. A. Horrocks, K. K. Newsham, F. Cox, M. H. Garnett, C. H. Robinson, et al. // *Soil Biology and Biochemistry*. – 2020. – Vol. 141. – 107682. – DOI; 10.1016/j.soilbio.2019.107682.
53. Time-for-space substitution in N-mixture models for estimating population trends: a simulation-based evaluation / A. Costa, S. Salvidio, J. Penner, M. Basile // *Scientific Reports*. – 2021. – Vol. 11. – 4581. – DOI: 10.1038/s41598-021-84010-5.
54. Prediction of plant species distributions across six millennia / P. B. Pearman, C. F. Randin, O. Broennimann, P. Vittoz, W. O. van der Knaap, et al. // *Ecology Letters*. – 2008. – Vol. 11. – No. 4. – P. 357–369. – DOI: 10.1111/j.1461-0248.2007.01150.x.

55. Kharouba H. M., Algar A. C., Kerr J. T. Historically calibrated predictions of butterfly species' range shift using global change as a pseudo-experiment // *Ecology*. – 2009. – Vol. 90. – No. 8. – P. 2213–2222. – DOI: 10.1890/08-1304.1.
56. Modeling plant ranges over 75 years of climate change in California, USA : Temporal transferability and species traits / S. Z. Dobrowski, J. H. Thorne, J. A. Greenberg, H. D. Safford, A. R. Mynsberge, et al. // *Ecological Monographs*. – 2011. – Vol. 81. – No. 2. – P. 241–257. – DOI: 10.1890/10-1325.1.
57. No-analog climates and shifting realized niches during the late Quaternary : Implications for 21st-century predictions by species distribution models / S. Veloz, J. W. Williams, J. L. Blois, F. He, B. Otto-Bliesner, et al. // *Global Change Biology*. – 2012. – Vol. 18. – No. 5. – P. 1698–1713. – DOI: 10.1111/J.1365-2486.2011.02635.X.
58. Predicting the future of species diversity : Macroecological theory, climate change, and direct tests of alternative forecasting methods / A. C. Algar, H. M. Kharouba, E. R. Young, J. T. Kerr // *Ecography*. – 2009. – Vol. 32. – No. 1. – P. 22–33. – DOI: 10.1111/j.1600-0587.2009.05832.x.
59. Mokany K., Ferrier S. Predicting impacts of climate change on biodiversity : A role for semi-mechanistic community-level modelling // *Diversity and Distributions*. – 2011. – Vol. 17. – No. 2. – P. 374–380. – DOI: 10.1071/PC110179.
60. Jackson S., Overpeck J. Responses of plant populations and communities to environmental changes of the late Quaternary // *Paleobiology*. – 2000. – Vol. 26. – No. 4. – P. 194–220. – DOI: 10.1666/0094-8373(2000)26[194:ROPPAC]2.0.CO;2.
61. Buckley L. B., Jetz W. Linking global turnover of species and environments // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. – 2008. – Vol. 105. – No. 46. – P. 17836–17841. – DOI: 10.1073/pnas.0803524105.
62. Shuman B. N., Newby P., Donnelly J. P. Abrupt climate change as an important agent of ecological change in the Northeast U.S. throughout the past 15,000 years // *Quaternary Science Reviews*. – 2009. – Vol. 28. – No. 17–18. – P. 1693–1709. – DOI: 10.1016/J.QUASCIREV.2009.04.005.
63. Ricklefs R. E. Community diversity : Relative roles of local and regional processes // *Science*. – 1987. – Vol. 235 (4785). – P. 167–171. – DOI: 10.1126/science.235.4785.167.
64. Bertness M. D., Callaway R. Positive interactions in communities // *Trends in Ecology & Evolution*. – 1994. – Vol. 9. – No. 5. – P. 191–193. – DOI: 10.1016/0169-5347(94)90088-4.
65. Global change and species interactions in terrestrial ecosystems / J. M. Tylianakis, R. K. Didham, J. Bascompte, D. A. Wardle // *Ecology Letters*. – 2008. – Vol. 11. – No. 12. – P. 1351–1363. – DOI: 10.1111/j.1461-0248.2008.01250.x.
66. Williams J. W., Jackson S. T. Novel climates, no-analog communities, and ecological surprises // *Frontiers in Ecology and the Environment*. – 2007. – Vol. 5. – No. 9. – P. 475–482. – DOI: 10.1890/070037.
67. Ecology and the ratchet of events : Climate variability, niche dimensions, and species distributions / S. T. Jackson, J. L. Betancourt, R. K. Booth, S. T. Gray // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. – 2009. – Vol. 106. (Supplement 2). – P. 19685–19692. – DOI: 10.1073/pnas.0901644106.
68. Menzel A. Plant Phenological «Fingerprints» : Detection of Climate Change Impacts Schwartz M. D. (ed.) // *Phenology : An Integrative Environmental Science*. – Dordrecht-Boston-London : Kluwer, 2003. – P. 319–330.
69. Responses of spring phenology to climate change / F.-W. Badeck, A. Bondeau, K. Böttcher, D. Doktor, W. Lucht, et al. // *New Phytologist*. – 2004. – Vol. 162. – P. 295–309. – DOI: 10.1111/j.1469-8137.2004.01059.x.
70. Schwartz M. D., Ahas R., Aasa A. Onset of spring starting earlier across the Northern Hemisphere // *Global Change Biology*. – 2006. – Vol. 12. – P. 343–351. – DOI: 10.1111/j.1365-2486.2005.01097.x.
71. Changes in leaf phenology of three European oak species in response to experimental climate change / X. Morin, J. Roy, L. Sonie', I. Chuine // *New Phytologist*. – 2010. – Vol. 186. – P. 900–910. – DOI: 10.1111/j.1469-8137.2010.03252.x.

72. Chmielewski F. M., Roetzer T. Response of tree phenology to climate change across Europe // *Agricultural and Forest Meteorology*. – 2001. – Vol. 108. – P. 101–112. – DOI: 10.1016/S0168-1923(01)00233-7.
73. Miller-Rushing A. J., Primack R. B. Global warming and flowering times in Thoreau's Concord : A community perspective // *Ecology*. – 2008. – Vol. 89. – P. 332–341. – DOI: 10.1890/07-0068.1.
74. Spatial and interspecific variability in phenological responses to warming temperatures / R. B. Primack, I. Ibanez, H. Higuchi, S. D. Lee, A. J. Miller-Rushing, et al. // *Biological Conservation*. – 2009. – Vol. 142. – P. 2569–2577. – DOI: 10.1016/j.biocon.2009.06.003.
75. European phenological response to climate change matches the warming pattern / A. Menzel, T. H. Sparks, N. Estrella, E. Koch, A. Aasa, et al. // *Global Change Biology*. – 2006. – Vol. 12. – P. 1969–1976. – DOI: 10.1111/j.1365-2486.2006.01193.x.
76. Parmesan, C. Ecological and Evolutionary Responses to Recent Climate Change // *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. – 2006. – Vol. 37. – P. 637–669. – DOI: 10.1146/annurev.ecolsys.37.091305.110100.
77. Bertin R. I. Plant Phenology and Distribution in Relation to Recent Climate Change // *The Journal of the Torrey Botanical Society*. – 2008. – Vol. 135. – P. 126–146. – DOI: 10.3159/07-RP-035R.1.
78. A Space-For-Time (SFT) Substitution Approach to Studying Historical Phenological Changes in Urban Environment / A. Buyantuyev, P. Xu, J. Wu, S. Piao, D. Wang // *PLoS ONE*. – 2012. – Vol. 7. – No. 12. – e51260. – DOI:10.1371/journal.pone.0051260.
79. Plant functional trait change across a warming tundra biome / A. D. Bjorkman, I. H. Myers-Smith, S. C. Elmendorf, S. Normand, N. Rüger, et al. // *Nature*. – 2018. – Vol. 562. – P. 57–80. – DOI: 10.1038/s41586-018-0563-7.
80. Ecological dynamics across the Arctic associated with recent climate change / E. Post, M. C. Forchhammer, M. S. Bret-Harte, T. V. Callaghan, T. R. Christensen, et al. // *Science*. – 2009. – Vol. 25. – P. 1355–1358. – DOI: 10.1126/science.1173113.
81. Plot-scale evidence of tundra vegetation change and links to recent summer warming / S. C. Elmendorf, G. H. R. Henry, R. D. Hollister, R. G. Björk, N. Boulanger-Lapointe, et al. // *Nature Climate Change*. – 2012. – Vol. 2. – P. 453–457. – DOI: 10.1038/nclimate1465.
82. Long-term warming restructures Arctic tundra without changing net soil carbon storage / S. A. Sistla, J. C. Moore, R. T. Simpson, L. Gough, G. R. Shaver, et al. // *Nature*. – 2013. – Vol. 497. – P. 615–618. – DOI: 10.1038/nature12129.
83. Quantifying global soil carbon losses in response to warming / T. W. Crowther, K. E. O. Todd-Brown, C. W. Rowe, W. R. Wieder, J. C. Carey, et al. // *Nature*. – 2016. – Vol. 540. – P. 104–108. – DOI: 10.1038/nature20150.
84. Lavorel S., Garnier E. Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: revisiting the Holy Grail // *Functional Ecology*. – 2002. – Vol. 16. – P. 545–556. – DOI: 10.1046/j.1365-2435.2002.00664.x.
85. Global negative vegetation feedback to climate warming responses of leaf litter decomposition rates in cold biomes / J. H. C. Cornelissen, P. M. van Bodegom, R. Aerts, T. V. Callaghan, R. S. P. van Logtestijn, et al. // *Ecology Letters*. – 2007. – Vol. 10. – P. 619–627. – DOI: 10.1111/j.1461-0248.2007.01051.x.
86. Shifts in Arctic vegetation and associated feedbacks under climate change / R. G. Pearson, S. J. Phillips, M. M. Loranty, P. S. A. Beck, T. Damoulas, et al. // *Nature Climate Change*. – 2013. – Vol. 3. – P. 673–677. – DOI: 10.1038/nclimate1858.
87. Reich P. B., Oleksyn J. Global patterns of plant leaf N and P in relation to temperature and latitude // *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. – 2004. – Vol. 101. – P. 11001–11006. – DOI: 10.1073/pnas.0403588101.

88. Global patterns in plant height / A. T. Moles, D. I. Warton, L. Warman, N. G. Swenson, S. W. Laffan, et al. // *Journal of Ecology*. – 2009. – Vol. 97. – P. 923–932. – DOI: 10.1111/j.1365-2745.2009.01526.x.
89. Global patterns in seed size / A. T. Moles, D. D. Ackerly, J. C. Tweddle, J. B. Dickie, R. Smith, et al. // *Global Ecology and Biogeography*. – 2007. – Vol. 16. – P. 109–116. – DOI: 10.1111/j.1466-8238.2006.00259.x.
90. The global spectrum of plant form and function / S. Díaz, J. Kattge, J. H. C. Cornelissen, I. J. Wright, S. Lavorel et al. // *Nature*. – 2016. – Vol. 529. – P. 167–171. – DOI: 10.1038/nature16489.
91. A global meta-analysis of the relative extent of intraspecific trait variation in plant communities / A. Siefert, C. Violle, L. Chalmandrier, C. H. Albert, A. Taudiere, et al. // *Ecology Letters*. – 2015. – Vol. 18. – P. 1406–1419. – DOI: 10.1111/ele.12508.
92. Improving assessment and modelling of climate change impacts on global terrestrial biodiversity / S. M. McMahon, S. P. Harrison, W. S. Armbruster, P. J. Bartlein, C. M. Beale, et al. // *Trends in Ecology & Evolution*. – 2011. – Vol. 26. – P. 249–259. – DOI: 10.1016/j.tree.2011.02.012.
93. Latitudinal gradients as natural laboratories to infer species' responses to temperature / P. De Frenne, B. J. Graae, F. Rodríguez-Sánchez, A. Kolb, O. Chabrerie, et al. // *Journal of Ecology*. – 2013. – Vol. 101. – P. 784–795. – DOI: 10.1111/1365-2745.12074.
94. Experiment, monitoring, and gradient methods used to infer climate change effects on plant communities yield consistent patterns / S. C. Elmendorf, G. H. R. Henry, R. D. Hollister, A. M. Fosaa, W. A. Gould, et al. // *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. – 2015. – Vol. 112. – P. 448–452. – DOI: 10.1073/pnas.1410088112.
95. Banet A. I., Trexler J. C. Space-for-Time Substitution Works in Everglades Ecological Forecasting Models // *PLoS ONE*. – 2013. – Vol. 8. – No. 11. – e81025. – DOI: 10.1371/journal.pone.0081025.
96. Pickett S. T. A., Parker V. T., Fiedler P. L. The new paradigm in ecology: implications for conservation biology // *Conservation Biology : The Theory and Practice of Nature Conservation, Preservation and Management* / Fiedler, P. L. & Jain, S. K. (eds). – New York, NY : Chapman and Hall, 1992. – P. 65–88.
97. Cowles H. C. The ecological relations of the vegetation on the sand dunes of Lake Michigan // *Botanical Gazette*. – 1899. – Vol. 27. – P. 95–117, 167–202, 281–308, 361–391.
98. Whitford H. N. The genetic development of the forests of Northern Michigan // *Botanical Gazette*. – 1901. – Vol. 31. – P. 289–325. – URL: <https://archive.org/metadata/jstor-2465046>.
99. McNaughton S. J., Wolf L. L. *General Ecology*. – New York, NY Holt : Rinehart and Winston, Inc., 1973. – 710 p.
100. Ricklefs R. E. *Ecology*. – 3rd ed. – New York, NY : W.H. Freeman and Company, 1990. – 896 p.
101. Clements F. E. *Plant Succession: An Analysis of the Development of Vegetation*. – Washington : Carnegie Institute of Washington, DC, 1916. – 658 p.
102. Miyanishi K., Johnson A. Coastal dune succession and the reality of dune processes // *Plant Disturbance Ecology : The Process and the Response* / Miyanishi, K. (eds). – San Diego, CA : Academic Press, 2007. – P. 249–282.
103. Begon M., Harper J. L., Townsend C. R. *Ecology : Individuals, Populations and Communities*, 3rd edn. – Oxford, UK : Blackwell Sciences, 1996. – 1068 p. – DOI:10.2307/2960512 Corpus ID: 87675734.
104. Goudie A. *The Nature of the Environment*. – Oxford, UK : Basil Blackwell Ltd., 1989. – 370 p.
105. Myster R. W., Pickett S. T. A. Initial conditions, history and successional pathways in ten contrasting old fields // *The American Midland Naturalist*. – 1990. – Vol. 124. – P. 231–238. – DOI: 10.2307/2426172.
106. Колесников Б. П. Генетическая классификация типов леса и ее задачи на Урале // *Тр. Ин-та биологии*. – Свердловск : УФАИ СССР, 1961. – Вып. 27. – С. 47–59.
107. Смолоногов Е. П. Лесообразовательный процесс и генетическая классификация типов леса // *Леса Урала и хоз-во в них*. – 1995. – Вып. 18. – С. 43–58.
108. Анучин Н. П. *Лесная таксация*. – М. ; Л. : Гослесбумиздат, 1952. – 532 с.

109. Schwappach A. Die Kiefer. Wirtschaftliche und statistische Untersuchungen der forstlichen Abteilung der Hauptstation des forstlichen Versuchswesens in Eberswalde. – Neudamm : J. Neumann, 1908. – 180 p.
110. Кузьмичев В. В. Закономерности роста древостоев. – Новосибирск : Наука, 1977. – 160 с.
111. Climatic and evolutionary contexts are required to infer plant life history strategies from functional traits at a global scale / R. Kelly, K. Healy, M. Anand, M. E. A. Baudraz, M. Bahn, et al. // *Ecology Letters*. – 2021. – Vol. 24. – No. 5. – P. 1–14. – DOI: 10.1111/ele.13704.
112. Individual tree biomass equations and growth models sensitive to climate variables for *Larix* spp. in China / W. S. Zeng, H. R. Duo, X. D. Lei, X. Y. Chen, X. J. Wang et al. // *European Journal of Forest Research*. – 2017. – Vol. 136. – No. 20. – P. 233–249. – DOI: 10.1007/s10342-017-1024-9.
113. Fu L., Sun W., Wang G. A climate-sensitive aboveground biomass model for three larch species in northeastern and northern China // *Trees*. – 2017. – Vol. 31. – No. 2. – P. 557–573. – DOI: 10.1007/s00468-016-1490-6.
114. He X., Lei X.-D., Dong L.-H. How large is the difference in large-scale forest biomass estimations based on new climate-modified stand biomass models? // *Ecological Indicators*. – 2021. – Vol. 126. – 107569. – DOI: 10.1016/j.ecolind.2021.107569.
115. Variation in aboveground forest biomass across broad climatic gradients / J. C. Stegen, N. G. Swenson, B. J. Enquist, E. P. White, O. L. Phillips, et al. // *Global Ecology and Biogeography*. – 2011. – Vol. 20. – P. 744–754. – DOI: 10.1111/j.1466-8238.2010.00645.x.
116. Usoltsev V. A. Forest biomass and primary production database for Eurasia: digital version : Monograph. – The third edition, enlarged. – Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2020 b. – ISBN 978-5-94984-732-9. DOI: 10.13140/RG.2.2.29991.70568
117. Usoltsev V. A. Single-tree biomass data for remote sensing and ground measuring of Eurasian forests: digital version. – The second edition, enlarged. – Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University; Botanical Garden of Ural Branch of RAS, 2020 a. – ISBN 978-5-94984-727-5. DOI: 10.13140/RG.2.2.31984.00001 (https://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/9647/2/Base1_v2_ob.pdf)
118. Усольцев В. А., Цепордей И. С., Часовских В. П. Фитомасса деревьев двухвойных сосен Евразии: Аддитивные модели в климатических градиентах // *Сиб. лесн. жур.* – 2019. – № 1. – С. 44–56. – DOI: 10.15372/SJFS20190104.
119. Усольцев В. А., Цепордей И. С. Климатические градиенты биомассы насаждений *Quercus* spp. на территории Евразии // *Сиб. лесн. жур.* – 2020. – № 6. – С. 16–29. – DOI: 10.15372/SJFS20200602.
120. Usoltsev V. A., Shobairi S. O. R., Tsepordey I. S. Compatible models for *Quercus* spp. stand biomass and net primary production sensitive to precipitation and winter temperature in Eurasia // *Macedonian Journal of Ecology and Environment*. – 2020. – Vol. 22. – Issue 1. – P. 59–70. – URL: <https://www.researchgate.net/publication/344478557>
121. Allometric models of *Picea* spp. biomass for airborne laser sensing as related to climate variables / V. Usoltsev, V. Kovyazin, I. Tsepordey, S. Zalesov, V. Chasovskikh // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. (IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.). – 2021. – Vol. 806. – 012033. (II All-Russian scientific-technical conference «Digital Technologies in Forest Sector» 18–19 March 2021, Saint Petersburg, Russian Federation). DOI:10.1088/1755-1315/806/1/012033.
122. Finding common ground: Toward comparable indicators of adaptive capacity of tree species to a changing climate / S. Royer-Tardif, L. Boisvert-Marsh, J. Godbout, N. Isabel, I. Aubin // *Ecology and Evolution*. – 2021. – preprint. – DOI: 10.1002/ece3.8024.
123. Корзухин М. Д., Семевский Ф. Н. Синэкология леса. – СПб. : Гидрометеиздат, 1992. – 192 с.
124. Torre A., Fajnzylber P., Nash J. (eds.). Low-carbon development: Latin American responses to climate change. – World Bank Latin American and Caribbean studies, 2010. – 200 p. – URL: <http://hdl.handle.net/10986/2679>

125. Adaptation strategies for climate change / M. Howden, J. F. Soussana, F. N. Tubiello, N. Chhetri, M. Dunlop, H. Meinke // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. – 2007. – Vol. 104. – P. 19691–19696. – DOI:10.1073/pnas.0701890104.
126. Huq S., Grubb M. Preface // *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. – 2007. – Vol. 12. – P. 645–649. – DOI: 10.1007/s11027-007-9091-8.
127. Rosenzweig C., Tubiello F. N. Adaptation and mitigation strategies in agriculture: an analysis of potential synergies // *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. – 2007. – Vol. 12. – P. 855–873. – DOI: 10.1007/s11027-007-9103-8.
128. Gustafson E. J., Shvidenko A. Z., Scheller R. M. Effectiveness of forest management strategies to mitigate effects of global change in south-central Siberia // *Canadian Journal of Forest Research*. – 2011. – Vol. 41. – P. 1405–1421. – DOI: 10.1139/X11-065.
129. Adaptive forest management in central Europe: Climate change impacts, strategies and integrative concept / A. Bolte, C. Ammer, M. Löff, P. Madsen, G.-J. Nabuurs et al. // *Scandinavian Journal of Forest Research*. – 2009. – Vol. 24. – P. 473–482. – DOI:10.1080/02827 58090 3418224.
130. Adaptive measures: integrating adaptive forest management and forest landscape restoration / P. Spathelf, J. Stanturf, M. Kleine, R. Jandl, D. Chiatante, et al. // *Annals of Forest Science*. – 2018. – Vol. 75. – No. 2. – P. 55. – DOI: 10.1007/s13595-018-0736-4.
131. Revisiting projected shifts in the climate envelopes of North American trees using updated general circulation models / D. W. McKenney, J. H. Pedlar, R. B. Rood, D. Price // *Global Change Biology*. – 2011. – Vol. 17. – P. 2720–2730. – DOI: 10.1111/j.1365-2486.2011.02413.x.
132. Climate change threats to plant diversity in Europe / W. Thuiller, S. Lavorel, M. B. Araújo, M. T. Sykes, I. C. Prentice // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. – 2005. – Vol. 102. – P. 8245–8250. – DOI:10.1073/pnas.04099 02102.
133. Mapping conservation strategies under a changing climate / R. T. Belote, M. S. Dietz, P. S. McKinley, A. A. Carlson, C. Carroll, et al. // *BioScience*. – 2017. – Vol. 67. – P. 494–497. – DOI: 10.1093/biosci i/bix028.
134. Harnessing landscape heterogeneity for managing future disturbance risks in forest ecosystems / R. Seidl, K. Albrich, D. Thom, W. Rammer // *Journal of Environmental Management*. – 2018. – Vol. 209. – P. 46–56. – DOI: 10.1016/j.jenvm an.2017.12.014.
135. Aitken S. N. Time to get moving : Assisted gene flow of forest trees / S. N. Aitken, J. B. Bemmels // *Evolutionary Applications*. – 2016. – Vol. 9. – P. 271–290. – URL: <https://doi.org/10.1111/eva.12293>.
136. Forest responses to climate change in the northwestern United States : Ecophysiological foundations for adaptive management / D. J. Chmura, P. D. Anderson, G. T. Howe, C. A. Harrington, J. E. Halofsky et al. // *Forest Ecology and Management*. – 2011. – Vol. 261. – P. 1121–1142. – DOI: 10.1016/j.foreco.2010.12.040.
137. Millar C. I., Stephenson N. L., Stephens S. L. Climate change and forests of the future : Managing in the face of uncertainty // *Ecological Applications*. – 2007. – Vol. 17. – P. 2145–2151. – DOI: 10.1890/06-1715.1.
138. Adaptive Silviculture for climate change: A national experiment in Manager-Scientist partnerships to apply an adaptation framework / L. M. Nagel, B. J. Palik, M. A. Battaglia, A. W. D’Amato, J. M. Guldin, et al. // *Journal of Forestry*. – 2017. – Vol. 115. – P. 167–178. – DOI: 10.5849/jof.16-039.
139. Adaptation, migration or extirpation: Climate change outcomes for tree populations: Climate change outcomes for tree populations / S. N. Aitken, S. Yeaman, J. A. Holliday, T. Wang, S. Curtis-McLane // *Evolutionary Applications*. – 2008. – Vol. 1. – P. 95–111. – URL: <https://doi.org/10.1111/j.1752-4571.2007.00013.x>
140. Tree vulnerability to climate change: Improving exposure-based assessments using traits as indicators of sensitivity / I. Aubin, L. Boisvert-Marsh, H. Kebli, D. McKenney, J. Pedlar, et al. // *Ecosphere*. – 2018. – Vol. 9. – e02108. – URL: <https://doi.org/10.1002/ecs2.2108>.
141. Boisvert-Marsh L., Périé C., de Blois S. Shifting with climate? Evidence for recent changes in tree species distribution at high latitudes // *Ecosphere*. – 2014. – Vol. 5. – art83. – DOI:10.1890/ES14-00111.1.

142. The climate velocity of the contiguous United States during the 20th century / S. Z. Dobrowski, J. Abatzoglou, A. K. Swanson, J. A. Greenberg, A. R. Mynsberge, et al. // *Global Change Biology*. – 2013. – Vol. 19. – P. 241–251. – DOI: 10.1111/gcb.12026.
143. How much does climate change threaten European forest tree species distributions? / M. K. Dyderski, S. Paż, L. E. Frelich, A. M. Jagodziński // *Global Change Biology*. – 2018. – Vol. 24. – P. 1150–1163. – DOI: 10.1111/gcb.13925.
144. Bioclimatic velocity: The pace of species exposure to climate change / J. M. Serra-Diaz, J. Franklin, M. Ninyerola, F. W. Davis, A. D. Syphard, et al. // *Diversity and Distributions*. – 2014. – Vol. 20. – P. 169–180. – DOI:10.1111/ddi.12131.
145. Assessing agreement among alternative climate change projections to inform conservation recommendations in the contiguous United States / R. T. Belote, C. Carroll, S. Martinuzzi, J. Michalak, J. W. Williams et al. // *Scientific Reports*. – 2018. – Vol. 8. – P. 1–13. – DOI: 10.1038/s41598-018-27721-6.
146. Climate change vulnerability assessment of species / W. B. Foden, B. E. Young, H. R. Akçakaya, R. A. Garcia, A. A. Hoffmann, et al. // *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*. – 2019. – Vol. 10. – e551. – DOI: 10.1002/wcc.551.
147. Assessments of species' vulnerability to climate change: From pseudo to science / A. A. Wade, B. K. Hand, R. P. Kovach, C. C. Muhlfeld, R. S. Waples, et al. // *Biodiversity and Conservation*. – 2017. – Vol. 26. – P. 223–229. – DOI:10.1007/s10531-016-1232-5.
148. De los Ríos C., Watson J. E. M., Butt N. Persistence of methodological, taxonomical, and geographical bias in assessments of species' vulnerability to climate change: A review // *Global Ecology and Conservation*. – 2018. – Vol. 15. – e00412. – DOI: 10.1016/j.gecco.2018.e00412.
149. Persist in place or shift in space? Evaluating the adaptive capacity of species to climate change / L. L. Thurman, B. A. Stein, E. A. Beever, W. Foden, S. R. Geange, et al. // *Frontiers in Ecology and the Environment*. – 2020. – Vol. 18. – P. 520–528. – DOI: 10.1002/fee.2253.
150. Using a trait-based approach to compare tree species sensitivity to climate change stressors in Eastern Canada and inform adaptation practices / L. Boisvert-Marsh, S. Royer-Tardif, P. Nolet, F. Doyon, I. Aubin // *Forests*. – 2020. – Vol. 11. – 989. – DOI:10.3390/f11090989.
151. Родман Б. Б. Территориальные ареалы и сети. Очерки теоретической географии. – Смоленск : Ойкумена, 1999. – 256 с. – URL: https://stav-geo.ru/_ld/23/2329_Rodoman_B_B_Ter.pdf
152. Кобак К. И., Кондрашева Н. Ю. Изменения локализации природных зон при глобальном потеплении // *Экология*. – 1992. – № 3. – С. 9–18.
153. Changes in the geographical distribution of plant species and climatic variables on the West Cornwall peninsula (SouthWest UK) / A. Kosanic, K. Anderson, S. Harrison, T. Turkington, J. Bennie // *PLoS ONE*. – 2018. – Vol. 13. – e0191021. – DOI: 10.1371/journal.pone.0191021.
154. Rodoman B. B. Die räumliche Differenzierung der Biogeosphäre unter dem Gesichtspunkt der Theoretischen Geographie // *Geographische Berichte*. – 1977. – Vol. 84. – No. 3. – P. 198–208.
155. Liebig J. Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie. – Braunschweig : Verlag Vieweg, 1840. – 376 p. – URL: http://www.deutschestextarchiv.de/liebig_agricultur_1840, abgerufen am 26.11.2019.
156. Esslen J. Das Gesetz des abnehmenden Bodenertrages seit Justus von Liebig: Eine dogmengeschichtliche Untersuchung. – München : J. Schweitzer Verlag (Arthur Sellier), 1905. – 290 p.
157. Shelford V. E. Animal communities in temperate America as illustrated in the Chicago region: a study in animal ecology. – Issue 5. – Part 1. Geographic Society of Chicago by the University of Chicago Press, 1913. – 362 p.
158. Taylor W. P. Significance of extreme or intermittent conditions in distribution of species and management of natural resources, with a restatement of Liebig's law of the minimum // *Ecology*. – 1934. – Vol. 15. – P. 274–379. – DOI:10.2307/1932352.

159. Молчанов А. А. Продуктивность органической массы в лесах различных зон. – М. : Наука, 1971. – 275 с.
160. Общая и прикладная экология / Г. С. Розенберг, Ф. Н. Рянский, Н. В. Лазарева, С. В. Саксонов, Ю. В. Симонов и др. – Самара-Тольятти : Изд-во Самар. гос. экон. ун-та, 2016. – 452 с.
161. Douglas A. E. Climatic Cycles and Trees-Growth. A Study of the Annual Rings of Trees in Relation to Climate and Solar Activity. – Publication No. 289. – Washington : Carnegie Institution of Washington, 1919. – 127 p.
162. Костин С. И. Солнечная активность и влияние ее на прирост деревьев и состояние лесных насаждений в центральной части лесостепи Русской равнины // Тр. Главн. геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова. – 1961. – Вып. 111. – С. 108–117.
163. Будыко М. И. Глобальная экология. – М. : Мысль, 1977. – 328 с.
164. Оленин С. М. Динамика радиального прироста древостоев сосновых фитоценозов среднетаежной подзоны Предуралья : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.16 / Оленин Сталь Михайлович. – Свердловск : УФАН СССР, 1982. – 18 с.
165. Риклефс Р. Е. Основы общей экологии. – М. : Мир, 1979. – 424 с.
166. Глебов Ф. З., Литвиненко В. И. Динамика ширины годовых колец в связи с метеорологическими показателями в различных типах болотных лесов // Лесоведение. – 1976. – № 4. – С. 56–62.
167. Молчанов А. А. Дендроклиматические основы прогнозов погоды. – М. : Наука, 1976. – 168 с.
168. Plant response to climate change along the forest-tundra ecotone in northeastern Siberia / L. T. Berner, P. S. A. Beck, A. G. Bunn, S. J. Goetz // *Global Change Biology*. – 2013. – Vol. 19. – No. 11. – P. 3449–3462. – DOI: 10.1111/gcb.12304.
169. Фонти М. В. Климатический сигнал в параметрах годовых колец (плотности древесины, анатомической структуре и изотопном составе) хвойных и лиственных видов деревьев в различных природно-климатических зонах Евразии : автореф. дис. ... д-ра биол. наук : 03.02.08 / Фонти Марина Викторовна. – Красноярск : СибФУ, 2020. – 45 с.
170. Givnish T. J. Adaptive significance of evergreen vs. deciduous leaves : Solving the triple paradox // *Silva Fennica*. – 2002. – Vol. 36. – No. 3. – P. 703–743. – DOI: 10.14214/sf.535.
171. Europe : impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / J. Alcamo, J. M. Moreno, B. Nováky, M. Bindi, R. Corobov, et al. // *Climate change*. Parry M. L., Canziani O. F., Palutikof J. P., van der Linden P. J., Hanson C. E. (eds). – Cambridge University Press : Cambridge, 2007. – P. 541–580.
172. Tamm Review : Observed and projected climate change impacts on Russia's forests and its carbon balance / S. Schaphoff, Ch. P. O. Reyer, D. Schepaschenko, D. Gerten, A. Shvidenko // *Forest Ecology and Management*. – 2016. – Vol. 361. – P. 432–444. – DOI:10.1016/j.foreco.2015.11.043.
173. Adaptive diversification of growth allometry in the plant *Arabidopsis thaliana* / F. Vasseur, M. Exposito-Alonso, O. J. Ayala-Garay, G. Wang, B. J. Enquist, et al. // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. – 2018. – Vol. 115. – No. 13. – P. 3416–3421. – DOI: 10.1073/pnas.1709141115.
174. Одум Е. Основы экологии. – М. : Мир, 1975. – 740 с.
175. Climate sensitivity and drought seasonality determine post-drought growth recovery of *Quercus petraea* and *Quercus robur* in Europe / A. K. Bose, D. Scherrer, J. J. Camarero, D. Ziche, F. Babst, et al. // *Science of the Total Environment*. – 2021. – Preprint. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.147222.
176. Combating ecosystem collapse from the tropics to the Antarctic / D. M. Bergstrom, B. C. Wienecke, J. van den Hoff, L. Hughes, D. B. Lindenmayer, et al. // *Global Change Biology*. – 2021. – Preprint. – P. 1–12. – DOI: 10.1111/gcb.15539.

References

1. Space can substitute for time in predicting climate-change effects on biodiversity / J. L. Blois, J. W. Williams, M. C. Fitzpatrick, S. T. Jackson, S. Ferrier // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 2013. – Vol. 110. – No. 23. – P. 9374–9379. – DOI: 10.1073/pnas.1220228110.
2. Ecological Forecasts: An Emerging Imperative / J. S. Clark, S. R. Carpenter, M. Barber, S. Collins, A. Dobson et al. // *Science*. – 2001. – Vol. 293. – P. 657–660. – DOI:10.1126/science.293.5530.657.
3. Ecological Variability in Space and Time: Insights Gained from the US LTER Program / T. K. Kratz, L. A. Deegan, M. E. Harmon, W. K. Lauenroth // *BioScience*. – 2003. – Vol. 53. – P. 57–67. – DOI: 10.1641/0006-3568(2003)053[0057:EVISAT]2.0.CO;2.
4. Magnuson J. J. Long-Term Ecological Research and the Invisible Present // *BioScience*. – 1990. – Vol. 40. – P. 495–501. – DOI:10.2307/1311317.
5. The climate envelope may not be empty / A. T. Peterson, N. Barve, L. M. Bini, J. A. Diniz-Filho, A. Jiménez-Valverde et al. // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. – 2009. – Vol. 106. – E47–E47. – DOI: 10.1073/pnas.0809722106.
6. Soininen J. Species Turnover along Abiotic and Biotic Gradients: Patterns in Space Equal Patterns in Time? // *BioScience*. – 2010. – Vol. 60. – P. 433–439. – DOI:10.1525/bio.2010.60.6.7.
7. Warming effects on marine microbial food web processes: how far can we go when it comes to predictions? / H. Sarmiento, J. M. Montoya, E. Vázquez-Domínguez, D. Vaqué, J. M. Gasol // *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. – 2010. – Vol. 365. – P. 2137–2149. – DOI:10.1098/rstb.2010.0045.
8. Butterfly abundance in a warming climate: patterns in space and time are not congruent / N. J. B. Isaac, M. Girardello, T. M. Brereton, D. B. Roy // *Journal of Insect Conservation*. – 2010. – Vol. 15. – P. 233–240. – DOI:10.1007/s10841-010-9340-0.
9. Kappes H., Sundermann A., Haase P. High spatial variability biases the space-for-time approach in environmental monitoring // *Ecological Indicators*. – 2010. – Vol. 10. – P. 1202–1205. – DOI:10.1016/j.ecolind.2010.03.012.
10. Boltzmann L. Einige allgemeine Sätze über Wärmegleichgewicht // *Wiener Berichte*. – 1871. – Vol. 63. – P. 679–711.
11. Theories and methods of space-for-time substitution in geomorphology / X. Huang, H. Ding, J. Na, G. Tang // *Acta Geographica Sinica*. – 2017. – Vol. 728. – No. 1. – P. 94–104. – DOI: 10.11821/dlxb201701008.
12. Space-for-time substitution in geomorphology: A critical review and conceptual framework / X. Huang, G. Tang, T. Zhu, H. Ding, J. Na // *Journal of Geographical Sciences*. – 2019. – Vol. 29. – No. 10. – P. 1670–1680. – DOI: 10.1007/s11442-019-1684-0.
13. Pickett S. Space-for-time substitution as an alternative to long-term studies // *Long-term studies in ecology: Approaches and alternatives*. Likens G. E. (ed.). – New York : Springer, 1989. – P. 110–135.
14. Fastie C. L. Causes and ecosystem consequences of multiple pathways of primary succession at Glacier Bay, Alaska // *Ecology*. – 1995. – Vol. 76. – No. 6. – P. 1899–1916. – DOI: 10.2307/1940722.
15. Johnson E. A., Miyanishi K. Testing the assumptions of chronosequences in succession // *Ecology Letters*. – 2008. – Vol. 11. – No. 5. – P. 419–431. – DOI: 10.1111/j.1461-0248.2008.01173.x.
16. Imbrie J., Kipp N. G. A new micropaleontological method for quantitative paleoclimatology : Application to a late Pleistocene Caribbean core // *The Late Cenozoic Glacial Ages*. Turekian K. (ed.). – New Haven : Yale Univ. Press, CT, 1971. – P. 77–181.
17. Environmental controls on branched tetraether lipid distributions in tropical East African lake sediments / J. E. Tierney, J. M. Russell, H. Eggermont, E. C. Hopmans, D. Verschuren, et al. // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 2010. – Vol. 74. – No. 17. – P. 4902–4918. – DOI:10.1016/J.GCA.2010.06.002.

18. Huggett R. J. *Fundamentals of Geomorphology*. – 3rd ed. – London ; New York : Routledge, 2011. – 533 p.
19. Bierman P. R., Montgomery D. R. *Key concepts in geomorphology*. – San Francisco : WH Freeman, 2014. – 532 p.
20. Liu D. S. *Loess and environment*. – Beijing : Science Press, 1985. – 207 p.
21. The relationship between gully development and climatic changes in the loess Yuan region: Examples from Luochuan, Shaanxi Province / B. Y. Yuan, T. E. Ba, J. X. Cui, Q. Yin // *Acta Geographica Sinica*. – 1987. – Vol. 54. – No. 4. – P. 42–51. – URL: https://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-DLXB198704004.htm
22. Modeling the evolution of loess-covered landforms in the Loess Plateau of China using a DEM of underground bedrock surface / L. Y. Xiong, G. A. Tang, F. Y. Li, B.-Y. Yuan, Z.-C. Lu // *Geomorphology*. – 2014. – Vol. 209. – No. 3. – P. 18–26. – DOI: 10.1016/j.geomorph.2013.12.009.
23. A cellular automata model for simulating the evolution of positive-negative terrains in a small loess watershed / M. Cao, G. A. Tang, F. Zhang, J. Yang // *International Journal of Geographical Information Science*. – 2013. – Vol. 27. – No. 7. – P. 1349–1363. – DOI: 10.1080/13658816.2012.756882.
24. Dynamic reorganization of river basins / S. D. Willett, S. W. McCoy, J. T. Perron, L. Goren, C.-Y. Chen // *Science*. – 2014. – Vol. 343 (6175). – 1248765. – DOI: 10.1126/science.1248765.
25. Yang R., Willett S. D., Goren L. In situ low-relief landscape formation as a result of river network disruption // *Nature*. – 2015. – Vol. 520 (7548). – 526. – DOI: 10.1038/nature14354.
26. Huang C., Liu G. H. A review of the application of cellular models in landscape evolution modeling // *Progress in Geography*. – 2010. – Vol. 24. – No. 1. – P. 105–115.
27. Coastline changes in Yancheng since 6000 years ago based on remote sensing image dodging / Y. Y. Kang, X. R. Ding, L. G. Cheng et al. // *Acta Geographica Sinica*. – 2010. – Vol. 65. – No. 9. – P. 1130–1136.
28. Sedimentary and morphological evolution of nearshore coast of Yangtze Estuary in the last 30 years / N. Ji, H. Q. Cheng, Z. Y. Yang, H. Hu, Z. Chen // *Acta Geographica Sinica*. – 2013. – Vol. 68. – No. 7. – P. 945–954. – URL: <http://www.geog.com.cn/EN/>
29. Parker R. S. *Experimental study of drainage basin evolution and its hydrologic implications* / [Ph.D. Dissertation]. – Fort Collins: Colorado State University, 1977. – 58 p. – URL: <http://hdl.handle.net/10217/61850>
30. Schumm S. A., Mosley M. P., Weaver W. E. *Experimental Fluvial Geomorphology*. – New York : John Wiley & Sons, 1987. – 413 p.
31. Glock W. S. The development of drainage systems: A synoptic view // *Geographical Review*. – 1931. – Vol. 21. – No. 3. – P. 475–482.
32. Paine A. D. M. Ergodic reasoning in geomorphology-time for a review of the term // *Progress in Physical Geography*. – 1985. – Vol. 9. – No. 1. – P. 1–15. – DOI: 10.1177/030913338500900101.
33. Fryirs K., Brierley G. J., Erskine W. D. Use of ergodic reasoning to reconstruct the historical range of variability and evolutionary trajectory of rivers // *Earth Surface Processes & Landforms*. – 2012. – Vol. 37. – No. 7. – P. 763–773. – DOI: 10.1002/esp.3210.
34. Schumm S. A. *To interpret the Earth: Ten ways to be wrong*. – Cambridge : Cambridge University Press, 1991. – 133 p.
35. Mardia K. V. *Statistics of directional data*. – London : Academic Press, 1972. – 380 p. – DOI: 10.1111/j.2517-6161.1975.tb01550.x.
36. Ghosh S., Wildi O. Statistical analysis of landscape data: Space-for-time, probability surfaces and discovering species // *A Changing World: Challenges for Landscape Research* / Kienast F., Wildi O., Ghosh S. (eds.). *Landscape Series*. – Vol. 8. – Dordrecht: Springer, 2007. – P. 209–221.
37. Foster B. L., Tilman D. Dynamic and static views of succession: Testing the descriptive power of the chronosequence approach // *Plant Ecology*. – 2000. – Vol. 146. – P. 1–10. – DOI: 10.1023/A:1009895103017.

38. Wildi O. Modelling succession from pasture to forest in time and space // *Community Ecology*. – 2002. – Vol. 3. – P. 181–189. – DOI: 10.1556/ComEc.3.2002.2.5.
39. Likens G. E. (ed.). Long-term studies in ecology: Approaches and alternatives. – New York : Springer, 1989. – 214 p. – DOI: 10.1007/978-1-4615-7358-6_5.
40. The use of chronosequences in studies of ecological succession and soil development / L. R. Walker, D. A. Wardle, R. D. Bardgett, B. D. Clarkson // *Journal of Ecology*. – 2010. – Vol. 98. – No. 4. – P. 725–736. – DOI: 10.1111/j.1365-2745.2010.01664.x.
41. Substituting space for time: Empirical evaluation of spatial replication as a surrogate for temporal replication in occupancy modelling / A. Srivathsa, M. Puri, N. S. Kumar, D. Jathanna, K. U. Karanth // *Journal of Applied Ecology*. – 2018. – Vol. 55. – P. 754–765. – DOI: 10.1111/1365-2664.13005.
42. Using space-for-time substitution and time sequence approaches in invasion ecology / S. M. Thomaz, A. A. Agostinho, L. C. Gomes, M. J. Silveira, M. Rejmanek, et al. // *Freshwater Biology*. – 2012. – Vol. 57. – P. 2401–2410. – DOI:10.1111/fwb.12005.
43. Wogan G. O. U., Wang I. J. The value of space-for-time substitution for studying fine-scale micro-evolutionary processes // *Ecography*. – 2018. – Vol. 41. – P. 1456–1468. – DOI: 10.1111/ecog.03235.
44. Beale C. M., Lennon J. J., Gimona A. Opening the climate envelope reveals no macroscale associations with climate in European birds // *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. – 2008. – Vol. 105. – P. 14908–14912. – DOI: 10.1073/pnas.0803506105.
45. The bioclimatic envelope of the wolverine (*Gulo gulo*): do climatic constraints limit its geographic distribution? / J. P. Copeland, K. S. McKelvey, K. B. Aubry, A. Landa, J. Persson et al. // *Canadian Journal of Zoology*. – 2010. – Vol. 88. – P. 233–246. – DOI:10.1139/Z09-136.
46. Mbogga M. S., Wang X., Hamann A. Bioclimate envelope model predictions for natural resource management: dealing with uncertainty // *Journal of Applied Ecology*. – 2010. – Vol. 47. – P. 731–740. – DOI:10.1111/j.1365-2664.2010.01830.x.
47. Currie D. J. Projected effects of climate change on patterns of vertebrate and tree species richness in the conterminous United States // *Ecosystems (N. Y.)*. – 2001. – Vol. 4. – No. 3. – P. 216–225. – DOI: 10.1007/s10021-001-0005-4.
48. Guisan A., Thuiller W. Predicting species distribution: Offering more than simple habitat models // *Ecology Letters*. – 2005. – Vol. 8. – No. 9. – P. 993–1009. – DOI: 10.1111/j.1461-0248.2005.00792.x.
49. Ferrier S., Guisan A. Spatial modelling of biodiversity at the community level // *Journal of Applied Ecology*. – 2006. – Vol. 43. – No. 3. – P. 393–404. – DOI: 10.1111/j.1365-2664.2006.01149.x.
50. Elith J., Leathwick J. R. Species distribution models: Ecological explanation and prediction across space and time // *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*. – 2009. – Vol. 40. – No. 1. – P. 677–697. – DOI: 10.1146/annurev.ecolsys.110308.120159.
51. Forecasting the future of biodiversity: a test of single- and multi-species models for ants in North America / M. C. Fitzpatrick, N. J. Sanders, S. Ferrier, J. T. Longino, M. D. Weiser, et al. // *Ecography*. – 2011. – Vol. 34. – No. 5. – P. 836–847. – DOI: 10.1111/j.1600-0587.2011.06653.x.
52. Predicting climate change impacts on maritime Antarctic soils: a space-for-time substitution study / C. A. Horrocks, K. K. Newsham, F. Cox, M. H. Garnett, C. H. Robinson, et al. // *Soil Biology and Biochemistry*. – 2020. – Vol. 141. – 107682. – DOI; 10.1016/j.soilbio.2019.107682.
53. Time-for-space substitution in N-mixture models for estimating population trends: a simulation-based evaluation / A. Costa, S. Salvidio, J. Penner, M. Basile // *Scientific Reports*. – 2021. – Vol. 11. – 4581. – DOI: 10.1038/s41598-021-84010-5.
54. Prediction of plant species distributions across six millennia / P. B. Pearman, C. F. Randin, O. Broennimann, P. Vittoz, W. O. van der Knaap, et al. // *Ecology Letters*. – 2008. – Vol. 11. – No. 4. – P. 357–369. – DOI: 10.1111/j.1461-0248.2007.01150.x.

55. Kharouba H. M., Algar A. C., Kerr J. T. Historically calibrated predictions of butterfly species' range shift using global change as a pseudo-experiment // *Ecology*. – 2009. – Vol. 90. – No. 8. – P. 2213–2222. – DOI: 10.1890/08-1304.1.

56. Modeling plant ranges over 75 years of climate change in California, USA : Temporal transferability and species traits / S. Z. Dobrowski, J. H. Thorne, J. A. Greenberg, H. D. Safford, A. R. Mynsberge, et al. // *Ecological Monographs*. – 2011. – Vol. 81. – No. 2. – P. 241–257. – DOI: 10.1890/10-1325.1.

57. No-analog climates and shifting realized niches during the late Quaternary : Implications for 21st-century predictions by species distribution models / S. Veloz, J. W. Williams, J. L. Blois, F. He, B. Otto-Bliesner, et al. // *Global Change Biology*. – 2012. – Vol. 18. – No. 5. – P. 1698–1713. – DOI: 10.1111/J.1365-2486.2011.02635.X.

58. Predicting the future of species diversity : Macroecological theory, climate change, and direct tests of alternative forecasting methods / A. C. Algar, H. M. Kharouba, E. R. Young, J. T. Kerr // *Ecography*. – 2009. – Vol. 32. – No. 1. – P. 22–33. – DOI: 10.1111/j.1600-0587.2009.05832.x.

59. Mokany K., Ferrier S. Predicting impacts of climate change on biodiversity : A role for semi-mechanistic community-level modelling // *Diversity and Distributions*. – 2011. – Vol. 17. – No. 2. – P. 374–380. – DOI: 10.1071/PC110179.

60. Jackson S., Overpeck J. Responses of plant populations and communities to environmental changes of the late Quaternary // *Paleobiology*. – 2000. – Vol. 26. – No. 4. – P. 194–220. – DOI: 10.1666/0094-8373(2000)26[194:ROPPAC]2.0.CO;2.

61. Buckley L. B., Jetz W. Linking global turnover of species and environments // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. – 2008. – Vol. 105. – No. 46. – P. 17836–17841. – DOI: 10.1073/pnas.0803524105.

62. Shuman B. N., Newby P., Donnelly J. P. Abrupt climate change as an important agent of ecological change in the Northeast U.S. throughout the past 15,000 years // *Quaternary Science Reviews*. – 2009. – Vol. 28. – No. 17–18. – P. 1693–1709. – DOI: 10.1016/J.QUASCIREV.2009.04.005.

63. Ricklefs R. E. Community diversity : Relative roles of local and regional processes // *Science*. – 1987. – Vol. 235 (4785). – P. 167–171. – DOI: 10.1126/science.235.4785.167.

64. Bertness M. D., Callaway R. Positive interactions in communities // *Trends in Ecology & Evolution*. – 1994. – Vol. 9. – No. 5. – P. 191–193. – DOI: 10.1016/0169-5347(94)90088-4.

65. Global change and species interactions in terrestrial ecosystems / J. M. Tylianakis, R. K. Didham, J. Bascompte, D. A. Wardle // *Ecology Letters*. – 2008. – Vol. 11. – No. 12. – P. 1351–1363. – DOI: 10.1111/j.1461-0248.2008.01250.x.

66. Williams J. W., Jackson S. T. Novel climates, no-analog communities, and ecological surprises // *Frontiers in Ecology and the Environment*. – 2007. – Vol. 5. – No. 9. – P. 475–482. – DOI: 10.1890/070037.

67. Ecology and the ratchet of events : Climate variability, niche dimensions, and species distributions / S. T. Jackson, J. L. Betancourt, R. K. Booth, S. T. Gray // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. – 2009. – Vol. 106. (Supplement 2). – P. 19685–19692. – DOI: 10.1073/pnas.0901644106.

68. Menzel A. Plant Phenological «Fingerprints» : Detection of Climate Change Impacts Schwartz M. D. (ed.) // *Phenology : An Integrative Environmental Science*. – Dordrecht-Boston-London : Kluwer, 2003. – P. 319–330.

69. Responses of spring phenology to climate change / F.-W. Badeck, A. Bondeau, K. Böttcher, D. Doktor, W. Lucht, et al. // *New Phytologist*. – 2004. – Vol. 162. – P. 295–309. – DOI: 10.1111/j.1469-8137.2004.01059.x.

70. Schwartz M. D., Ahas R., Aasa A. Onset of spring starting earlier across the Northern Hemisphere // *Global Change Biology*. – 2006. – Vol. 12. – P. 343–351. – DOI: 10.1111/j.1365-2486.2005.01097.x.

71. Changes in leaf phenology of three European oak species in response to experimental climate change / X. Morin, J. Roy, L. Sonie', I. Chuine // *New Phytologist*. – 2010. – Vol. 186. – P. 900–910. – DOI: 10.1111/j.1469-8137.2010.03252.x.

72. Chmielewski F. M., Roetzer T. Response of tree phenology to climate change across Europe // *Agricultural and Forest Meteorology*. – 2001. – Vol. 108. – P. 101–112. – DOI: 10.1016/S0168-1923(01)00233-7.
73. Miller-Rushing A. J., Primack R. B. Global warming and flowering times in Thoreau's Concord : A community perspective // *Ecology*. – 2008. – Vol. 89. – P. 332–341. – DOI: 10.1890/07-0068.1.
74. Spatial and interspecific variability in phenological responses to warming temperatures / R. B. Primack, I. Ibanez, H. Higuchi, S. D. Lee, A. J. Miller-Rushing, et al. // *Biological Conservation*. – 2009. – Vol. 142. – P. 2569–2577. – DOI: 10.1016/j.biocon.2009.06.003.
75. European phenological response to climate change matches the warming pattern / A. Menzel, T. H. Sparks, N. Estrella, E. Koch, A. Aasa, et al. // *Global Change Biology*. – 2006. – Vol. 12. – P. 1969–1976. – DOI: 10.1111/j.1365-2486.2006.01193.x.
76. Parmesan, C. Ecological and Evolutionary Responses to Recent Climate Change // *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. – 2006. – Vol. 37. – P. 637–669. – DOI: 10.1146/annurev.ecolsys.37.091305.110100.
77. Bertin R. I. Plant Phenology and Distribution in Relation to Recent Climate Change // *The Journal of the Torrey Botanical Society*. – 2008. – Vol. 135. – P. 126–146. – DOI: 10.3159/07-RP-035R.1.
78. A Space-For-Time (SFT) Substitution Approach to Studying Historical Phenological Changes in Urban Environment / A. Buyantuyev, P. Xu, J. Wu, S. Piao, D. Wang // *PLoS ONE*. – 2012. – Vol. 7. – No. 12. – e51260. – DOI:10.1371/journal.pone.0051260.
79. Plant functional trait change across a warming tundra biome / A. D. Bjorkman, I. H. Myers-Smith, S. C. Elmendorf, S. Normand, N. Rüger, et al. // *Nature*. – 2018. – Vol. 562. – P. 57–80. – DOI: 10.1038/s41586-018-0563-7.
80. Ecological dynamics across the Arctic associated with recent climate change / E. Post, M. C. Forchhammer, M. S. Bret-Harte, T. V. Callaghan, T. R. Christensen, et al. // *Science*. – 2009. – Vol. 25. – P. 1355–1358. – DOI: 10.1126/science.1173113.
81. Plot-scale evidence of tundra vegetation change and links to recent summer warming / S. C. Elmendorf, G. H. R. Henry, R. D. Hollister, R. G. Björk, N. Boulanger-Lapointe, et al. // *Nature Climate Change*. – 2012. – Vol. 2. – P. 453–457. – DOI: 10.1038/nclimate1465.
82. Long-term warming restructures Arctic tundra without changing net soil carbon storage / S. A. Sistla, J. C. Moore, R. T. Simpson, L. Gough, G. R. Shaver, et al. // *Nature*. – 2013. – Vol. 497. – P. 615–618. – DOI: 10.1038/nature12129.
83. Quantifying global soil carbon losses in response to warming / T. W. Crowther, K. E. O. Todd-Brown, C. W. Rowe, W. R. Wieder, J. C. Carey, et al. // *Nature*. – 2016. – Vol. 540. – P. 104–108. – DOI: 10.1038/nature20150.
84. Lavorel S., Garnier E. Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: revisiting the Holy Grail // *Functional Ecology*. – 2002. – Vol. 16. – P. 545–556. – DOI: 10.1046/j.1365-2435.2002.00664.x.
85. Global negative vegetation feedback to climate warming responses of leaf litter decomposition rates in cold biomes / J. H. C. Cornelissen, P. M. van Bodegom, R. Aerts, T. V. Callaghan, R. S. P. van Logtestijn, et al. // *Ecology Letters*. – 2007. – Vol. 10. – P. 619–627. – DOI: 10.1111/j.1461-0248.2007.01051.x.
86. Shifts in Arctic vegetation and associated feedbacks under climate change / R. G. Pearson, S. J. Phillips, M. M. Loranty, P. S. A. Beck, T. Damoulas, et al. // *Nature Climate Change*. – 2013. – Vol. 3. – P. 673–677. – DOI: 10.1038/nclimate1858.
87. Reich P. B., Oleksyn J. Global patterns of plant leaf N and P in relation to temperature and latitude // *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. – 2004. – Vol. 101. – P. 11001–11006. – DOI: 10.1073/pnas.0403588101.

88. Global patterns in plant height / A. T. Moles, D. I. Warton, L. Warman, N. G. Swenson, S. W. Laffan, et al. // *Journal of Ecology*. – 2009. – Vol. 97. – P. 923–932. – DOI: 10.1111/j.1365-2745.2009.01526.x.
89. Global patterns in seed size / A. T. Moles, D. D. Ackerly, J. C. Tweddle, J. B. Dickie, R. Smith, et al. // *Global Ecology and Biogeography*. – 2007. – Vol. 16. – P. 109–116. – DOI: 10.1111/j.1466-8238.2006.00259.x.
90. The global spectrum of plant form and function / S. Díaz, J. Kattge, J. H. C. Cornelissen, I. J. Wright, S. Lavorel et al. // *Nature*. – 2016. – Vol. 529. – P. 167–171. – DOI: 10.1038/nature16489.
91. A global meta-analysis of the relative extent of intraspecific trait variation in plant communities / A. Siefert, C. Violle, L. Chalmandrier, C. H. Albert, A. Taudiere, et al. // *Ecology Letters*. – 2015. – Vol. 18. – P. 1406–1419. – DOI: 10.1111/ele.12508.
92. Improving assessment and modelling of climate change impacts on global terrestrial biodiversity / S. M. McMahon, S. P. Harrison, W. S. Armbruster, P. J. Bartlein, C. M. Beale, et al. // *Trends in Ecology & Evolution*. – 2011. – Vol. 26. – P. 249–259. – DOI: 10.1016/j.tree.2011.02.012.
93. Latitudinal gradients as natural laboratories to infer species' responses to temperature / P. De Frenne, B. J. Graae, F. Rodríguez-Sánchez, A. Kolb, O. Chabrerie, et al. // *Journal of Ecology*. – 2013. – Vol. 101. – P. 784–795. – DOI: 10.1111/1365-2745.12074.
94. Experiment, monitoring, and gradient methods used to infer climate change effects on plant communities yield consistent patterns / S. C. Elmendorf, G. H. R. Henry, R. D. Hollister, A. M. Fosaa, W. A. Gould, et al. // *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. – 2015. – Vol. 112. – P. 448–452. – DOI: 10.1073/pnas.1410088112.
95. Banet A. I., Trexler J. C. Space-for-Time Substitution Works in Everglades Ecological Forecasting Models // *PLoS ONE*. – 2013. – Vol. 8. – No. 11. – e81025. – DOI: 10.1371/journal.pone.0081025.
96. Pickett S. T. A., Parker V. T., Fiedler P. L. The new paradigm in ecology: implications for conservation biology // *Conservation Biology : The Theory and Practice of Nature Conservation, Preservation and Management* / Fiedler, P. L. & Jain, S. K. (eds). – New York, NY : Chapman and Hall, 1992. – P. 65–88.
97. Cowles H. C. The ecological relations of the vegetation on the sand dunes of Lake Michigan // *Botanical Gazette*. – 1899. – Vol. 27. – P. 95–117, 167–202, 281–308, 361–391.
98. Whitford H. N. The genetic development of the forests of Northern Michigan // *Botanical Gazette*. – 1901. – Vol. 31. – P. 289–325. – URL: <https://archive.org/metadata/jstor-2465046>.
99. McNaughton S. J., Wolf L. L. *General Ecology*. – New York, NY Holt : Rinehart and Winston, Inc., 1973. – 710 p.
100. Ricklefs R. E. *Ecology*. – 3rd ed. – New York, NY : W.H. Freeman and Company, 1990. – 896 p.
101. Clements F. E. *Plant Succession: An Analysis of the Development of Vegetation*. – Washington : Carnegie Institute of Washington, DC, 1916. – 658 p.
102. Miyanishi K., Johnson A. Coastal dune succession and the reality of dune processes // *Plant Disturbance Ecology : The Process and the Response* / Miyanishi, K. (eds). – San Diego, CA : Academic Press, 2007. – P. 249–282.
103. Begon M., Harper J. L., Townsend C. R. *Ecology : Individuals, Populations and Communities*, 3rd edn. – Oxford, UK : Blackwell Sciences, 1996. – 1068 p. – DOI:10.2307/2960512 Corpus ID: 87675734.
104. Goudie A. *The Nature of the Environment*. – Oxford, UK : Basil Blackwell Ltd., 1989. – 370 p.
105. Myser R. W., Pickett S. T. A. Initial conditions, history and successional pathways in ten contrasting old fields // *The American Midland Naturalist*. – 1990. – Vol. 124. – P. 231–238. – DOI: 10.2307/2426172.
106. Kolesnikov B. P. Genetic classification of forest types and its tasks in the Urals // *Proceedings of the Institute of Biology*. – Sverdlovsk : UFAN of the USSR, 1961. – Issue 27. – P. 47–59.
107. Smolonogov E. P. Forest formation process and genetic classification of forest types // *Forests of the Urals and Their Management*. – 1995. – Issue 18. – P. 43–58.
108. Anuchin N. P. *Forest Mensuration*. – Moscow ; Leningrad : Goslesbumizdan, 1952. – 532 p.

109. Schwappach A. Die Kiefer. Wirtschaftliche und statistische Untersuchungen der forstlichen Abteilung der Hauptstation des forstlichen Versuchswesens in Eberswalde. – Neudamm : J. Neumann, 1908. – 180 p.
110. Kuzmichev V. V. Regularities of the forest growth. – Novosibirsk : Nauka, 1977. – 160 p.
111. Climatic and evolutionary contexts are required to infer plant life history strategies from functional traits at a global scale / R. Kelly, K. Healy, M. Anand, M. E. A. Baudraz, M. Bahn, et al. // *Ecology Letters*. – 2021. – Vol. 24. – No. 5. – P. 1–14. – DOI: 10.1111/ele.13704.
112. Individual tree biomass equations and growth models sensitive to climate variables for *Larix* spp. in China / W. S. Zeng, H. R. Duo, X. D. Lei, X. Y. Chen, X. J. Wang et al. // *European Journal of Forest Research*. – 2017. – Vol. 136. – No. 20. – P. 233–249. – DOI: 10.1007/s10342-017-1024-9.
113. Fu L., Sun W., Wang G. A climate-sensitive aboveground biomass model for three larch species in northeastern and northern China // *Trees*. – 2017. – Vol. 31. – No. 2. – P. 557–573. – DOI: 10.1007/s00468-016-1490-6.
114. He X., Lei X.-D., Dong L.-H. How large is the difference in large-scale forest biomass estimations based on new climate-modified stand biomass models? // *Ecological Indicators*. – 2021. – Vol. 126. – 107569. – DOI: 10.1016/j.ecolind.2021.107569.
115. Variation in aboveground forest biomass across broad climatic gradients / J. C. Stegen, N. G. Swenson, B. J. Enquist, E. P. White, O. L. Phillips, et al. // *Global Ecology and Biogeography*. – 2011. – Vol. 20. – P. 744–754. – DOI: 10.1111/j.1466-8238.2010.00645.x.
116. Usoltsev V. A. Forest biomass and primary production database for Eurasia: digital version : Monograph. – The third edition, enlarged. – Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2020 b. – ISBN 978-5-94984-732-9. DOI: 10.13140/RG.2.2.29991.70568
117. Usoltsev V. A. Single-tree biomass data for remote sensing and ground measuring of Eurasian forests: digital version. – The second edition, enlarged. – Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University; Botanical Garden of Ural Branch of RAS, 2020 a. – ISBN 978-5-94984-727-5. DOI: 10.13140/RG.2.2.31984.00001 (https://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/9647/2/Base1_v2_ob.pdf)
118. Usoltsev V. A., Tsepordey I. S., Chasovskikh V. P. Tree biomass of two-needled pines in Eurasia: additive models in climatic gradients // *Sibirskij Lesnoj Zurnal (Siberian Journal of Forest Science)*. – 2019. – No. 1. – P. 44–56 (in Russian with English abstract). DOI: 10.15372/SJFS20190104.
119. Usoltsev V. A., Tsepordey I. S. Climate gradients of *Quercus* spp. forest biomass in Eurasia // *Sibirskij Lesnoj Zurnal (Siberian Journal of Forest Science)*. – 2020. – No. 6. – P. 16–29 (in Russian with English abstract and references). DOI: 10.15372/SJFS20200602.
120. Usoltsev V. A., Shobairi S. O. R., Tsepordey I. S. Compatible models for *Quercus* spp. stand biomass and net primary production sensitive to precipitation and winter temperature in Eurasia // *Macedonian Journal of Ecology and Environment*. – 2020. – Vol. 22. – Issue 1. – P. 59–70. – URL: <https://www.researchgate.net/publication/344478557>
121. Allometric models of *Picea* spp. biomass for airborne laser sensing as related to climate variables / V. Usoltsev, V. Kovyazin, I. Tsepordey, S. Zalesov, V. Chasovskikh // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. (IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.). – 2021. – Vol. 806. – 012033. (II All-Russian scientific-technical conference «Digital Technologies in Forest Sector» 18–19 March 2021, Saint Petersburg, Russian Federation). DOI:10.1088/1755-1315/806/1/012033.
122. Finding common ground: Toward comparable indicators of adaptive capacity of tree species to a changing climate / S. Royer-Tardif, L. Boisvert-Marsh, J. Godbout, N. Isabel, I. Aubin // *Ecology and Evolution*. – 2021. – preprint. – DOI: 10.1002/ece3.8024.
123. Korzukhin M. D., Semevsky F. N. Synecology of the forest. – St. Petersburg : Hydrometeoizdat, 1992. – 192 p.

124. Torre A., Fajnzylber P., Nash J. (eds.). Low-carbon development: Latin American responses to climate change. – World Bank Latin American and Caribbean studies, 2010. – 200 p. – URL: <http://hdl.handle.net/10986/2679>
125. Adaptation strategies for climate change / M. Howden, J. F. Soussana, F. N. Tubiello, N. Chhetri, M. Dunlop, H. Meinke // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. – 2007. – Vol. 104. – P. 19691–19696. – DOI:10.1073/pnas.0701890104.
126. Huq S., Grubb M. Preface // *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. – 2007. – Vol. 12. – P. 645–649. – DOI: 10.1007/s11027-007-9091-8.
127. Rosenzweig C., Tubiello F. N. Adaptation and mitigation strategies in agriculture: an analysis of potential synergies // *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. – 2007. – Vol. 12. – P. 855–873. – DOI: 10.1007/s11027-007-9103-8.
128. Gustafson E. J., Shvidenko A. Z., Scheller R. M. Effectiveness of forest management strategies to mitigate effects of global change in south-central Siberia // *Canadian Journal of Forest Research*. – 2011. – Vol. 41. – P. 1405–1421. – DOI: 10.1139/X11-065.
129. Adaptive forest management in central Europe: Climate change impacts, strategies and integrative concept / A. Bolte, C. Ammer, M. Löf, P. Madsen, G.-J. Nabuurs et al. // *Scandinavian Journal of Forest Research*. – 2009. – Vol. 24. – P. 473–482. – DOI:10.1080/02827 58090 3418224.
130. Adaptive measures: integrating adaptive forest management and forest landscape restoration / P. Spathelf, J. Stanturf, M. Kleine, R. Jandl, D. Chiatante, et al. // *Annals of Forest Science*. – 2018. – Vol. 75. – No. 2. – P. 55. – DOI: 10.1007/s13595-018-0736-4.
131. Revisiting projected shifts in the climate envelopes of North American trees using updated general circulation models / D. W. McKenney, J. H. Pedlar, R. B. Rood, D. Price // *Global Change Biology*. – 2011. – Vol. 17. – P. 2720–2730. – DOI: 10.1111/j.1365-2486.2011.02413.x.
132. Climate change threats to plant diversity in Europe / W. Thuiller, S. Lavorel, M. B. Araújo, M. T. Sykes, I. C. Prentice // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. – 2005. – Vol. 102. – P. 8245–8250. – DOI:10.1073/pnas.04099 02102.
133. Mapping conservation strategies under a changing climate / R. T. Belote, M. S. Dietz, P. S. McKinley, A. A. Carlson, C. Carroll, et al. // *BioScience*. – 2017. – Vol. 67. – P. 494–497. – DOI: 10.1093/biosci/i/bix028.
134. Harnessing landscape heterogeneity for managing future disturbance risks in forest ecosystems / R. Seidl, K. Albrich, D. Thom, W. Rammer // *Journal of Environmental Management*. – 2018. – Vol. 209. – P. 46–56. – DOI: 10.1016/j.jenvm an.2017.12.014.
135. Aitken S. N. Time to get moving : Assisted gene flow of forest trees / S. N. Aitken, J. B. Bemmels // *Evolutionary Applications*. – 2016. – Vol. 9. – P. 271–290. – URL: <https://doi.org/10.1111/eva.12293>.
136. Forest responses to climate change in the northwestern United States : Ecophysiological foundations for adaptive management / D. J. Chmura, P. D. Anderson, G. T. Howe, C. A. Harrington, J. E. Halofsky et al. // *Forest Ecology and Management*. – 2011. – Vol. 261. – P. 1121–1142. – DOI: 10.1016/j.foreco.2010.12.040.
137. Millar C. I., Stephenson N. L., Stephens S. L. Climate change and forests of the future : Managing in the face of uncertainty // *Ecological Applications*. – 2007. – Vol. 17. – P. 2145–2151. – DOI: 10.1890/06-1715.1.
138. Adaptive Silviculture for climate change: A national experiment in Manager-Scientist partnerships to apply an adaptation framework / L. M. Nagel, B. J. Palik, M. A. Battaglia, A. W. D’Amato, J. M. Guldin, et al. // *Journal of Forestry*. – 2017. – Vol. 115. – P. 167–178. – DOI: 10.5849/jof.16-039.
139. Adaptation, migration or extirpation: Climate change outcomes for tree populations: Climate change outcomes for tree populations / S. N. Aitken, S. Yeaman, J. A. Holliday, T. Wang, S. Curtis-McLane // *Evolutionary Applications*. – 2008. – Vol. 1. – P. 95–111. – URL: <https://doi.org/10.1111/j.1752-4571.2007.00013.x>
140. Tree vulnerability to climate change: Improving exposure-based assessments using traits as indicators of sensitivity / I. Aubin, L. Boisvert-Marsh, H. Kebli, D. McKenney, J. Pedlar, et al. // *Ecosphere*. – 2018. – Vol. 9. – e02108. – URL: <https://doi.org/10.1002/ecs2.2108>.

141. Boisvert-Marsh L., Périé C., de Blois S. Shifting with climate? Evidence for recent changes in tree species distribution at high latitudes // *Ecosphere*. – 2014. – Vol. 5. – art83. – DOI:10.1890/ES14-00111.1.
142. The climate velocity of the contiguous United States during the 20th century / S. Z. Dobrowski, J. Abatzoglou, A. K. Swanson, J. A. Greenberg, A. R. Mynsberge, et al. // *Global Change Biology*. – 2013. – Vol. 19. – P. 241–251. – DOI: 10.1111/gcb.12026.
143. How much does climate change threaten European forest tree species distributions? / M. K. Dyderski, S. Paż, L. E. Frelich, A. M. Jagodziński // *Global Change Biology*. – 2018. – Vol. 24. – P. 1150–1163. – DOI: 10.1111/gcb.13925.
144. Bioclimatic velocity: The pace of species exposure to climate change / J. M. Serra-Diaz, J. Franklin, M. Ninyerola, F. W. Davis, A. D. Syphard, et al. // *Diversity and Distributions*. – 2014. – Vol. 20. – P. 169–180. – DOI:10.1111/ddi.12131.
145. Assessing agreement among alternative climate change projections to inform conservation recommendations in the contiguous United States / R. T. Belote, C. Carroll, S. Martinuzzi, J. Michalak, J. W. Williams et al. // *Scientific Reports*. – 2018. – Vol. 8. – P. 1–13. – DOI: 10.1038/s41598-018-27721-6.
146. Climate change vulnerability assessment of species / W. B. Foden, B. E. Young, H. R. Akçakaya, R. A. Garcia, A. A. Hoffmann, et al. // *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*. – 2019. – Vol. 10. – e551. – DOI: 10.1002/wcc.551.
147. Assessments of species' vulnerability to climate change: From pseudo to science / A. A. Wade, B. K. Hand, R. P. Kovach, C. C. Muhlfeld, R. S. Waples, et al. // *Biodiversity and Conservation*. – 2017. – Vol. 26. – P. 223–229. – DOI:10.1007/s10531-016-1232-5.
148. De los Ríos C., Watson J. E. M., Butt N. Persistence of methodological, taxonomical, and geographical bias in assessments of species' vulnerability to climate change: A review // *Global Ecology and Conservation*. – 2018. – Vol. 15. – e00412. – DOI: 10.1016/j.gecco.2018.e00412.
149. Persist in place or shift in space? Evaluating the adaptive capacity of species to climate change / L. L. Thurman, B. A. Stein, E. A. Beever, W. Foden, S. R. Geange, et al. // *Frontiers in Ecology and the Environment*. – 2020. – Vol. 18. – P. 520–528. – DOI: 10.1002/fee.2253.
150. Using a trait-based approach to compare tree species sensitivity to climate change stressors in Eastern Canada and inform adaptation practices / L. Boisvert-Marsh, S. Royer-Tardif, P. Nolet, F. Doyon, I. Aubin // *Forests*. – 2020. – Vol. 11. – 989. – DOI:10.3390/f11090989.
151. Rodoman B. B. Territorial areas and networks. Essays on theoretical geography. – Smolensk : Oikumena, 1999. – 256 p. – URL: https://stav-geo.ru/_ld/23/2329_Rodoman_B_B_Ter.pdf
152. Kobak K. I., Kondrasheva N. Yu. Changes in the localization of natural zones during global warming // *Soviet Journal of Ecology*. – 1992. – No. 3. – P. 9–18.
153. Changes in the geographical distribution of plant species and climatic variables on the West Cornwall peninsula (SouthWest UK) / A. Kosanic, K. Anderson, S. Harrison, T. Turkington, J. Bennie // *PLoS ONE*. – 2018. – Vol. 13. – e0191021. – DOI: 10.1371/journal.pone.0191021.
154. Rodoman B. B. Die räumliche Differenzierung der Biogeosphäre unter dem Gesichtspunkt der Theoretischen Geographie // *Geographische Berichte*. – 1977. – Vol. 84. – No. 3. – P. 198–208.
155. Liebig J. Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie. – Braunschweig : Verlag Vieweg, 1840. – 376 p. – URL: http://www.deutschestextarchiv.de/liebig_agricultur_1840, abgerufen am 26.11.2019.
156. Esslen J. Das Gesetz des abnehmenden Bodenertrages seit Justus von Liebig: Eine dogmengeschichtliche Untersuchung. – München : J. Schweitzer Verlag (Arthur Sellier), 1905. – 290 p.
157. Shelford V. E. Animal communities in temperate America as illustrated in the Chicago region: a study in animal ecology. – Issue 5. – Part 1. Geographic Society of Chicago by the University of Chicago Press, 1913. – 362 p.

158. Taylor W. P. Significance of extreme or intermittent conditions in distribution of species and management of natural resources, with a restatement of Liebig's law of the minimum // *Ecology*. – 1934. – Vol. 15. – P. 274–379. – DOI:10.2307/1932352.
159. Molchanov A. A. Productivity of organic mass in forests of different zones. – Moscow : Nauka, 1971. – 275 p.
160. General and Applied Ecology / G. S. Rosenberg, F. N. Ryansky, N. V. Lazareva, S. V. Saksonov, Yu. V. Simonov et al. – Samara-Togliatti : Publishing house of the Samara State Economic University, 2016. – 452 p.
161. Douglas A. E. Climatic Cycles and Trees-Growth. A Study of the Annual Rings of Trees in Relation to Climate and Solar Activity. – Publication No. 289. – Washington : Carnegie Institution of Washington, 1919. – 127 p.
162. Kostin S. I. Solar activity and its influence on the growth of trees and the state of forest stands in the central part of the forest-steppe of the Russian plain // *Proceedings of the Main Geophysical Observatory named after A. I. Voeykov*. – 1961. – Issue 111. – P. 108–117.
163. Budyko M. I. *Global Ecology*. – Moscow : Mysl', 1977. – 328 p.
164. Olenin S. M. Dynamics of radial growth of stands of pine phytocenoses of the middle taiga subzone of the Urals : PhD Thesis: 03.00.16 / Olenin Stal Mikhailovich. – Sverdlovsk : UFAN of the USSR, 1982. – 18 p.
165. Riklefs R. E. *Fundamentals of general ecology*. – Moscow : Mir, 1979. – 424 p.
166. Glebov F. Z., Litvinenko V. I. Dynamics of the width of annual rings in relation to meteorological indicators in various types of swamp forests // *Lesovedenie*. – 1976. – No. 4. – P. 56–62.
167. Molchanov A. A. Dendroclimatic bases of weather forecasts. – Moscow : Nauka, 1976. – 168 p.
168. Plant response to climate change along the forest-tundra ecotone in northeastern Siberia / L. T. Berner, P. S. A. Beck, A. G. Bunn, S. J. Goetz // *Global Change Biology*. – 2013. – Vol. 19. – No. 11. – P. 3449–3462. – DOI: 10.1111/gcb.12304.
169. Fonti M. V. Climatic signal in the parameters of annual rings (wood density, anatomical structure and isotopic composition) of coniferous and deciduous tree species in various natural and climatic zones of Eurasia : abstract of the dissertation for the degree of Doctor of Biological Sciences : 03.02.08 / Fonti Marina Viktorovna. – Krasnoyarsk : SibFU, 2020. – 45 p.
170. Givnish T. J. Adaptive significance of evergreen vs. deciduous leaves : Solving the triple paradox // *Silva Fennica*. – 2002. – Vol. 36. – No. 3. – P. 703–743. – DOI: 10.14214/sf.535.
171. Europe : impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / J. Alcamo, J. M. Moreno, B. Nováky, M. Bindi, R. Corobov, et al. // *Climate change*. Parry M. L., Canziani O. F., Palutikof J. P., van der Linden P. J., Hanson C. E. (eds). – Cambridge University Press : Cambridge, 2007. – P. 541–580.
172. Tamm Review : Observed and projected climate change impacts on Russia's forests and its carbon balance / S. Schaphoff, Ch. P. O. Reyer, D. Schepaschenko, D. Gerten, A. Shvidenko // *Forest Ecology and Management*. – 2016. – Vol. 361. – P. 432–444. – DOI:10.1016/j.foreco.2015.11.043.
173. Adaptive diversification of growth allometry in the plant *Arabidopsis thaliana* / F. Vasseur, M. Exposito-Alonso, O. J. Ayala-Garay, G. Wang, B. J. Enquist, et al. // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. – 2018. – Vol. 115. – No. 13. – P. 3416–3421. – DOI: 10.1073/pnas.1709141115.
174. Odum E. *Fundamentals of ecology*. – Moscow : Mir, 1975. – 740 p.
175. Climate sensitivity and drought seasonality determine post-drought growth recovery of *Quercus petraea* and *Quercus robur* in Europe / A. K. Bose, D. Scherrer, J. J. Camarero, D. Ziche, F. Babst, et al. // *Science of the Total Environment*. – 2021. – Preprint. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.147222.
176. Combating ecosystem collapse from the tropics to the Antarctic / D. M. Bergstrom, B. C. Wienecke, J. van den Hoff, L. Hughes, D. B. Lindenmayer, et al. // *Global Change Biology*. – 2021. – Preprint. – P. 1–12. – DOI: 10.1111/gcb.15539.

Информация об авторах

И. С. Цепордей – научный сотрудник Ботанического сада Уральского отделения РАН;

В. А. Усольцев – доктор сельскохозяйственных наук, профессор.

Information about the authors

I. S. Tsepordey – Botanical Garden of Ural Branch of RAS, scientific researcher;

V. A. Usoltsev – doctor of agricultural sciences, professor.

Статья поступила в редакцию 06.09.2021; принята к публикации 10.10.2021.

The article was submitted 06.09.2021; accepted for publication 10.10.2021.

Леса России и хозяйство в них. 2021. № 4. С. 40–48

Forests of Russia and economy in them. 2021. № 4. P. 40–48

Научная статья

УДК 630:630.892.7

Doi: 10.51318/FRET.2021.62.47.002

РЕСУРСЫ ПЛОДОВЫХ РАСТЕНИЙ ПОДЛЕСКА В СОСНЯКАХ И БЕРЕЗНЯКАХ ПОДЗОНЫ ЮЖНОЙ ТАЙГИ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Алексей Андреевич Боярский¹, Юрий Андреевич Аржанников²,
Игорь Александрович Панин³

^{1,2,3} Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

¹ enderik@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9122-0006>

² wolf1997@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4345-6879>

³ paninia@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-7798-3442>

Аннотация. В статье представлены результаты изучения ресурсов дикорастущих плодовых растений подлеска сосновых и берёзовых насаждений южно-уральской таёжной зоны Свердловской области. В качестве основного показателя характеристики запасов было выбрано количество экземпляров на гектаре (густота). Кроме того, определялась текущая биологическая урожайность плодов в год наблюдения. Данные были получены на 28 пробных площадях в пяти наиболее распространённых в районе исследования типах леса. Для размещения пробных площадей подбирались наиболее типичные для района исследования насаждения различного возраста, происхождения, состава древостоя, относительной полноты и других таксационных показателей. Плодовые растения подлеска представлены 8 видами. Это рябина обыкновенная *Sorbus aucuparia* L., малина обыкновенная *Rubus idaeus* L., черёмуха обыкновенная *Prunus padus* L., облепиха крушиновидная *Hippophae rhamnoides* L., яблоня *Malus* P. Mill, боярышник кроваво-красный *Crataegus sanguinea* Pall. и ирга овальная *Melanchier rotundifolia* Dum. Cours. Лесопокрываемые площади района исследования характеризуются низкими запасами плодов дикорастущих растений подлеска. Они непригодны для организации промышленного сбора. Совокупная урожайность плодовых растений подлеска всех видов на заложенных ПП не превышает 36,0 кг/га.

Ключевые слова: подлесок, шиповник, малина, рябина, плоды, урожайность, густота, запасы

Scientific article

RESOURCES OF UNDERGROWTH FRUIT PLANTS IN PINE AND BIRCH FORESTS OF THE SOUTHERN TAIGA SUBZONE OF THE SVERDLOVSK REGION

Boyarsky Alexey Andreevich¹, Arzhannikov Yuri Andreevich², Panin Igor Alexandrovich³

^{1,2,3} Ural State Forestry Engineering University, Department of Forestry, Yekaterinburg, Russia

¹ enderik@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9122-0006>

² wolf1997@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4345-6879>

³ paninia@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-7798-3442>

Abstract. The article presents results of studying of resources of wild fruit plants of undergrowth of pine and birch plantations of the south ural taiga zone of the Sverdlovsk region. The number of specimens per hectare (density) was chosen as the main indicator of stock characteristics. In addition, the current biological yield of

fruits in the year of observation was determined. Data were obtained on 28 test areas in five most common types of forest in area of study. To place sample areas, most typical plantings of various age, origin, composition of the stand, relative completeness and other taxation indicators were selected for study area. The fruit plants of understory are represented by 8 species: mountain ash *Sorbus aucuparia* L., raspberry *Rubus idaeus* L., bird cherry *Pronus padus* L., sea buckthorn buckthorn *Hippophae rhamnoides* L., apple *Malus* P. Mill, hawthorn *Crataegus sanguinea* Pall. and irga oval *Melanchier rotundifolia* Dum.Cours. The forested areas of the research area are characterized by low stocks of fruits of wild plants of the understory. They are not suitable for the organization of industrial collection. The total yield of fruit plants of undergrowth of all types on the laid PP does not exceed 36.0 kg/ha.

Keywords: *undergrowth, rosehip, raspberry, rowan, fruits, yield, density, stocks*

Введение

Леса России обладают значительным потенциалом для повышения доходности благодаря вовлечению в хозяйственное использование недревесных пищевых ресурсов [1, 2]. В настоящее время наблюдается устойчивая тенденция развития рынка дикорастущих плодов и ягод как в России, так и в зарубежных странах [3]. При этом, по самым оптимистичным оценкам, объём ежегодного освоения лесных плодов и ягод не превышает 5 % от всего доступного эксплуатационного запаса [2].

Современное лесное хозяйство России полностью ориентировано на заготовку древесины. При проведении лесоустройства и таксации лесным дикорастущим плодово-ягодным ресурсам практически не уделяется внимания. Вместе с тем для эффективной организации промышленных заготовок дикорастущих лесных плодов и ягод требуется обеспечение заготовителей теоретическими и справочными сведениями о доступных объёмах использования и территориальном размещении данных ресурсов [3]. В разное время на территории России проводи-

лось множество исследований по определению запасов лесных ягод, однако они либо являются устаревшими, либо охватывают небольшие по площади территории.

Цель, объекты и методика исследований

Исследование проводилось на территории южно-уральской таёжной зоны Свердловской области летом 2020 г. Его целью являлось определение запасов плодовых растений подлеска сосновых и берёзовых лесов района исследования. Работа основана на методе пробных площадей (ПП). Для их закладки по материалам лесоустройства производился подбор насаждений с типичными для района исследования таксационными характеристиками. Всего было заложено 28 ПП в насаждениях пяти наиболее распространённых в районе исследования типов леса. 12 ПП заложены в сосновых насаждениях и 16 в берёзовых. Внутри ПП производился сплошной пересчёт древостоя и определение точных таксационных показателей по общепринятым в лесной науке методикам [4]. Таксационная характери-

ка насаждений ПП представлена в табл. 1.

После производился учёт густоты плодовых растений подлеска. Также определялась их текущая биологическая урожайность. Крупные экземпляры высотой ниже 1,5 м учитывались по всей ПП, в то время как густота экземпляров меньше 1,5 м определялась путём закладки квадратных учётных площадок размером 2×2 м по ходовым линиям через равные расстояния. Количество учётных площадок на каждой ПП составило 25 шт. [5].

Учёт урожайности плодовых растений подлеска производился методом модельных экземпляров. С модельных экземпляров спелые плоды собирались и взвешивались. Неспелые, повреждённые и переспелые плоды, а также цветки и завязи подсчитывались. Затем определялась средняя масса 1 плода каждого вида путём взвешивания 100 случайных плодов, собранных на ПП. Полученная средняя масса 1 плода перемножена на количество учётных неспелых, повреждённых, переспелых плодов, завязей и цветков, затем суммирована с массой спелых плодов и ягод [6].

Таблица 1

Table 1

Таксационная характеристика насаждений ПП [7]

Taxation characteristics of trial area plantings [7]

№ ПП № RA	Состав Composition	Происхождение Origin	Возраст, лет Age, years	Средние Medium		Класс бонитета Class bonitet	Тип леса Forest type	Относительная полнота Relative completeness	Запас, м ³ /га Reserve, m ³ /ha
				диаметр, см diameter, cm	высота, см height, cm				
1	10С	Л/К	52	16	15	3	ЗЛРТ	0,6	150
2	9С1Б	Л/К	55	20	18	2	ОРЛ	0,6	170
3	5С5Б	Ест.	90	28	22	3	ЗЛРТ	0,7	150
4	10С	Л/К	65	18	21	1	БР	0,9	320
5	8С2Б	Л/К	55	20	18	2	ЗЛРТ	0,8	200
6	9С1Б	Л/К	55	20	18	2	ОРЛ	0,6	170
7	9С1Б	Ест.	90	36	21	3	БР	0,7	180
8	10С+Б	Ест.	110	36	22	3	ЗЛРТ	0,6	220
9	10С+Б	Ест.	110	36	24	3	ЗЛРТ	0,6	250
10	10С+Б	Ест.	100	32	24	3	ЗЛРТ	0,6	250
11	5С5Б	Ест.	35	16	17	2	ЗЛРТ	0,5	90
12	10С	Л/К	100	32	25	2	ЗЛРТ	0,7	310
13	10Б	Ест.	52	16	15	II	РТЗ	0,7	110
14	10Б	Ест.	70	22	20	II	ТР	0,9	180
15	10Б	Ест.	70	20	24	II	ТР	0,9	190
16	10Б+С	Ест.	60	23	20	II	РТЗ	0,6	170
17	8Б2С	Ест.	60	16	20	II	ТР	0,7	150
18	10Б-С	Ест.	85	16	22	II	ТР	0,9	160
19	9Б1ОС	Ест.	65	23	24	I	РТЗ	0,7	200
20	10Б	Ест.	25	14	12	I	РТЗ	0,5	80
21	10Б	Ест.	60	20	18	II	РТЗ	0,5	150
22	10Б+ОС	Ест.	40	16	14	II	РТЗ	0,7	120
23	10Б	Ест.	50	18	16	II	РТЗ	0,5	120
24	9Б1ОС+С	Ест.	65	21	20	II	РТЗ	0,6	150
25	10Б+Б,ОС	Ест.	70	19	24	III	РТЗ	0,6	130
26	10Б	Ест.	75	20	28	III	ТР	0,7	150
27	10Б	Ест.	65	19	20	III	РТЗ	0,9	190
28	10Б	Ест.	65	21	20	II	РТЗ	0,7	170

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты учёта густоты и урожайности подлеска в сосновых насаждениях представлены в табл. 2. В условиях ПП 1, 3, 4 и 5 плодовой подлесок полностью отсутствовал, на остальных он представлен 5 видами. Самыми распространёнными из них являются шиповник иглистый *Rosa acicularis* L. и малина обыкновенная *Rubus idaeus* L. Реже встречается рябина обыкновенная *Sorbus aucuparia* L. На отдельных ПП была зафиксирована ирга овальная *Amelanchier rotundifolia* Dum. Cours и черёму-

ха обыкновенная *Pronus padus* L. Густота шиповника составляет 0,1–1,4 тыс. шт./га, рябины 100–600 шт./га. Крупные экземпляры высотой больше 1,5 м встречаются редко. Текущая биологическая урожайность совокупности всех видов плодовых растений подлеска не превышает 7 кг/га, что крайне мало. На 5 ПП плодоношения вовсе не зафиксировано. Плодовой подлесок более развит в сосновых насаждениях с относительными полнотами 0,5–0,7, что соответствует существующим закономерностям [8].

Согласно данным табл. 3, плодовой подлесок в березня-

ках значительно более развит, чем в сосновых насаждениях. Плодовые растения представлены на всех ПП, кроме ПП 16 и 26. Всего нами было зафиксировано 8 видов плодовых растений подлеска березняков. Наибольшее распространение имеют шиповник иглистый *Rosa acicularis* L. и рябина обыкновенная *Sorbus aucuparia* L. Рябина обыкновенная произрастает на 12 ПП, шиповник иглистый был зафиксирован на 6 ПП. Густота рябины варьирует от 100 до 400 шт./га, при этом данный вид практически не плодоносит.

Таблица 2

Table 2

Густота и урожайность плодов подлеска сосновых лесов
Density and yield of fruits of the undergrowth of pine forests

№ ПП № RA	Вид Species	Густота, тыс. шт./га Density, thousand pcs/ha		Урожай плодов в свежесобранном виде, кг/га Fruit yield in freshly harvested form, kg/ha
		Высота < 1,5 м Height < 1,5 м	Высота ≥ 1,5 м Height ≥ 1,5 м	
1	–	–	–	–
2	Шиповник иглистый <i>Rosa acicularis</i> L.	0,5	–	–
3	–	–	–	–
4	–	–	–	–
5	–	–	–	–
6	Шиповник иглистый <i>Rosa acicularis</i> L.	1,1	–	–
	Малина обыкновенная <i>Rubus idaeus</i> L.	–	0,6	–
	Рябина обыкновенная <i>Sorbus aucuparia</i> L.	–	0,2	–
	Ирга овальная <i>Amelanchier rotundifolia</i> Dum. Cours.	0,3	–	–
7	Шиповник иглистый <i>Rosa acicularis</i> L.	1,4	–	1,2
	Малина обыкновенная <i>Rubus idaeus</i> L.	–	–	–
	Рябина обыкновенная <i>Sorbus aucuparia</i> L.	0,6	0,2	5,8

Окончание табл. 2
The end of table 2

№ ПП № RA	Вид Species	Густота, тыс. шт./га Density, thousand pcs/ha		Урожай плодов в свежесобранном виде, кг/га Fruit yield in freshly harvested form, kg/ha
		Высота < 1,5 м Height < 1,5 м	Высота ≥ 1,5 м Height ≥ 1,5 м	
8	Рябина обыкновенная <i>Sorbus aucupatia</i> L.	0,6	–	–
	Шиповник иглистый <i>Rosa acicularis</i> L.	1,2	–	–
9	Рябина обыкновенная <i>Sorbus aucupatia</i> L.	0,4	–	–
	Шиповник иглистый <i>Rosa acicularis</i> L.	1,1	–	–
10	Рябина обыкновенная <i>Sorbus aucupatia</i> L.	0,2	–	–
	Шиповник иглистый <i>Rosa acicularis</i> L.	0,4	–	–
11	Шиповник иглистый <i>Rosa acicularis</i> L.	0,4	–	1,7
	Рябина обыкновенная <i>Sorbus aucupatia</i> L.	0,2	–	–
	Черёмуха обыкновенная <i>Pronus padus</i> L.	0	0,1	4,2
	Ирга овальная <i>Amelanchier rotundifolia</i> Dum. Cours.	0,5	–	–
12	Рябина обыкновенная <i>Sorbus aucupatia</i> L.	0,1	–	–

Таблица 3
Table 3Густота и урожайность плодов подлеска берёзовых лесов
Density and yield of birch forest understory fruits

№ ПП № RA	Вид Species	Густота, тыс. шт./га Density, thousand pcs/ha		Урожай плодов в свежесобранном виде, кг/га Fruit yield in freshly harvested form, kg/ha
		Высота < 1,5 м Height < 1,5 м	Высота ≥ 1,5 м Height ≥ 1,5 м	
13	Шиповник иглистый <i>Rosa acicularis</i> L.	0,6	0	0
	Рябина обыкновенная <i>Sorbus aucupatia</i> L.	0,1	0	0
14	Шиповник иглистый <i>Rosa acicularis</i> L.	0,2	0	0
	Рябина обыкновенная <i>Sorbus aucupatia</i> L.	0,1	0,1	0
15	Шиповник иглистый <i>Rosa acicularis</i> L.	0,2	0	1,2
16	–	–	–	–

Окончание табл. 3
The end of table 3

№ ПП № RA	Вид Species	Густота, тыс. шт./га Density, thousand pcs/ha		Урожай плодов в свежесобранном виде, кг/га Fruit yield in freshly harvested form, kg/ha
		Высота < 1,5 м Height < 1,5 м	Высота ≥ 1,5 м Height ≥ 1,5 м	
17	Облепиха крушиновидная <i>Hippophae rhamnoides</i> L.	0,2	0	16,8
	Яблоня <i>Malus</i> P. Mill.	0	0,2	0
	Рябина обыкновенная <i>Sorbus aucupatia</i> L.	0,3	0,1	0
	Боярышник кроваво-красный <i>Crataegus sanguinea</i> Pall.	0,1	0	0
18	Облепиха крушиновидная <i>Hippophae rhamnoides</i> L.	0,1	0	7,2
	Черёмуха обыкновенная <i>Pronus padus</i> L.	0	0,2	10,6
	Рябина обыкновенная <i>Sorbus aucupatia</i> L.	0,1	0,2	12,0
19	Шиповник иглистый <i>Rosa acicularis</i> L.	0,4	0	6,2
	Рябина обыкновенная <i>Sorbus aucupatia</i> L.	0,1	0,3	0
	Черёмуха обыкновенная <i>Pronus padus</i> L.	0	0,2	9,8
20	Шиповник иглистый <i>Rosa acicularis</i> L.	0,9	0	0,8
	Ирга овальная <i>Amelanchier rotundifolia</i> Dum.Cours.	0,1	0	0
21	Малина обыкновенная <i>Rubus idaeus</i> L.	1,1	0	0
	Шиповник иглистый <i>Rosa acicularis</i> L.	1,6	0	1,3
	Рябина обыкновенная <i>Sorbus aucupatia</i> L.	0,0	0,1	0
22	Малина обыкновенная <i>Rubus idaeus</i> L.	3,2	0	28,0
	Рябина обыкновенная <i>Sorbus aucupatia</i> L.	0,1	0,2	8,0
23	Рябина обыкновенная <i>Sorbus aucupatia</i> L.	0,3	0,1	0
	Черёмуха обыкновенная <i>Pronus padus</i> L.	0	0,1	6,5
24	Рябина обыкновенная <i>Sorbus aucupatia</i> L.	0,4	0	0
25	Рябина обыкновенная <i>Sorbus aucupatia</i> L.	0,2	0,2	0
26	–	–	–	–
27	Рябина обыкновенная <i>Sorbus aucupatia</i> L.	0,2	0,1	0
28	Рябина обыкновенная <i>Sorbus aucupatia</i> L.	0,2	0	0

Текущая биологическая урожайность рябины не превышает 12,0 кг/га, на большей части ПП данный вид не плодоносит. Густота шиповника составляет 100–600 шт./га, а урожайность варьирует от 0,8 до 6,2 кг/га. Малина обыкновенная *Rubus idaeus* L. представлена на ПП 21 и 22. Текущая биологическая урожайность достигает 28,0 кг/га. Также плодовой подлесок берёзовых насаждений на отдельных ПП представлен такими видами, как черёмуха обыкновенная *Pronus padus* L., облепиха крушиновидная *Hippophae rhamnoides* L., яблоня *Malus* P. Mill, боярышник кроваво-красный *Crataegus sanguinea* Pall. и ирга овальная *Melanchier rotundifolia* Dum. Cours. Все они, кроме черёмухи, являются садовыми культурами и встречаются на ПП, заложенных неподалёку от населённых пунктов, садов либо мест, активно посещаемых населением.

В целом плодовой подлесок рассматриваемых насаждений не представляет существенного интереса для организации промышленных заготовок дикорастущих пищевых ресурсов. Для

сравнения, запас зарослей рябины *Sorbus aucupatia* L. на открытых пространствах составляет 7–15 кг/м² и часто превышает 1 т/га [9]. Эксплуатационные запасы плодов зарослей шиповника иглистого *Rosa acicularis* L. в юго-западной части Свердловской области варьируют от 10 до 285 кг/га [10]. Совокупная урожайность плодовых растений подлеска всех видов на заложенных ПП не превышает 36,0 кг/га, в подавляющем большинстве исследуемых насаждений плодоношения либо крайне незначительно, либо вовсе не наблюдается. Таким образом, лесопокрываемые площади сосняков и березняков в составе лесного фонда района исследования не стоит рассматривать в качестве участков для проведения промышленных заготовок плодовых растений подлеска. По всей видимости, под пологом древостоя недостаточная освещённость для формирования эксплуатационных зарослей плодовых растений подлеска.

Выводы

1. Всего в подлеске района исследования нами зафиксировано

8 видов плодовых растений. Наиболее распространёнными из них являются рябина обыкновенная *Sorbus aucupatia* L. и шиповник иглистый *Rosa acicularis* L.

2. В большинстве сосновых насаждений плодовой подлесок либо имеет низкую густоту, либо полностью отсутствует. Для березняков характерно редкое либо куртинное расположение плодовых растений подлеска. Текущая урожайность плодов всех подлесочных видов сравнительно небольшая и составляет 0,8–36,0 кг/га.

3. Сосняки и березняки в подзоне южной тайги Свердловской области не стоит рассматривать в качестве базы для промышленных заготовок плодов растений подлеска.

4. Вблизи населённых пунктов и садов наблюдается вторичное одичание интродуцентов, что проявляется в появлении под пологом древостоев таких видов, как ирга овальная *Amelanchier rotundifolia* (Lam.) Dum.Cours, боярышник кроваво-красный *Crataegus sanguinea* Pall. и облепиха крушиновидная *Hippophae rhamnoides* L.

Список источников

1. Луганский Н. А., Залесов С. В., Щавровский В. А. Повышение продуктивности лесов : учеб. пособие. – Екатеринбург : УГЛТА, 1995. – 297 с.
2. Коростелёв А. С., Залесов С. В., Годовалов Г. А. Недревесная продукция леса. – Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2010. – 480 с.
3. Рыжкова С. М. К вопросу о формировании кластеров дикоросов на региональном уровне // Вестник БУКЭП. – 2017. – № 4. – С. 216–231.
4. Основы фитомониторинга : учеб. пособие / Н. П. Бунькова, С. В. Залесов, Е. С. Залесова, А. Г. Магасумова, Р. А. Осипенко. – Изд. 2-е доп. и перераб. – Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2021. – 90 с.

5. Учёт и использование ресурсов полезных растений лесов Южной Карелии / Н. М. Щербаков, В. И. Саковец, А. А. Кучко, Н. П. Зайцева, Т. Г. Воронова, Т. В. Белоногова. – Петрозаводск : Карельский филиал АН СССР, 1982. – 38 с.

6. Данилов М. Д. Способы учёта урожайности и выявление ресурсов дикорастущих плодово-ягодных растений и съедобных грибов : метод. пособие. – Йошкар-Ола : Марийск. политехн. ин-т им. М. Горького, 1973. – 36 с.

7. Аржанников Ю. А., Боярский А. А., Панин И. А. Недревесные ресурсы живого напочвенного // Леса России и хоз-во в них. – 2021. – № 1 (76). – С. 29–35.

8. Дикорастущие лекарственные растения Урала : учеб. пособие / Е. С. Васфилова, А. С. Третьяков, Е. Н. Подгаевская, Н. В. Золотаева, М. Г. Хохлова, Н. И. Игошева, С. Н. Эктова, Л. М. Морозова. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 204 с.

9. Дикорастущие и интродуцируемые полезные растения в Башкирии / под ред. Е. В. Кучерова. – Уфа, 1961. – Вып. 1. – 284 с.

10. Кучеров Е. В., Гуфранова И. Б. Дикорастущие лекарственные растения в районах Южного Урала и перспективы их использования // Дикорастущие и интродуцируемые полезные растения в Башкирии. – Казань, 1968. – Вып. 2. – С. 5–89.

References

1. Lugansky N. A., Zalesov S. V., Shchavrovsky V. A. Increasing forest productivity : a textbook. – Yekaterinburg : UGLTA, 1995. – 297 p.

2. Korostelev A. S., Zalesov S. V., Godovalov G. A. Non-timber forest production. – Yekaterinburg : Ural State Forestry Engineering un-t, 2010. – 480 p.

3. Ryzhkova S. M. On the formation of wild plants clusters at the regional level // Bulletin of BUKER. – 2017. – No. 4. – P. 216–231.

4. Fundamentals of phytomonitoring : Textbook / N. P. Bunkova, S. V. Zalesov, E. S. Zalesova, A. G. Magasumova, R. A. Osipenko. – ed. 2nd supplemented and revised. – Yekaterinburg : Ural State Forestry Engineering un-t, 2020. – 90 p.

5. Accounting and use of resources of useful plants of forests of South Karelia / N. M. Shcherbakov, V. I. Sakovets, A. A. Kucko, N. P. Zaitseva, T. G. Voronova, T. V. Belonogova. – Petrozavodsk : Karelian branch of the USSR Academy of Sciences, 1982. – 38 p.

6. Danilov M. D. Methods of accounting for yield and identification of resources of wild fruit and berry plants and edible mushrooms: method. posobie. – Yoshkar-Ola : Mari Polytechnic Institute named after M. Gorky, 1973. – 36 p.

7. Arzhannikov Yu. A., Boyarsky A. A., Panin I. A. Non-wood resources of living ground // Forests of Russia and agriculture in them. – 2021. – № 1 (76). – P. 29–35.

8. Wild medicinal plants of the Urals: textbook // E. S. Vasfilova, A. S. Tretyakov, E. N. Podgaevskaya, N. V. Zolotaeva, M. G. Khokhlova, N. I. Igosheva, S. N. Ektova, L. M. Morozova. – Yekaterinburg : Ed. Ural un-ta, 2014. – 204 p.

9. Wild-growing and introduced useful plants in Bashkiria / ed. by E. V. Kucherov. – Ufa, 1961. – Issue 1. – 284 p.

10. Kucherov E. V., Gufranova I. B. Wild medicinal plants in the regions of the Southern Urals and prospects for their use // Fast-growing and introduced useful plants in Bashkiria. – Kazan, 1968. – Vol. 2. – P. 5–89.

Информация об авторах

А. А. Боярский – магистр;

Ю. А. Аржанников – магистр;

И. А. Панин – кандидат сельскохозяйственных наук.

Information about the authors

A. A. Boyarsky – master's degree;

Yu. A. Arzhannikov – master's degree;

I. A. Panin – candidate of agricultural sciences.

Статья поступила в редакцию 05.09.2021; принята к публикации 20.10.2021.

The article was submitted 05.09.2021; accepted for publication 20.10.2021.

Леса России и хозяйство в них. 2021. № 4. С. 49–56
Forests of Russia and economy in them. 2021. № 4. P. 49–56

Научная статья

УДК 630*621

Doi: 10.51318/FRET.2021.22.53.003

РЕКРЕАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ НАСАЖДЕНИЙ ПАРКА «БЕРЕЗОВАЯ РОЩА» В Г. ЕКАТЕРИНБУРГЕ

Ирина Владимировна Шевелина¹, Татьяна Сергеевна Воробьева²,
Александр Владимирович Суслов³, Альбина Равильевна Киршбаум⁴,
Олег Николаевич Мальчихин⁵

^{1,2,3} Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

^{4,5} техникум индустрии питания и услуг «КУЛИНАР», Екатеринбург, Россия

¹ shevelinaiv@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-0027-3446>

² vorobyevats@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-9776-9689>

³ suslovav@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2640-7274>

⁴ albina.kirshbaum@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7000-411X>

⁵ czenskiy@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4149-281X>

Аннотация. Проведена оценка лесоводственно-таксационных и ландшафтно-рекреационных характеристик насаждений на территории Академического района г. Екатеринбурга между улицами академика Вонсовского, Чкалова, Краснолесья и Анатолия Мехренцева. Площадь, занятая зелеными насаждениями, составляет 26,9 га. Экспериментальной основой послужили одновременные космические снимки, данные натурного обследования зеленых насаждений, произрастающих на данной территории. Выявлено, что на исследуемой территории произрастает три древесных вида: береза повислая (64,5 %), сосна обыкновенная (34,0%) и осина обыкновенная (1,5 %). Возрастная структура насаждений парка по породам неоптимальна. Сосновые и березовые насаждения представлены двумя группами возраста, первые – средневозрастными (77,8 %) и приспевающими (22,2 %), вторые – спелыми (90,1%) и приспевающими (9,9 %). Насаждения осины представлены только средневозрастными. Исследуемые насаждения являются высокопроизводительными. Средний класс бонитета равен 1,7. На исследуемой территории выделено две группы типов лесорастительных условий: свежая периодически влажная (98 %) и устойчиво-свежая (2 %). Типологическая структура насаждений достаточно благоприятна для организации отдыха населения. Выявлено, что доминируют закрытые пространства (98,5 %), открытых достаточно мало (1,5 %). Лесные участки характеризуются высокими декоративными и эстетическими качествами, средний класс эстетической оценки ландшафтных участков составил 1,03. Определен средний балл рекреационной оценки – 1,78, который доказывает необходимость проведения незначительных лесохозяйственных мероприятий по благоустройству парка. В парке преобладают насаждения второго класса устойчивости, их удельный вес составляет 92,8 % от площади. Выявлены незначительные изменения лесной среды, доминируют насаждения второй стадии рекреационной дигрессии (81,9 %). Рекреационный потенциал насаждений парка достаточно высокий, но необходимо проведение лесохозяйственных и санитарно-оздоровительных мероприятий, а также организация дорожно-тропиночной сети и посадки ландшафтных культур.

Ключевые слова: городские насаждения, космические снимки, ландшафтная таксация, рекреационная нагрузка

Scientific article

RECREATIONAL POTENTIAL OF PLANTINGS OF THE PARK «BIRCH GROVE» IN YEKATERINBURG

Irina V. Shevelina¹, Tatiana S. Vorobjeva², Alexander V. Suslov³,
Albina R. Kirshbaum⁴, Oleg N. Malchikhin⁵

^{1,2,3} The Ural State Forestry University, Yekaterinburg, Russia

^{4,5} Technical School of Food and Services Industry «Kulinar», Yekaterinburg, Russia

¹ shevelinaiv@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-0027-3446>

² vorobyevats@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-9776-9689>

³ suslovav@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2640-7274>

⁴ albina.kirshbaum@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7000-411X>

⁵ czenskiy@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4149-281X>

Abstract. The assessment of forestry-taxation and landscape-recreational characteristics of plantings on the territory of the Academic district of Yekaterinburg between the streets of Academician Vonsovsky, Chkalov, Krasnolesya and Anatoly Mehrentsev was carried out. The area occupied by green plantations is 26,9 hectares. The experimental basis was based on various satellite images, data from a full-scale survey of greenery growing in this territory. It was revealed that three tree species grow in the study area: hanging birch (64,5 %), common pine (34,0 %) and common aspen (1,5 %). The age structure of the park's plantings by species is not optimal. Pine and birch plantations are represented by two age groups, the first - middle-aged (77,8 %) and ripe (22,2 %), the second – ripe (90,1 %) and ripe (9,9 %). Aspen plantations are represented only by middle-aged ones. The studied plantings are highly productive. The average bonus class is 1,7. Two groups of types of forest growing conditions were identified in the study area: fresh, periodically wet (98 %) and sustainably fresh (2 %). The typological structure of plantings is quite favorable for the organization of recreation of the population. It was revealed that closed spaces dominate (98,5 %), open spaces are quite small (1,5 %). Forest plots are characterized by high decorative and aesthetic qualities, the average class of aesthetic assessment of landscape plots was 1,03. The average score of the recreational assessment was determined – 1,78, which proves the need for minor forestry measures to improve the park. The park is dominated by plantings of the second class of sustainability, their specific weight is 92,8 % of the area. Insignificant changes in the forest environment were revealed, plantations of the second stage of recreational digression dominate (81,9 %). The recreational potential of the park's plantings is quite high, but it is necessary to carry out forestry and sanitary measures, as well as the organization of a road and path network and planting of landscape crops.

Keywords: *urban plantings, satellite images, landscape taxation, recreational load*

Введение

В условиях урбанизации вопросы рациональной застройки, благоустройства и озеленения микрорайонов крупных городов имеют важное значение. Количество и качество городских зеленых насаждений определяют жизненную среду горожан. Данный факт подтверждается выводами Всемирной организации

здравоохранения при оценке факторов риска для здоровья населения городов (рис. 1). Внешняя среда (загрязнение воздуха, почвы и др.) в совокупности занимает около 20 % среди факторов риска для здоровья человека [1].

Зеленые насаждения являются составной частью городской среды. Они выполняют сани-

тарно-гигиенические и рекреационные функции. Насаждения являются биологическими фильтрами и частично очищают атмосферный воздух [2, 3], улучшают его ионный состав [4–6], повышают влажность воздуха, снижают скорость ветра, уровень радиации и шума [6, 7].

В условиях растущей плотности многоэтажной застройки при

одновременно увеличивающейся с каждым годом интенсивности транспортного и пешеходного движения на улицах в изменившихся условиях окружающей среды очень важно сохранение городских зеленых насаждений.

Цель исследования, методика и объекты исследования

Основная цель исследования заключалась в оценке лесоводственно-таксационных и ландшафтно-рекреационных характеристик зеленых насаждений, произрастающих на территории Академического района г. Екатеринбурга между улицами академика Вонсовского, Чкалова, Краснолесья и Анатолия Мехренцева. Жители близлежащих домов называют данный объект парком «Березовая роща». Площадь участка составляет 26,9 га. Парк не входит в систему городского озеленения и имеет стихийное происхождение, при этом является

популярным местом для отдыха горожан.

Основой для решения поставленной задачи послужили данные натурного обследования зеленых насаждений, произрастающих на территории парка. Первоначально на исследуемую территорию были получены разновременные снимки с картографических сервисов (рис. 2). По снимкам прослеживается уменьшение площади зеленых

насаждений. Поэтому для сохранения парка целесообразно провести оценку рекреационного потенциала насаждений.

В ходе подготовительных работ проведено дешифрирование спутниковых снимков в геоинформационной системе Quantum GIS. При проведении полевых работ определили таксационные и ландшафтные показатели насаждений во всех выделах парка [8].



Рис. 1. Факторы риска для здоровья населения городов, % [1]
Fig. 1. Risk factors for urban population health, % [1]



a



b

Рис. 2. Разновременные снимки парка «Березовая роща»:
a – 2006 г., *b* – 2010 г.

Fig. 2. Multi-time images of the park «Birch Grove»:
a – 2006, *b* – 2010

Подготовительные и камеральные работы выполнялись на персональных компьютерах с использованием программ: SAS Planet, Google Earth Pro, MO Excel и Quantum GIS.

Результаты и их обсуждение

Видовой состав насаждений парка «Березовая роща» представлен всего тремя древесными видами: одним хвойным – сосной обыкновенной, двумя лиственными – березой повислой и осиной обыкновенной (рис. 3). В парке преобладают насаждения березы повислой, они произрастают на площади 17,1 га (64,5 %). Насаждения сосны занимают 9,0 га (34,0 %), осины – 0,4 га (1,5 %).

Насаждения, произрастающие в парке, в основном имеют естественное происхождение. На территории объекта исследований обнаружены рядовые посадки

лесных культур сосны обыкновенной, их возраст составляет около 55 лет.

Состав подлеска разнообразен (ива козья, вяз шершавый, рябина обыкновенная, акация желтая, шиповник морщинистый, кизильник блестящий, яблоня ягодная, ракитник русский, черемуха обыкновенная) и имеет в основном среднюю густоту.

Возрастная структура насаждений парка по породам показана в таблице. Сосновые насаждения представлены следующими группами возраста: средневозрастными (77,8 %) и приспевающими (22,2 %), березовые – спелыми (90,1 %), приспевающими (9,9 %) и осиновые – средневозрастными (100 %). Молодняки отсутствуют на данной территории. Очевидно, что в ближайшее время необходимо решать вопросы, связанные с омоложением насаждений данного объекта.

Анализ производительности насаждений парка в целом показал, что средний класс бонитета равняется 1,7. Сосняки представлены 1 классом бонитета, березняки – 2. Насаждения имеют высокий экологический и рекреационный потенциал. Анализируя данные по распространению и производительности насаждений различных видов, можно сделать вывод, что лесорастительные условия на исследуемой территории соответствуют биоэкологическим особенностям сосны обыкновенной и березы повислой.

В парке выявлены два типа леса: сосняк разнотравный, который относится к свежей периодически влажной группе типов лесорастительных условий, и сосняк ягодниковый – к устойчиво-свежей группе. Преобладают насаждения свежей периодически влажной группы, они произрастают на площади 26,1 га, что составляет 98,0 %. Насаждения устойчиво-свежей группы произрастают на площади 0,4 га (или 2,0 %).

Насаждения двух перечисленных групп типов лесорастительных условий характеризуются высокой производительностью, повышенными санитарно-гигиеническими и рекреационными показателями. Типологическая структура насаждений может считаться благоприятной для организации отдыха.

Для оценки рекреационного потенциала насаждений данной территории провели ландшафтную таксацию, в ходе которой для каждого лесотаксационного



Рис. 3. Видовой состав насаждений парка, %
Fig. 3. Species composition of park plantings, %

Распределение площади исследуемых насаждений по породам и группам возраста
Distribution of the area of the studied plantings by species and age groups

Группы возраста Age groups	Площадь по породам Area by species					
	Сосна Pine tree		Береза Birch tree		Осина Aspen	
	га	%	га	%	га	%
Молодняки Young growth	–	–	–	–	–	–
Средневозрастные Middle-aged	–	–	–	–	0,4	100,0
Приспевающие Those who are in need	7	77,8	1,7	9,9	–	–
Спелые Ripe	2	22,2	15,4	90,1	–	–
Перестойные Overdone	–	–	–	–	–	–
Итого Total	9,0	100	17,5	100	0,4	100

выдела определили ландшафтные показатели: тип ландшафта, класс эстетической ценности, балл рекреационной оценки, класс устойчивости и стадию рекреационной дигрессии.

Анализ распределения площади выделов по типам ландшафта позволяет сделать вывод, что на исследуемой территории доминируют закрытые пространства, насаждения которых можно охарактеризовать как чистые и смешанные с относительной полнотой 0,6 и выше в основном с горизонтальной сомкнутостью. Площадь насаждений с закрытым типом ландшафта равняется 26,5 га (98,5 % от общей площади парка). Открытые типы ландшафтов составляют всего 0,4 га (1,5 %).

Красочность и гармоничность лесных участков определяет-

ся классом эстетической оценки [9]. Исследуемые насаждения относятся к двум классам эстетической ценности. Удельный вес насаждений первого класса эстетической оценки равняется 97 %, второго класса – 3 %. Средневзвешенный класс эстетической оценки ландшафтных участков составил 1,03. Значение показателя свидетельствует о высоких декоративных и эстетических качествах насаждений, несмотря на постоянно увеличивающиеся рекреационные нагрузки и техногенные загрязнения.

Для определения пригодности участков к выполнению рекреационных и оздоровительных функций для каждого выдела установлена рекреационная оценка. Анализ распределения площади выделов по данному показателю выявил:

– удельный вес ландшафтных участков с высокой рекреационной оценкой, на которых возможна организация комфортного отдыха населения без проведения дополнительных хозяйственных мероприятий, составляет 26,0 %;

– доля лесных участков со средней рекреационной оценкой, которые требуют незначительных мероприятий для организации отдыха горожан и являются доминирующими, равняется 69,1 %;

– выделов с низкой рекреационной оценкой, требующих для организации отдыха серьезных капиталовложений (реконструкция насаждений, планировка территории и др.), – 4,6 %.

Для исследуемого объекта рассчитали средний балл рекреационной оценки. Величина данного показателя составляет 1,78.

Распределение площади участков по величине балла рекреационной оценки и итоговое значение среднего балла указывают, что данный участок возможно использовать для отдыха после проведения незначительных лесохозяйственных мероприятий по благоустройству.

Класс устойчивости характеризует способность насаждений противодействовать оказывающим на них влияние неблагоприятным факторам, следствием которых может являться преждевременный распад или смена видов. Для определения степени устойчивости насаждений используется в ландшафтной таксации 4-балльная шкала. В её основу положены интенсивность роста и развития составляющих насаждение деревьев, их морфологические признаки, количественные и качественные показатели подроста, живого напочвенного покрова, подлеска, механические повреждения на деревьях, а также повреждения вредителями леса, соотношение здоровых и поврежденных деревьев, состояние почвы.

На исследуемой территории преобладают насаждения второго класса устойчивости, их площадь составляет 24,6 га, или 92,8 %. Представленность насаждений первого и третьего класса устойчивости по площади незначительна: 4,0 га (5,3 %) и 0,5 га (1,9 %) соответственно. Средний класс устойчивости насаждений составляет 2,0.

Важным показателем для оценки негативных изменений

в лесном биогеоценозе, произошедших в результате их рекреационного использования, называют рекреационной дигрессией. Выделяют пять стадий рекреационной дигрессии. Данный показатель определяется с учетом степени нарушенности лесной подстилки, количества уничтоженного подроста и поврежденных деревьев, смены лесных трав на луговые и сорные.

На исследуемой территории преобладают насаждения второй стадии рекреационной дигрессии – 21,7 га (81,9 %), где наблюдаются незначительные изменения лесной среды. Площадь участков первой стадии дигрессии составляет 4,3 га, или 16,2 %. Представленность участков третьей стадии дигрессии мала и равняется 0,5 га (1,9 %).

Выводы

Зеленые насаждения, произрастающие в Академическом районе г. Екатеринбурга между улицами академика Вонсовского, Чкалова, Краснолесья и Анатолия Мехренцева, являются местом отдыха жителей близлежащих домов. Анализ лесоводственно-таксационных и ландшафтно-рекреационных характеристик насаждений доказывает их высокую рекреационную ценность для горожан.

В парке произрастают три древесных вида: береза повислая (64,5 %), сосна обыкновенная (34,0 %) и осина обыкновенная (1,5 %). Возрастная структура насаждений не совсем оптимальна. Сосновые и березовые насаждения представлены дву-

мя группами возраста: первые – средневозрастными (77,8 %) и приспевающими (22,2 %), вторые – спелыми (90,1 %) и приспевающими (9,9 %). Насаждения осины представлены только средневозрастными. Исследуемые насаждения являются высокопроизводительными. Средний класс бонитета равен 1,7. Это подтверждает факт, что лесорастительные условия на данной территории соответствуют биоэкологическим особенностям сосны обыкновенной и березы повислой.

На исследуемой территории выявлено два типа леса сосняк разнотравный, который относится к свежей периодически влажной группе типов лесорастительных условий, и сосняк ягодниковый – к устойчиво-свежей группе. Типологическая структура насаждений достаточно благоприятна для организации отдыха населения.

Анализ ландшафтных показателей насаждений свидетельствует, что на исследуемой территории доминируют закрытые пространства (98,5 %), открытых достаточно мало (1,5 %). Лесные участки характеризуются высокими декоративными и эстетическими качествами, средний класс эстетической оценки ландшафтных участков составил 1,03. Насаждения парка рекомендуется использовать для отдыха после проведения незначительных лесохозяйственных мероприятий по благоустройству. Это доказывается величиной среднего балла рекреационной оценки – 1,78.

На исследуемой территории преобладают насаждения второго класса устойчивости, их удельный вес составляет 92,8 % от площади. В парке преобладают насаждения второй стадии рекреационной дигрессии

(81,9 %), где наблюдаются незначительные изменения лесной среды.

В связи с вышеперечисленным для увеличения рекреационного потенциала насаждений парка необходимы лесохозяй-

ственные и санитарно-оздоровительные мероприятия, а также организация дорожно-тропиночной сети и посадки ландшафтных культур.

Список источников

1. Экология : учеб. пособие для бакалавров технических вузов / В. В. Денисов [и др.]; под ред. В. В. Денисова. – Ростов н/Д : Феникс, 2013. – 414 с.
2. Илькун Г. М. Загрязнители атмосферы и растения. – Киев : Наукова думка, 1978. – 246 с.
3. Кулагин Ю. З., Сергейчик С. А. О газоаккумулирующей функции древесных растений // Экология. – 1982. – № 6. – С. 9–14.
4. Тарасов А. И. Рекреационное лесопользование. – М. : Агропромиздат, 1986. – 176 с.
5. Озеленение населенных мест : справочник / В. И. Ерохина, Г. П. Жеребцова, Т. И. Вольфтруб и др. – М. : Стройиздат, 1987. – 480 с.
6. Афонина М. И. Основы городского озеленения : учеб. пособие. – М. : МГСУ, 2010. – 208 с.
7. Большаков Н. М. Рекреационное лесопользование. – Сыктывкар : СЛИ, 2006. – 311 с.
8. Лесоустроительная инструкция : утв. приказом Минприроды России от 29 марта 2018 года № 122 : зарегистрирована в Министерстве юстиции Российской Федерации 20 апреля 2018 года, регистрационный № 50859 (с изменениями на 12 мая 2020 года). – URL: <http://docs.cntd.ru/document/542621790> (дата обращения: 10.02.2020).
9. Лесоустройство в СССР / Н. Н. Гусев, С. Г. Синицын, В. И. Сухих, Н. И. Букин. – М. : Лесн. пром-сть, 1981. – 328 с.

References

1. Ecology : study guide for bachelors of technical universities / V. V. Denisov [etc.] ; edited by V. V. Denisov. – Rostov-on-Don : Phoenix, 2013. – 414 p.
2. Ilcun G. M. Air pollutants and plants. – Kiev : Naukova dumka, 1978. – 246 p.
3. Kulagin Y. Z., Sergejchik S. A. About gas storage function of woody plants // Ecology. – 1982. – № 6. – P. 9–4.
4. Tarasov A. I. Recreational forestry. – Moscow : Agropromizdat, 1986. – 176 p.
5. Landscaping of settlements : directory / V. I. Erokhina, G. P. Zherebtsova, T. I. Volftrubidr. – Moscow : Stroyizdat, 1987. – 480 p.
6. Afonina M. I. The basics of urban landscaping: study guide. – Moscow : MSCU, 2010. – 208 p.
7. Bolshakov N. M. Recreational use. – Syktyvcar : SFI, 2006. – 311 p.
8. Forest management instruction: approved by order of the Ministry of Nature of Russia dated March 29 2018 № 122 : registered with the Ministry of Justice of the Russian Federation dated April 20 2018, registration № 50859 (as amended on May 12, 2020). – URL: <http://docs.cntd.ru/document/542621790> (date of the application: 10.02.2020).
9. Forest management in the USSR / N. N. Gusev, S. G. Sinitsyn, V. I. Sukhikh, N. I. Bukin. – Moscow : Timber industry, 1981. – 328 p.

Информация об авторах

И. В. Шевелина – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;

Т. С. Воробьева – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;

А. В. Суслов – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;

А. Р. Киришаум – магистр, преподаватель;

О. Н. Мальчихин – преподаватель.

Information about the authors

I. V. Shevelina – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor;

T. S. Vorobieva – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor;

A. V. Suslov – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor;

A. R. Kirshbaum – master's degree, teacher;

O. N. Malchikhin – teacher.

Леса России и хозяйство в них. 2021. № 4. С. 57–62
Forests of Russia and economy in them. 2021. № 4. P. 57–62

Научная статья
УДК 631.95
Doi: 10.51318/FRET.2021.65.76.004

СОХРАНЕНИЕ БИОРАЗНООБРАЗИЯ В ИМЕРЕТИНСКОЙ НИЗМЕННОСТИ ГОРОДА СОЧИ ПУТЕМ СОЗДАНИЯ ОРНИТОЛОГИЧЕСКОГО ПРИРОДНОГО ПАРКА

Фролова Татьяна Ивановна¹, Протазанова Полина Сергеевна²,
Антуфьева Вероника Федоровна³, Антончук Анастасия Викторовна⁴

^{1, 2, 3, 4} Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия, Сибирский тракт 36
¹ tah946@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3199-3159>
² Seleznevapolina97@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0302-0106>
³ nika.ant@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3908-606X>
⁴ farlenkova94@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3168-3153>

Аннотация. В результате массового строительства в городе Сочи возникли проблема вымирания и миграции местных животных, а также массовая вырубка редких растений, занесенных в Красную книгу. Тем самым действия человека внесли существенные изменения в местную экосистему. В связи с этим в статье рассмотрены методы сохранения биоразнообразия и поддержания экологического баланса за счет создания природных парков на примере орнитологического в Имеретинской низменности, который включает 14 кластеров. В статье рассмотрена структура парка, месторасположение и уникальность данной территории. Особое внимание уделено планировке кластеров, особенностям благоустройства территории (в том числе размещению дорожно-тропиночной сети, наличию малых архитектурных форм), расположению кластеров по отношению к окружающей планировке и друг другу, наличию водоема, а также методам рекреационного использования территории природного парка. На основании полученных данных было выявлено, что правильно сформированный пейзажный стиль, а также отдельные приемы регулярного стиля могут служить основными приемами для сохранения растительного мира и иных организмов в процессе формирования привычной среды обитания основных видов, характерных для территории г. Сочи, в том числе и для тех видов, которые используют данные парки в качестве территории зимовки.

Ключевые слова: ландшафт, орнитология, биоразнообразие, кластер, аллювиальные отложения, пейзажный стиль, регулярный стиль

Scientific article

CONSERVATION OF BIODIVERSITY IN THE IMERETI LOWLAND OF SOCHI, THROUGH THE CREATION OF AN ORNITHOLOGICAL NATURAL PARK

Frolova Tatiana Ivanovna¹, Protazanova Polina Sergeevna²,
Antufieva Veronika Fyodorovna³, Antonchuk Anastasia Viktorovna⁴

^{1, 2, 3, 4} Ural State Forestry Engineering University, Yekaterinburg, Russia, Siberian Tract, 36

¹ tah946@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3199-3159>

² Seleznevolina97@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0302-0106>

³ nika.ant@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3908-606X>

⁴ farlenkova94@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3168-3153>

Abstract. As a result of mass construction in the city of Sochi, there was a problem of extinction and migration of local animals, as well as a massive felling of rare plants listed in the Red Book. Thus, human actions have made significant changes in the local ecosystem. In this regard, the article discusses methods for preserving biodiversity, and maintaining the ecological balance by creating natural parks on the example of the Ornithological Center in the Imeretinskaya Lowland, which includes 14 clusters. The article examines the structure of the park, location and uniqueness of this territory. Particular attention is paid to the layout of clusters, the features of landscaping (including the location of the road and path network, the presence of small architectural forms), the location of clusters in relation to the surrounding layout and to each other, the presence of a reservoir, as well as methods of recreational use of the territory of the natural park.

Keywords: *landscape, ornithology, biodiversity, cluster, alluvial deposits, landscape style, regular style*

Введение

В связи с массовыми строительными работами, проводимыми к зимней Олимпиаде в г. Сочи на территории Имеретинской набережной в 2014 г., возникла серьезная проблема сохранения экологической среды для местных обитателей. Колоссальные изменения естественного природного ландшафта продолжаются на этих территориях до сих пор.

Благодаря благоприятному климату данного региона на этих землях издавна обитают редкие животные, а также произрастает множество видов уникальных растений. С орнитологической точки зрения Имеретинская низменность является одной из наиболее ценных природных зон

Западного Кавказа. Она находится в числе ключевых орнитологических территорий России международного значения. Плотность населения птиц Имеретинской низменности в период их гнездования характеризуется высокими показателями (928 особей/км²) и превышает общую плотность птиц на горных склонах [1]. По численности преобладают виды различных экологических групп: кустарниковые, полевые, синантропные (жулан, черноголовая трясогузка, скворец) [2].

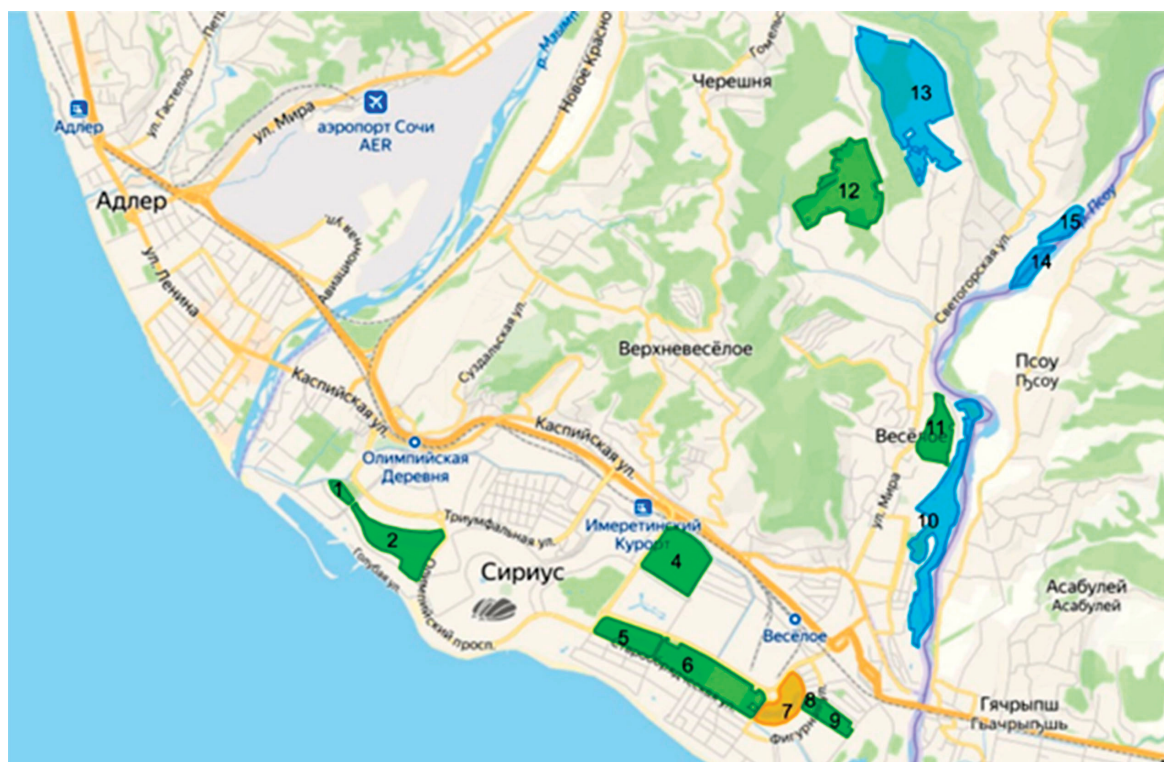
Цель, задача, методика и объекты исследования

Решение экологической проблемы, связанной с губительной деятельностью человека, – это

организация специальных природных парков, которые позволят сохранить естественные ландшафты для комфортного обитания местных флоры и фауны. Таким решением стало создание орнитологического природного парка.

Орнитологический парк расположен в Имеретинской низменности г. Сочи. Он относится к особо охраняемым природным территориям регионального значения. Природный парк разделен на 14 кластеров и имеет общую площадь 298,59 га. На рисунке представлена структура орнитологического природного парка с номерами кластеров [3].

Несмотря на интенсивное строительство, которое началось в целях проведения Олимпиады



Структура орнитологического природного парка, г. Сочи [3]
The structure of the Ornithological Natural Park, Sochi [3]

в 2014 г. и продолжается до сих пор, на этих территориях сохранился естественный ландшафт и малонарушенная экосистема. При глобальной застройке Нижнеимеретинской низменности пострадало большое количество животных и растений, издавна обитающих на местных землях. В том числе многие из них являются краснокнижными. Также Имеретинская низменность являлась пристанищем для перелетных птиц [4].

В целях сохранения местной флоры и фауны были сохранены и выделены земли под особо охраняемые территории регионального значения, закрепленные постановлением главы администрации (губернатора) Краснодарского края от 10 августа 2010 г. № 678 [5].

Орнитологи за время работы природного парка обнаружили и зафиксировали присутствие 206 видов птиц, из которых 32 особи занесены в Красную книгу России и Краснодарского края [6].

Результаты исследования и их обсуждение

Кластер № 1 расположен в пределах улиц Перспективная, Триумфальная, Морской бульвар, Парусная. Вблизи территории находится парк Южной культуры, малоэтажные постройки, отели и Имеретинский морской порт. Площадь составляет 2,23 га.

Планировка парка представляет собой природный ровный рельеф с малочисленными групповыми посадками. Также на

территории есть высушенный водоем и ручьи.

Кластер № 2 расположен в пределах улиц Олимпийский проспект, Парусная, Морской бульвар, с северной стороны ограничен территорией жилой застройки. Кластер № 2 примыкает к Олимпийскому парку, где расположены здания для проведения спортивных и культурно-массовых мероприятий. Площадь кластера составляет 22,85 га.

Планировка парка представляет собой природный ровный рельеф с малочисленными посадками из древесно-кустарниковых групп. Также на территории есть водоем, где обитают лебеди. Водоемы занимают 17 % от общей площади кластера. Ландшафт наиболее пригоден

для остановки мигрирующих и зимующих птиц. На территории кластера практически отсутствуют дорожно-тропиночные сети. Есть лишь одна дорожка, являющаяся транзитной.

Кластер № 4 расположен в пределах улиц Чемпионов, Континентальный проспект, Ленина, с восточной стороны ограничен малоэтажным жилым сектором. С южной стороны кластера расположена территория отеля. Вблизи парка находится парк культуры и отдыха «Сочи Парк». Площадь кластера составляет 26,89 га.

Планировка парка представляет собой природный ровный рельеф с многочисленными посадками из древесно-кустарниковых групп. Также на территории данного кластера наблюдается большое количество рядных пересекающихся дорожек, это говорит о том, что ранее эти земли использовались под сельскохозяйственную деятельность. Ландшафт представляет собой единственный сохранившийся на территории России участок колхидских низин и болот, ранее занимавших большую часть территории Имеретинской низменности [7].

Кластер № 5 расположен в пределах улиц Олимпийский проспект, Старообрядческая, Воскресенская. С северной стороны кластера расположена территория отеля. Вблизи 5-го кластера находится парк культуры и отдыха «Сочи Парк». Площадь территории составляет 12,87 га, 46 % занимает искусственно созданный водоем.

Планировка парка представлена в пейзажном стиле. На территории есть извилистые дорожки и площадки, древесно-кустарниковые группы. Вблизи территории расположены автобусные остановки в количестве 4 шт.

Кластер № 6 расположен в пределах улиц Олимпийский проспект, Старообрядческая, Воскресенская, Таврическая. 36 % территории занимает искусственно созданный водоем.

Примерно $\frac{1}{2}$ кластера № 6 занята производственным предприятием. Планировка зеленой части кластера представлена в пейзажном стиле. В центре композиции парка – водоем, который окружен дорожно-тропиночной сетью. На территории расположена парковка и многочисленные площадки. Озеленение осуществлено методом посадки древесно-кустарниковых групп.

Кластер № 7 расположен в пределах улиц Таврическая, Диброва. Площадь территории составляет 12,96 га.

Данный кластер отличается тем, что он является парковой территорией, где расположены демонстрационные вольеры с птицами. Территория кластера полностью ограждена забором и снабжена входными группами.

Планировка парка представлена в пейзажном стиле. Основными центрами композиции являются водоемы, центрами второго порядка являются вольеры для птиц в количестве 3 шт. Парк оснащен парковкой и туалетами. Дорожно-тропиночная сеть проходит по всей территории объекта, имеет подходы к воде.

Территория активно используется сотрудниками научного отдела для проведения исследовательских работ, в том числе отловов и кольцевания птиц. Кольцевание – это своего рода паспорт птиц, позволяющий проводить учёт особей [8]. Кроме того, здесь проходит большинство эколого-просветительских мероприятий.

Кластер № 8 расположен в пределах улиц Рубежная, Диброва, Фигурная. Площадь территории занимает всего 1,89 га.

Планировка парка представляет собой природный ровный рельеф с малочисленными групповыми посадками. Дорожно-тропиночная сеть связана с кластером № 8.

Кластер № 9 расположен в пределах улиц Рубежная, Диброва, Фигурная. Площадь территории занимает 5,4 га.

Парк имеет пейзажный стиль. Планировка представляет собой природный ровный рельеф с малочисленными групповыми посадками деревьев и кустарников. Дорожно-тропиночная сеть представлена различными извилистыми дорожками. Центрами композиции являются групповые посадки и солитеры. По периметру парковой зоны расположены парковочные зоны.

Кластер № 10 занимает 37,73 га. Расположен вдоль границы с Абхазией, поэтому часть территории занята под сооружения государственной границы.

Территория отличается природными ландшафтами. Большая часть территории покрыта лесной растительностью, часть

площади занимает прибрежная зона и водная зона реки. Также на территории 10-го кластера расположено 6 водоемов и площадки различного назначения.

Кластер № 11 занимает 13,67 га, расположен в пределах улицы Пограничная, вблизи границы с Абхазией. Территория полностью огорожена забором. Планировка имеет регулярный стиль, симметричное расположение растений в группах [9]. Территория является старым плодовым садом совхоза «Россия», тут произрастают такие культуры, как хурма, фейхоа и слива.

Кластер № 12 занимает 42,43 га. Планировка частично имеет регулярный стиль в связи с тем, что большая часть территории занята под сельскохозяйственными плодовыми культурами: фундук, яблоня, персик и др. Другая часть территории занята лесным массивом. Вдоль

восточной части кластера проходит улица Комарова.

Кластер № 13 занимает 72,41 га. Территория кластера занята под сельскохозяйственными угодьями и залежами, разделенными полосами лесной растительности по тальвегам ручьев. По всей площади густо распределена сеть высоковольтных линий электропередачи.

Кластер № 13 имеет самую большую площадь среди всех кластеров орнитологического парка. На его территории расположено большое количество отсыпных грунтовых дорожек и тропинок. Есть небольшие водоемы. В связи с ведением хозяйственной деятельности на территории имеется большое количество зданий хозяйственного назначения.

Кластеры № 14 и №15 занимают около 8 га. Вся территория находится за инженерными

сооружениями государственной границы. Ландшафт представлен пойменным листовым лесом вдоль реки Псоу. На территории 15-го кластера расположены водозабор и полоса аллювиальных отложений по берегу реки Псоу.

Выводы

На всей территории орнитологического природного парка запрещена деятельность, влекущая за собой изменение исторически сложившегося природного ландшафта, снижение или уничтожение экологических, эстетических и рекреационных качеств природного парка [10]. Нарушение условий природопользования влечет за собой вымирание и миграцию малочисленных редких животных и растений. Благодаря созданию системы кластеров на побережье Черного моря уменьшается урон, наносимый местной флоре и фауне.

Список источников

1. Природный орнитологический парк в Имеретинской низменности. – URL: <http://www.zapoved.net/index.php/katalog/regiony-rossii/yuzhnyj-fo/krasnodarskij-kraj> (дата обращения: 06.11.2021).
2. Красная книга Краснодарского края. – 3-е изд. – 2017. – URL: <https://mprkk.ru/prirodnyie-resursyi-i-ohrana-okrzhayuschej-sredyi/krasnaya-kniga-krasnodarskogo-kрая/krasnaya-kniga-krasnodarskogo-kрая/krasnaya-kniga-krasnodarskogo-kрая-3-e-izdanie-2017/> (дата обращения: 07.11.2021).
3. Министерство природных ресурсов Краснодарского края. Природный орнитологический парк в Имеретинской низменности. – URL: <http://ornitoparksoschi.ru/%d1%81%d1%82%d1%80%d1%83%d0%ba%d1%82%d1%83%d1%80%d0%b0-%d0%bf%d0%b0%d1%80%d0%ba%d0%b0/> (дата обращения: 03.11.2021).
4. Имеретинская низменность – памятник природы России. – URL: <https://www.sorgo1957.org/ru/blog/posts/imeretinskaya-nizmennost-pamyatnik-prirody-rossii> (дата обращения: 07.11.2021).
5. Постановление главы администрации (губернатора) Краснодарского края от 10.08.2010 № 678 (ред. от 28.03.2012) «Об организации особо охраняемой природной территории регионального значения – природного орнитологического парка в Имеретинской низменности». – URL: <http://publication.pravo.gov.ru> (дата обращения: 03.11.2021).
6. Красная Книга России. Полный сборник живых организмов внесённых в Красную книгу Российской Федерации. – URL: <https://redbookrf.ru> (дата обращения: 03.11.2021).

7. Щербина В. Г., Белюченко И. С. Влияние олимпиады-2014 на состояние растительности в Имеретинской низменности // Экологический вестник Северного Кавказа. – 2009. – Т. 5. – № 2. – С. 5–12.
8. Михеев А. В. Кольца-путешественники (Кольцевание птиц). – М. : тип. ЦБТИ МЭП, 1949. – 56 с.
9. Вишнякова С. В. Построение ландшафтной (пейзажной) группы : учеб.-метод. пособие. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2015. – 17 с. – URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/42049704.pdf> (дата обращения: 10.11.2021).
10. Федеральный закон от 14 марта 1995 г. № 33-ФЗ «Об особо охраняемых природных территориях» (с изм. и доп.) : [фед. закон: принят Гос. Думой 15 фев. 1995 г]. – М., 1995. – 19 с.

References

1. Natural Ornithological Park in the Imereti lowland. – URL: <http://www.zapoved.net/index.php/katalog/regiony-rossii/yuzhnyj-fo/krasnodarskij-kraj> (accessed: 06.11.2021).
2. Red Book of Krasnodar Krai. – 3rd edition. – 2017. – URL: <https://mprkk.ru/prirodnyie-resursyi-i-ohrana-okruzhayuschej-sredyi/krasnaya-kniga-krasnodarskogo-kraya/krasnaya-kniga-krasnodarskogo-kraya/krasnaya-kniga-krasnodarskogo-kraya/krasnaya-kniga-krasnodarskogo-kraya-3-e-izdanie-2017> (accessed: 07.11.2021).
3. The Ministry of Natural Resources of the Krasnodar Territory. Natural Ornithological Park in the Imereti lowland. – URL: <http://ornitoparksochi.ru/%d1%81%d1%82%d1%80%d1%83%d0%ba%d1%82%d1%83%d1%80%d0%b0-%d0%bf%d0%b0%d1%80%d0%ba%d0%b0/> (accessed: 03.11.2021).
4. Imereti lowland – A natural monument of Russia. – URL: <https://www.sorgo1957.org/ru/blog/posts/imeretinskaya-nizmennost-pamyatnik-prirody-rossii> (accessed: 07.11.2021).
5. Resolution of the Head of the Administration (Governor) of the Krasnodar Territory dated 10.08.2010 No. 678 (ed. dated 28.03.2012) «On the organization of a specially protected natural territory of regional significance – a natural ornithological park in the Imereti Lowland». – URL: <http://publication.pravo.gov.ru> (accessed: 03.11.2021).
6. The Red Book of Russia. The complete collection of living organisms included in the Red Book of the Russian Federation. – URL: <https://redbookrf.ru> (accessed: 03.11.2021).
7. Shcherbina, V. G., Belyuchenko I. S. The influence of the 2014 Olympics on the state of vegetation in the Imereti lowland // Ecological Bulletin of the North Caucasus. – 2009. – Vol. 5. – №. 2. – P. 5–12.
8. Mikheev A. V. Rings-travelers (Banding of birds). – Moscow : type. CBTI MEP, 1949. – 56 p.
9. Vishnyakova S. V. Building a landscape (landscape) group. Educational and methodical manual. – Yekaterinburg : UGLTU, 2015. – 17 p. – URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/42049704.pdf> (date of application: 10.11.2021).
10. Federal Law No. 33-FZ of March 14, 1995 «On Specially Protected Natural Territories» (with amendments and additions): [fed. law: adopted by the State Duma on February 15, 1995]. – Moscow, 1995. – 19 p.

Информация об авторах

Т. И. Фролова – кандидат биологических наук, доцент;
П. С. Протазанова – студент;
В. Ф. Антупьева – студент;
А. В. Антончук – студент.

Information about the authors

T. I. Frolova – candidate of Biological Sciences, associate professor;
P. S. Protazanova – student;
V. F. Antufieva – student;
A. V. Antonchuk – student.

Леса России и хозяйство в них. 2021. № 4. С. 63–68
Forests of Russia and economy in them. 2021. № 4. P. 63–68

Научная статья
УДК 630*587.5
Doi: 10.51318/FRET.2021.93.92.005

ОЦЕНКА ЗАРАСТАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ ЛЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ В БЕРЁЗОВСКОМ ГОРОДСКОМ ОКРУГЕ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Александр Александрович Баргыш¹, Руслан Рафаильевич Никитин²

^{1,2}Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

¹bartyshaa@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-2971-1389>

²rnikitin96@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-3556-719X>

Аннотация. В рамках данной работы оценивались степень и масштабы зарастания сельхозугодий Берёзовского городского округа Свердловской области. Оценка велась по материалам открытой базы данных Росреестра с кадастровыми номерами и границами участков, а также по соответствующим местности космоснимкам. Учитывались только участки, предназначенные для пахоты, сенокосения и выпаса скота, бывшие сельские леса исключались. Так как юго-западная часть Берёзовского городского округа находится практически в черте г. Екатеринбурга, там ведётся активная застройка, поэтому участки отбирались площадью не менее 5000 м² (0,5 га), для того чтобы отсечь земли, которые могли быть переведены под застройку. Анализ пространственного расположения показал, что исследуемые участки находятся в южной и центральной части Берёзовского городского округа. Основной конгломерат находится в южной части округа, на юго-востоке от г. Берёзовского, с юга от посёлка Шиловка и до посёлка Становая. Еще часть участков находится восточнее на юге от посёлка Сарапулка. В центральной части округа возле посёлка Монетный участки сильно разбросаны. Общая площадь выявленных сельскохозяйственных угодий 3791 га, из них 49 % не заросли древесной растительностью, 12 % – зарастающие сельхозугодья. Результаты оценки показали, что зарастание происходит неравномерно. В большинстве случаев покрытой лесом оказывается небольшая часть земельного участка. На данный момент 51 % сельхозземель Берёзовского городского округа заброшены и в той или иной степени заросли древесной растительностью, в том числе 39 % покрыто лесом. Таким образом, в той или иной степени используется только половина сельхозугодий.

Ключевые слова: зарастание сельхозугодий, оценка зарастания, космоснимки, заброшенный сенокос, лесная растительность

Scientific article

ASSESSMENT OF OVERGROWTH OF AGRICULTURAL LAND WITH FOREST VEGETATION IN THE BEREZOVSKY CITY DISTRICT OF THE SVERDLOVSK REGION

Alexander A. Bartysh¹, Ruslan R. Nikitin²^{1,2}Ural State Forestry Engineering University, Department of Forestry, Yekaterinburg, Russia¹ bartyshaa@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-2971-1389>² rnikitin96@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-3556-719X>

Abstract. In this work, the degree and scale of overgrowth of agricultural land in the Berezovsky city district of the Sverdlovsk region were evaluated. The assessment was carried out based on the materials of the open database of the Rosreestr with cadastral numbers and boundaries of plots, as well as on satellite images corresponding to the area. Only areas intended for plowing, haymaking and grazing were taken into account, former rural forests were excluded. Since the south-western part of the Berezovsky city district is located almost within the city of Yekaterinburg, active construction is underway there, so the plots were selected with an area of at least 5000 m² (0,5 ha) in order to exclude land that could be transferred for development. The analysis of the spatial location showed that the studied sites are located in the southern and central part of the Berezovsky urban district. The main conglomerate is located in the southern part of the district, in the southeast from the city of Berezovsky, from the south from the village of Shilovka and to the village of Stanovaya. Another part of the plots is located to the east in the south of the village of Sarapulka. In the central part of the district near the village of Monetny, the plots are very scattered. The total area of the identified agricultural land is 3791 hectares, of which 49 % is not overgrown with woody vegetation. 12 % overgrown farmland. The results of the assessment showed that overgrowth occurs unevenly. In most cases, a small part of the land plot is covered with forest. 51 % of the agricultural lands of the Berezovsky city district are currently abandoned and to some extent overgrown with woody vegetation, including 39 % is covered with forest. Thus, only half of the agricultural land is used to some extent.

Keywords: *overgrowth of agricultural land, assessment, satellite images, unused hayfield, forest vegetation*

Введение

В результате упразднения колхозов в начале 90-х годов и финансового кризиса постперестроечной России значительные площади пашен, сенокосов и прочих сельскохозяйственных угодий перестали использоваться и составили фонд облесения бросовых сельскохозяйственных земель. Сегодня это явление происходит практически во всех субъектах России. По неточным оценкам, сейчас брошены и подвержены зарастанию больше

50 % сельхозугодий [1, 2]. Согласно официальным источникам, в настоящее время в России выведено из оборота и не используется от 30 до 40 млн га пашни. На ней происходят естественные и антропогенные процессы, такие как заболачивание, задержание, залужение, зарастание лесом и др. [3, 4]. Благодаря достаточно высокому почвенному плодородию сельскохозяйственные земли оказались благоприятной средой для возникновения на них высокобонитетных древостоев

[5–7]. Во многих субъектах России, по данным статистики, идет зарастание древесно-кустарниковой растительностью, мелколесьем плодородных земель [8].

Широко исследовать эту проблему начали относительно недавно, так как она приобрела массовость после распада СССР. За это время проблему рассматривали с разных точек зрения [9–11]. Так, например, в Пермском крае проводилась оценка интенсивности зарастания почв сельскохозяйственных угодий

лесной растительностью по данным дистанционного зондирования. В этой работе определялись площади заросших древесной и кустарниковой растительностью угодий, а также велась оценка влияния типа почв на интенсивность процесса зарастания на примере территории Заводотюшевского сельского поселения Октябрьского района Пермского края, расположенного в пределах Кунгурской лесостепи. Результаты данного исследования показали, что за период 1986–2018 гг. на территории данного поселения произошло зарастание сельхозугодий площадью 1878,9 га (18,42 % от общей площади) [12].

В Свердловской области процесс зарастания земель, вышедших из сельскохозяйственного пользования, на сегодняшний день малоизучен. В Богдановичском районе Свердловской области проводилось обследование заброшенных сельхозугодий. Результаты показали, что на пашнях сосредоточивается до 13,5 тыс. шт./га молодых деревьев сосны. На сенокосах чаще наблюдалась молодая берёза. Во многих случаях при помощи рубок ухода возможно формирование высокобонитетных хвойных насаждений [13].

Цель, объекты исследования и методика работ

Цель данной научно-исследовательской работы – оценить степень и масштабы зарастания сельхозугодий Берёзовского городского округа Свердловской области.

Для этого с сайта Росреестра была скачана открытая база данных с кадастровыми номерами и границами участков. Взятые при помощи программы QGIS 2.14 атрибуты участков копировались в Microsoft Excel. Учитывались только пашни, сенокосы и пастбища площадью не менее 5000 м² (0,5 га), для того чтобы отсечь земли, которые могли быть переведены под застройку.

В программе «Google Планета Земля» по историческим космоснимкам разных годов, в период примерно с 2002 по 2021 гг., на выбранных участках проверялся факт зарастания. При помощи программы SAS.Planet были выгружены космоснимки 2020–2021 гг. для каждого из участков. Эти снимки далее подгружались в QGIS, где делились (оцифровывались) на части не менее 0,5 га по условным категориям зарастания, которые были выделены в зависимости от стадии формирования насаждения: незаросшие с/х угодья, на которых в большинстве случаев ещё ведётся сельское хозяйство; зарастающие с/х угодья, на которых присутствуют молодые деревья, не образующие древостой; залежи, на которых произрастает мелколесье, которое уже образует древостой; лесные насаждения – это сельхозземли со сформировавшимся древостоем, заросшие более 20 лет назад.

Для каждой части рассчитывалась площадь, присваивался соответствующий номер категории зарастания. Далее атрибуты этих разделённых на ча-

сти участков были загружены в Microsoft Excel, где были проведены расчёты площадей каждой категории зарастания, средних площадей по категориям, удельный вес в процентах и количество. Также выделялись доли категорий по площади земельных участков, считалось количество участков с каждой долей.

Результаты исследования и их обсуждение

Согласно данным табл. 1, общая площадь выявленных сельскохозяйственных угодий 3791 га, из них 49 % не заросли древесной растительностью. 12 % – зарастающие сельхозугодья. Площадь залежей 23 %, лесных насаждений 16 %. Таким образом, в настоящее время в БГО эксплуатируется около половины сельхозугодий, а 38 % покрыты лесом.

Общее число исследованных кадастровых участков составляет 186 шт. В табл. 2 показано распределение их количества, общих и средних площадей. Их средняя площадь равна 20,4 га. Изучение распределения частей кадастровых участков по категориям зарастания показывает, что их количество составило 590 шт. Количество частей под незаросшими сельхозугодьями 255 шт., средняя площадь равна 7 га. Частей участков, на которых началось зарастание, – 100 шт. Средняя площадь равна 4,5 га. Залежей 167 шт., средняя площадь 5,3 га. Частей с лесным насаждением 68, средняя площадь 8,8 га.

Таблица 1

Table 1

Распределение площадей по категориям зарастания
Distribution of areas by overgrowth categories

Характеристика Characteristic	Площади по категориям зарастания Areas by overgrowth categories				
	Незаросшие с/х угодья Not overgrown agricultural land	Зарастающие с/х угодья Overgrown agricultural land	Залежь Neglected	Лесное насаждение Forest area	Итого Result
Площадь, га Area, ha	1863	446	880	601,8	3790,9
Удельный вес, % Specific gravity, %	49	12	23	16	100

Таблица 2

Table 2

Количество, площадь и среднее значение площади
Quantity, area and average value of the area

Характеристика Characteristic	Кадастровые участки Cadastral plots	Категории зарастания Overgrowth categories			
		Незаросшие с/х угодья Not overgrown agricultural land	Зарастающие с/х угодья Overgrown agricultural land	Залежь Neglected	Лесное насаждение Forest area
Количество, шт Quantity, pcs	186	255	100	167	68
Общая площадь, га Total area, ha	3794,6	1863	446	880	601,8
Средняя площадь, га Average area, ha	20,4	7	4,5	5,3	8,8

Таким образом, у большинства кадастровых участков основная часть – это незаросшие площади. Остальные категории представлены на сравнительно меньшей площади.

Выводы

1. На данный момент 51 % сельхозземель Берёзовского городского округа заброшены и в той или иной степени заросли древесной растительностью, в том числе 39 % покрыто лесом. Таким образом, в той или иной

степени используется только половина сельхозугодий.

2. Зарастание земель бывшего сельскохозяйственного пользования происходит неравномерно. На большинстве исследуемых участков доля покрытая лесом, сравнительно небольшая.

Список источников

1. Балашкевич Ю. А. Зарастание бывших сельскохозяйственных земель древесной растительностью // Актуальные проблемы лесного комплекса. – Брянск, 2006. – Вып. 13. – С. 4–6.
2. Гульбе А. Я. Процесс формирования молодняков древесных пород на залежи в Южной тайге : автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16 / Гульбе А. Я. – М., 2009. – 23 с.

3. Агроэкологическое состояние и перспективы использования земель России, выбывших из активного сельскохозяйственного оборота / под ред. Г. А. Романенко. – М. : Росинформагротех, 2008. – 64 с.
4. Новосёлова Н. Н., Залесов С. В., Магасумова А. Г. Формирование древесной растительности на бывших сельскохозяйственных угодьях. – Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2016. – 106 с.
5. Рост лиственных древостоев на бывших пашнях / С. В. Залесов, Е. В. Юровских, Л. А. Белов, А. Г. Магасумова, А. С. Оплетев // Аграрн. вестник Урала. – 2015. – № 5 (135). – С. 50–54.
6. Старейшие искусственные насаждения сосны обыкновенной на старопахотных землях / С. В. Залесов, Е. В. Юровских, Л. А. Белов, А. Г. Магасумова, А. С. Оплетев // Аграрн. вестник Урала. – 2015. – № 5 (135). – С. 50–54.
7. Zalesov S. V., Magasumova A. G., Opletaev A. S. Effectiveness of larch stands creation on former agricultural lands // Ecological Agriculture and Sustainable Development : research development center. – 2019. – № 1. – P. 69–76.
8. Лютых Ю. А. Повышение эффективности управления землями сельскохозяйственного назначения // Вестник КрасГАУ. – 2010. – № 1. – С. 3–4.
9. Фомин В. В., Залесов С. В., Магасумова А. Г. Анализ методик оценки густоты подроста и древостоев с использованием космических снимков высокого пространственного разрешения // Вестник биотехнологии. – 2015. – № 1 (3). – С. 25–29.
10. Жижин С. М., Залесов С. В., Магасумова А. Г. Изменение площади сельскохозяйственных угодий по лесным районам в Республике Удмуртия // Успехи современ. естествознания. – 2021. – № 2. – С. 12–18. – DOI 10.17513/use.37568.
11. Густота и надземная фитомасса подроста сосны на бывших сельскохозяйственных угодьях / Е. В. Юровских, С. В. Залесов, А. Г. Магасумова, А. В. Бачурина // Аграрн. вестник Урала. – 2016. – № 11 (153). – С. 80–85.
12. Белоусова А. П., Чашин А. Н. Оценка интенсивности зарастания почв сельскохозяйственных угодий лесной растительностью по данным дистанционного зондирования // Вестник Удмурт. ун-та. Сер. Биология. Науки о Земле. – 2018. – № 3. – С. 269–278.
13. Морозов А. М., Магасумова А. Г., Юровских Е. В. Взаимосвязь густоты и встречаемости подроста на бывших сельскохозяйственных угодьях // Леса России и хоз-во в них. – 2013. – Вып. 1 (44). – С. 27–30.

References

1. Balashkevich Yu. A. Overgrowing of former agricultural lands with woody vegetation // Actual problems of the forest complex. – Vol. 13. – Bryansk, 2006. – P. 4–6.
2. Gulbe A. Ya. The process of formation of young wood species on deposits in the Southern taiga: abstract. diss. ... Cand. Sc. (Biology): 03.00.16 / Gulbe A. Ya. – Moscow, 2009. – 23 p.
3. Agroecological state and prospects of using the lands of Russia that have been eliminated from active agricultural turnover / edited by G. A. Romanenko. – Moscow : Russian Research Institute of Information and Technical and Economic Studies on Engineering and Technical Provision of Agro-Industrial Complex, 2008. – 64 p.
4. Novoselova N. N., Zalesov S. V., Magasumova A. G. Formation of woody vegetation on former agricultural lands. – Yekaterinburg : Ural. gos. lesotechn. un-t, 2016. – 106 p.
5. The growth of deciduous stands on former arable lands / S. V. Zalesov, E. V. Yurovskikh, L. A. Belov, A. G. Magasumova, A. S. Opletaev // Agrarian Bulletin of the Urals. – 2015. – №. 5 (135). – P. 50–54.
6. The oldest artificial plantations of scots pine on old arable lands / S. V. Zalesov, E. V. Yurovskikh, L. A. Belov, A. G. Magasumova, A. S. Opletaev // Agrarian Bulletin of the Urals. – 2015. – №. 5 (135). – P. 50–54.

7. Zalesov S. V., Magasumova A. G., Opletaev A. S. Effectiveness of larch stands creation on former agricultural lands // Ecological Agriculture and tsustainable development : research development center. – 2019. – № 1. – P. 69–76.
8. Lyutykh Yu. A. Improving the efficiency of agricultural land management // Bulletin of KrasGAU. – 2010. – №. 1. – P. 3–4.
9. Fomin V. V., Zalesov S. V., Magasumova A. G. Analysis of methods for assessing the density of undergrowth and stands using satellite images of high spatial resolution // Bulletin of bio-technology. – 2015. – № 1 (3). – P. 25–29.
10. Zhizhin S. M., Zalesov S. V., Magasumova A. G. Change in the area of agricultural land by forest areas in the Republic of Udmurtia // Successes of modern natural science. – 2021. – No. 2. – P. 12–18. – DOI 10.17513/use.37568.
11. Density and aboveground phytomass of pine undergrowth on former agricultural lands / E. V. Yurovskikh, S. V. Zalesov, A. G. Magasumova, A. V. Bachurina // Agrarian Bulletin of the Urals. – 2016. – №. 11 (153). – P. 80–85.
12. Belousova A. P., Chashchin A. N. Assessment of the intensity of overgrowth of agricultural land soils by forest vegetation according to remote sensing data // Bulletin of the Udmurt University. The series Biology. Earth Sciences. – 2018. – № 3. – P. 269–278.
13. Morozov A. M., Magasumova A. G., Yurovskikh E. V. The relationship of density and occurrence of undergrowth on former agricultural lands // Forests of Russia and agriculture in them. – 2013. – Issue 1 (44). – P. 27–30.

Информация об авторах

A. A. Бартыш – кандидат сельскохозяйственных наук;

P. P. Никитин – магистр.

Information about the authors

A. A. Bartysh – master's degree;

R. R. Nikitin – master's degree.

Статья поступила в редакцию 05.09.2021; принята к публикации 20.10.2021.

The article was submitted 05.09.2021; accepted for publication 20.10.2021.

Леса России и хозяйство в них. 2021. № 4. С. 69–74

Forests of Russia and economy in them. 2021. № 4. P. 69–74

Научная статья

УДК 630.323.13

Doi: 10.51318/FRET.2021.95.37.006

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ ЗАГОТОВКИ ДРЕВЕСИНЫ ХАРВЕСТЕРОМ ПО КРИТЕРИЮ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И УДЕЛЬНОЙ ЭНЕРГОЕМКОСТИ

Тимофей Игоревич Савиных¹, Мария Алексеевна Савиных²,
Сергей Борисович Якимович³

^{1,2,3} Уральский государственный лесотехнический университет, кафедра технологии
и оборудования лесопромышленного производства

¹ savinyhti@mail.ru

² savinyhma@m.usfeu.ru

³ jak.55@mail.ru, , <http://orcid.org/0000-0003-1013-6473>

Аннотация. Выполнен обзор способов и сравнительный анализ сменной и часовой производительности основных и разработанных авторами способов заготовки древесины: при валке деревьев перпендикулярно волоку; при заготовке древесины в вертикальном положении; при валке деревьев под углом к волоку; при заготовке древесины в вертикальном положении с выносом вершинной части на трелевочный волок без приземления. Представлены действующие в условиях реального производства, апробированные на производстве и защищенные патентами способы заготовки древесины. Дано обоснование способов заготовки и харвестеров по критерию производительности и удельной энергоемкости с нормативными ограничениями на сохранность лесной среды. Разработана и представлена методика подбора харвестеров и харвестерных головок по критерию производительности и удельной энергоемкости для выбранных способов заготовки древесины. Выполнены расчеты по разработанной методике. Даны рекомендации по областям применения рассмотренных способов и соответствующих им харвестеров и харвестерных агрегатов. Установлено, что различные способы заготовки древесины при прочих равных условиях требуют использования соответствующих по мощности харвестеров с харвестерным агрегатом. Так, например, способ заготовки древесины в вертикальном положении с выносом вершинной части на трелевочный волок без приземления реализует процесс харвестером существенно меньшей мощности и, соответственно, сопоставимой энергоемкости с более производительными способами и харвестерами большей мощности.

Ключевые слова: *производительность, харвестер, удельная энергоемкость, способы заготовки древесины*

Scientific article

COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS OF HARVESTING WOOD BY HARVESTER ACCORDING TO THE CRITERION OF PRODUCTIVITY AND SPECIFIC ENERGY INTENSITY

Timofey I. Savinykh¹, Maria A. Savinykh², Sergei B. Yakimovich³

^{1,2,3} Ural State Forestry Engineering University, Department of technology and equipment of timber production

¹ savinyhti@mail.ru

² savinyhma@m.usfeu.ru

³ jak.55@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-1013-6473>

Abstract. A review of methods and a comparative analysis of the shift and hourly productivity of the main and developed by the authors methods of harvesting wood: when felling trees perpendicular to the hauling; when harvesting wood in a vertical position; when felling trees at an angle to the hauling; when harvesting wood in a vertical position with the removal of the vertex part on the skidding portage without landing. Patent-protected methods of wood harvesting operating in real production conditions and tested in production are presented. The substantiation of harvesting methods and harvesters according to the criterion of productivity and specific energy intensity with regulatory restrictions on the preservation of the forest environment is given. The method of selection of harvesters and harvester heads according to the criterion of productivity and specific energy intensity for the selected methods of wood harvesting has been developed and presented. Calculations were performed according to the developed methodology. Recommendations are given on the areas of application of the considered methods and their corresponding harvesters and harvester units. It has been established that various methods of harvesting wood, other things being equal, with the exception of methods, require the use of harvesters with a harvester unit corresponding in power. So, for example, the method of harvesting wood in a vertical position with the removal of the vertex part to the skidding portage without landing implements the process with a harvester of significantly lower power. And, accordingly, comparable energy intensity with more productive methods and harvesters of greater power.

Keywords: *productivity, harvester, specific energy consumption, methods of wood harvesting*

Введение

Одним из важных факторов для заготовки древесины является энергоэффективность комплектов машин с ограничениями на сохранность лесной среды. Определяющее влияние на представленные факторы оказывают способы и приемы работы харвестера и соответствующие этим способам конструкции и типоразмеры машин для заготовки древесины [1]. В этой связи темы работ данной области являются актуальными.

Цель, объекты и методика исследований

Целью работы является обоснование способа заготовки древесины харвестером на выборочных рубках на основе сравнительной оценки по критериям производительности и удельной энергоёмкости [2, 3]. Для её достижения были поставлены следующие задачи.

1. Провести обзор способов и сравнительный анализ сменной и часовой производительности способов заготовки: при вал-

ке деревьев перпендикулярно волоку; при заготовке древесины в вертикальном положении; валке деревьев под углом к волоку; заготовке древесины в вертикальном положении с выносом вершинной части на трелевочный волок без приземления.

2. Обосновать захватно-срезающие агрегаты для представленных способов заготовки древесины харвестером.

3. Провести оценку удельной энергоёмкости представленных

способов заготовки древесины и обосновать параметры харвестера.

4. Разработать рекомендации по выбору наиболее эффективно-го способа заготовки при выборочных рубках.

Для сравнения нами был выбран известный традиционный способ и ряд разработанных в УГЛТУ способов заготовки древесины:

– способ заготовки древесины с перемещениями перпендикулярно волоку (традиционный, валка деревьев перпендикулярно волоку);

– способ заготовки древесины с перемещениями под углом к волоку (валка деревьев под углом к волоку) [4];

– способ заготовки древесины в вертикальном положении (обработка дерева в вертикальном положении) [5];

– способ заготовки древесины в вертикальном положении с выносом вершинной части (обработка дерева в вертикальном положении с выносом вершинной части на трелевочный волок без приземления) [6].

С целью обеспечения сопоставимых условий для сравнения способов приняты характеристики, представленные в табл. 1. Они одинаковые для всех способов.

Изменяемыми факторами, характеризующими способ, являются последовательность обработки, траектория движения базы и захватно-срезающего агрегата харвестера, положение и траектория выноса дерева и сортиментов харвестером.

Расчет производительности производился для представленных способов заготовки древесины харвестером с использованием результатов имитационного эксперимента по определению времени цикла [7] и выражения

$$П_{см} = \frac{T_{см} - t_p}{t_{ц}} V_x,$$

где $T_{см}$ – продолжительность смены, 28 800 с;

t_p – регламентированные простои, 10 000 с;

V_x – средний объем хлыста; $V_x = 0,4 \text{ м}^3$;

$t_{ц}$ – продолжительность цикла, с.

Результаты исследования и их обсуждение

Полученные данные производительности сравниваемых способов представлены в табл. 2 [7].

Для корректной оценки удельной энергоемкости способов необходимо подобрать соответствующие этим способам харвестерные агрегаты. Исходя из данных табл. 1 и 2 и сущности способов, подобраны захватно-срезающие агрегаты харвесте-

ров для каждого из сравниваемых способов. При выборе учитывалось, что часть способов оперирует поваленным или стоящим деревом, часть отдельными элементами поваленного или стоящего дерева: вершинами, сортиментами и пр. и в этой связи необходимы харвестерные агрегаты различной мощности: для оперирования с целым деревом – большей, с частью дерева – меньшей.

1. Способ заготовки древесины с перемещениями перпендикулярно волоку, традиционный – агрегат John Deere H 414.

2. Способ заготовки древесины с перемещениями под углом к волоку [4] – агрегат WARATAN H270 Series II.

3. Способ заготовки древесины в вертикальном положении [5] – агрегат KOMATSU 370.2.

4. Способ заготовки древесины в вертикальном положении с выносом вершинной части на трелевочный волок без приземления. Способ по патенту на изобретение [6] – агрегат LOG MAX 5000D.

Таблица 1

Table 1

Инвариантные показатели для сравнения способов заготовки древесины

Invariant indicators for comparing wood harvesting methods

Показатели Indicators	Значения Values
Размеры лесосеки, га The size of the cutting area, ha	0,25
Комплект машин Set of machines	харвестер-форвардер harvester forwarder
Объем хлыста ($V_{хл}$) Whip Volume (V_{wh})	0,4
Количество сортиментов Number of sortings	4

Таблица 2

Table 2

Значения производительности для сравниваемых способов
Performance values for the methods being compared

Способ заготовки древесины Method of harvesting wood	Часовая производительность $\Pi_{ч}$, м ³ Hourly productivity $\Pi_{ч}$, m ³	Сменная производительность $\Pi_{см}$, м ³ Replaceable performancет $\Pi_{см}$, m ³
Заготовка древесины с перемещениями перпендикулярно волоку, традиционный Harvesting of wood with movements perpendicular to the fiber, traditional	20,7	165,4
Заготовка древесины с перемещениями под углом к волоку [4] Harvesting of wood with movements at an angle to the drag [4]	22,2	177,6
Заготовка древесины в вертикальном положении [5] Harvesting of wood in an upright position [5]	19,7	157,4
Заготовка древесины в вертикальном положении с выносом вершинной части на трелевочный волок без приземления [6] Harvesting of wood in a vertical position with the removal of the vertex part to the skidding portage without landing [6]	14,4	115,5

Для определения удельной энергоёмкости способов заготовки древесины и выбранных машин использовалась наша авторская методика [8].

1. Харвестерный агрегат John Deere H 414 разработан для харвестеров John Deere среднего размера – 1170Е.

Установленная мощность харвестерного агрегата и/или машины, системы машин (кВт) определяется на основе расхода гидрожидкости (л/мин) и давления гидронасосов (бар) по выражению [8]

$$N = \frac{P_{нас} Q}{600\eta},$$

где $P_{нас}$ – номинальное давление насоса, бар;

Q – расход жидкости, л/мин;

η – коэффициент подачи насоса (КПД) для гидравлического

привода обычно находится в диапазоне 0,85–0,95.

Удельная энергоёмкость харвестерного агрегата и/или машины, системы машин g_s , (кВт·ч)/м³, определяется для конечного состояния предмета труда — сортимента по выражению [8]

$$g_s = \frac{N}{\Pi_{ч}},$$

где $\Pi_{ч}$ – часовая производительность.

$$N = \frac{280 \cdot 270}{600 \cdot 0,85} = 148,2 \text{ кВт},$$

$$g_s = \frac{148,2}{20,675} = 7,2 \text{ (кВт·ч)/м}^3.$$

2. Харвестерный агрегат KOMATSU C93 разработан для харвестера KOMATSU 931.

$$N = \frac{280 \cdot 280}{600 \cdot 0,85} = 153,7 \text{ кВт},$$

$$g_s = \frac{153,7}{22,2} = 6,9 \text{ (кВт·ч)/м}^3.$$

3. Харвестерный агрегат KOMATSU 370.2 разработан для харвестера KOMATSU 941.1.

$$N = \frac{250 \cdot 250}{600 \cdot 0,85} = 122,5 \text{ кВт},$$

$$g_s = \frac{122,5}{19,675} = 6,2 \text{ (кВт·ч)/м}^3.$$

4. Харвестерный агрегат LOG MAX 5000D разработан для харвестера EcoLog 560D.

$$N = \frac{250 \cdot 210}{600 \cdot 0,85} = 102,9 \text{ кВт},$$

$$g_s = \frac{102,9}{14,437} = 7,1 \text{ (кВт·ч)/м}^3.$$

Выводы

1. Различные способы заготовки древесины при прочих равных условиях требуют использования соответствующих по мощности харвестеров с харвестерным агрегатом. Так, например, способ заготовки древесины в вертикальном положении с выносом вершинной части на трелевочный волок без приземления реализует процесс заготовки харвестером существенно меньшей мощности и, соответственно, сопоставимой энергоемкости с более производительными способами и харвестерами большей мощности.

2. Для выбранных агрегатов и машин был произведен расчет удельной энергоэффективности,

который показал, что на выборочных рубках наиболее энергоэффективными оказались:

– способ заготовки древесины с перемещениями под углом к волоку [4] с харвестером KOMATSU 931 и харвестерной головкой KOMATSU C93, удельная энергоемкость равна 6,9 (кВт·ч)/м³;

– способ заготовки древесины в вертикальном положении [5] с харвестером KOMATSU 941.1 и харвестерной головкой KOMATSU 370.2, удельная энергоемкость равна 6,2 (кВт·ч)/м³.

Менее энергоэффективные способы:

– способ заготовки древесины с перемещениями перпендику-

лярно волоку харвестером John Deere среднего размера – 1170E и харвестерной головкой John Deere H 414, удельная энергоемкость равна 7,2 (кВт·ч)/м³;

– способ заготовки древесины в вертикальном положении с выносом вершинной части на трелевочный волок без приземления. Способ по патенту на изобретение [6] с харвестером EcoLog 560D и харвестерной головкой LOG MAX 5000D, удельная энергоемкость равна 7,1 (кВт·ч)/м³.

3. Способ по патенту на изобретение [6] в полной мере соответствует требованиям действующих правил заготовки древесины и лесовосстановления.

Список источников

1. Yakimovich S. B., Teterina M. A. Ways of conservation the natural environment and the intensification of logging round timber // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – Vol. 232. – P. 9. – DOI:10.1088/1755-1315/272/3/032026.
2. Якимович С. Б. Постановка и решение задачи синтеза и оптимального управления технологическими процессами лесозаготовок // Лесн. вестник. – 2003. – № 5. – С. 96–103.
3. Якимович С. Б. Оптимальное управление процессами лесозаготовок: уравнения состояний // Лесн. вестник. – 2003. – № 3. – С. 149–160.
4. Пат. 2365093 Российская Федерация, МПК А016 23/02. Способ заготовки сортиментов машиной манипуляторного типа / Якимович С. Б., Груздев В. В., Крюков В. Н., Тетерина М. А.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Марийск. гос. техн. ун-т; заявл. 26.02.08; опубл. 27.08.09.
5. Экспериментальная оценка эффективности нового способа заготовки сортиментов в вертикальном положении / Е. В. Чернятьев, Е. В. Филичкина, Д. С. Янгильдин, С. Б. Якимович // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : матер. XIV Всерос. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов и конкурса по программе «Умник». – Екатеринбург, 2018. – С. 75–80.
6. Пат. 2741351 Российская Федерация, МПК А01G23/02. Способ заготовки сортиментов/ Якимович С.Б. (RU), Савиных Т.И. (RU), Савиных М.А. (RU). № 2020117709, заявл. 18.05.2020; опубл. 20.01.2021, Бюл. № 3. 9 с.
7. Сравнительная оценка способов заготовки древесины харвестером по критериям производительности и сохранности лесной среды / Т. И. Савиных, М. А. Савиных, А. А. Санталов, С. Б. Якимович // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : матер. XVII Всерос. (нац.) науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. – Екатеринбург, 2021. – С. 48–50.
8. Якимович С. Б., Ефимов Ю. В. Оценка эффективности систем машин и харвестерных агрегатов для заготовки древесины по фундаментальному критерию технолога — удельной энергоемкости // Лесн. вестник. – 2020. – Т. 24. – № 1. – С. 59–68.

References

1. Yakimovich S. B., Teterina M. A. Ways of conservation the natural environment and the intensification of logging round timber // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – Vol. 232. – P. 9. – DOI:10.1088/1755-1315/272/3/032026.
2. Yakimovich S. B. Formulation and solution of the problem of synthesis of optimal control of technological processes logging // Forest Bulletin. – 2003. – №. 5. – P. 96–103.
3. Yakimovich S. B. Optimal control of logging processes: Equations of states // Lesnoy Vestnik. – 2003. – №. 3. – P.149–160.
4. Patent 2365093, The Russian Federation МПК A016 23/02. A method of harvesting sortings by a manipulator-type machine / Yakimovich S. B., Gruzdev V. V., Kryukov V. N., Teterina M. A. // State Educational Institution of Higher Professional Education Mari State Technical University; announced 26.02.08; published 27.08.09.
5. Experimental evaluation of the effectiveness of a new method of harvesting sortings in a vertical position / E. V. Chernyatyeve, E. V. Filichkina, D. S. Yangildin, S. B. Yakimovich // Scientific creativity of youth – to the forest complex of Russia : mater. XIV Vseros. nauch.-tech. conf. of students and postgraduates and the competition under the program «Smart Guy». – Yekaterinburg, 2018. – P. 75–80.
6. Patent 2741351 Russian Federation, IPC A01G23/02. Method of preparation of sorting / Yakimovich S. B. (RU), Savinykh T. I. (RU), Savinykh M. A. (RU). №. 2020117709, application 18.05.2020; publ. 20.01.2021, Bul. №. 3. 9 P.
7. Comparative evaluation of methods of harvesting wood by harvester according to the criteria of productivity and preservation of the forest environment / T. I. Savinykh, M. A. Savinykh, A. A. Santalov, S. B. Yakimovich // Scientific creativity of youth – the forest complex of Russia : materials of the XVII All-Russian (national) scientific and Technical conference of students and postgraduates. – Yekaterinburg, 2021. – P. 48–50.
8. Yakimovich S.B., Efimov Yu. V. Evaluation of the efficiency of machine systems and harvester units for harvesting wood according to the fundamental criterion of the technologist – specific energy intensity // Lesnoy Vestnik. – 2020. – Vol. 24. – №. 1. – P. 59–68.

Информация об авторах

Т. И. Савиных – магистр;

М. А. Савиных – магистр;

С. Б. Якимович – доктор технических наук, профессор.

Information about the authors

T. I. Savinykh – undergraduate student; M. A. Savinykh – undergraduate student;

S. B. Yakimovich – doctor of technical sciences, professor.

Статья поступила в редакцию 09.08.2021; принята к публикации 08.11.2021.

The article was submitted 09.08.2021; accepted for publication 08.11.2021.

Леса России и хозяйство в них. 2021. № 4. С. 75–85
Forests of Russia and economy in them. 2021. № 4. P. 75–85

Научная статья
УДК 630*182.46
Doi: 10.51318/FRET.2021.74.62.007

СОРТА СИРЕНИ ОБЫКНОВЕННОЙ (*SYRINGA* L., OLEACEAE), КУЛЬТИВИРУЕМЫЕ В БОТАНИЧЕСКОМ САДУ УРО РАН

Елена Александровна Тишкина¹, Ирина Алексеевна Кожухина²

^{1,2} Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

¹ Elena.MLOB1@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6315-2878>

² irina_kozuhina@inbox.ru

Аннотация. Одно из ведущих мест среди красивоцветущих декоративных кустарников, используемых в зелёном строительстве, принадлежит сирени. Эта культура заслуживает особого внимания благодаря своим прекрасным декоративным качествам, большому видовому и сортовому разнообразию, неприхотливости и экологической пластичности. Коллекция растений р. *Syringa* на базе Ботанического сада УрО РАН начала формироваться с 1957 г.; пополнение коллекции продолжается и по сей день. Сегодня коллекция сиреней Ботанического сада представлена 16 видами и 31 сортом. Целью работы являлось изучение биологических особенностей некоторых сортов *Syringa vulgaris* L. в Ботаническом саду УрО РАН в течение вегетационного периода 2021 г. Объекты исследования – двенадцать сортов однолетних *Syringa vulgaris*, произрастающих в коллекции Ботанического сада. Фенологические наблюдения проводились согласно существующим методикам по основным фенологическим фазам. В результате исследования был выявлен ряд биологических особенностей отдельных сортов сирени обыкновенной по 9 основным фенологическим фазам. Рост вегетативных побегов у сортовых продолжается в среднем 3,5 мес. В конце августа рост заканчивается и завершается процесс одревеснения. Продолжительность вегетационного периода составила 190 дней. Начало и продолжительность цветения зависит от генетических особенностей сорта. Установлено, что наступление начальных (раскрытие почек и начало роста побегов) и заключительной (листопад) фаз вегетации в значительной степени зависит от климатических условий конкретного года. При этом роль биологических особенностей сортов в начале сезонного развития незначительна (сорта начинают вегетировать дружно), тогда как начиная с фенофазы цветения и до конца вегетации эта роль существенно возрастает.

Ключевые слова: *Syringa vulgaris*, сирень обыкновенная, коллекция, однолетний побег, морфометрические показатели

Scientific article

SORTS OF SYRINGA VULGARIS (SYRINGA L., OLEACEAE) CULTIVATED IN THE BOTANICAL GARDEN OF THE URAL BRANCH OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCESElena A. Tishkina¹, Irina A. Kozhukhina²^{1,2} Ural state forestry engineering university, Yekaterinburg, Russia¹ Elena.MLOB1@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6315-2878>² irina_kozuhina@inbox.ru

Abstract. One of the leading places among the flowering ornamental shrubs used in green building belongs *Syringa*. This culture deserves special attention due to its excellent decorative qualities, great species and varietal diversity, unpretentiousness and ecological plasticity. The collection of plants of the genus *Syringa* on the basis of the Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences began to form in 1957; replenishment of the collection continues to this day. Today the Botanical *Syringa* collection represents 16 species and 31 sorts. The purpose of the work was to study the biological aspects of some sorts of *Syringa vulgaris* L. in the Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences during the growing season of 2021. The objects of research are twelve sorts of the same age *Syringa vulgaris* in the collection of the Botanical Garden. Phenological observations were carried out using the existing methods according to the phenological phases. As a result of the study, a number of biological studies of individual sorts of *Syringa vulgaris* were identified in 9 main phenological phases. The growth of vegetative shoots in varietal lasts an average of 3.5 months. At the end of August, the lignification process ends and ends. The growing season was 190 days. The beginning and duration of flowering depends on the genetic characteristics of the sorts. It has been established that the onset of the initial (bud opening and the beginning of shoot growth) and final (leaf fall) phases of the growing season to a degree depends on the climatic conditions of a particular year. At the same time, the role of biological indicators of varieties at the beginning of the growing season.

Keywords: *Syringa vulgaris*, collection, annual shoot, morphometric paramete

Введение

Озеленение территорий играет важную роль в оптимизации среды обитания и улучшении условий жизни населения. Видовой состав природной дендрофлоры Среднего Урала не отличается большим разнообразием, что вызывает необходимость расширения ассортимента растений в озеленении городов и сельских населенных пунктов за счёт интродукции новых декоративных древесных и кустарниковых видов. Особое место в группе декоративных кустарников, используемых в озеленении и ландшафтном дизайне, занимает сирень [1]. Популярность

набирают сирингарии – сады, формируемые из различных видов и сортов сирени. Растения в такие сады подбирают по окраске и форме соцветий, по сроку и продолжительности цветения. В декоративных посадках сирень используется как самостоятельно, так и совместно с видами родов чубушник, спирея, калина, гортензия, барбарис, вейгела. Учитывая, что сирень хорошо переносит стрижку, её используют для оформления живых изгородей и дорожек. Одиночный крупный экземпляр сирени можно разместить как растение-солитер; миниатюрные сирени подходят для посадки в не-

большие сады, альпинарии или в контейнеры. Сирень используется как в озеленении крупных населённых пунктов, так и для оформления загородных участков. Наряду с декоративными функциями, сирень хорошо противостоит уличной загазованности и улавливает листьями пыль лучше многих деревьев [2].

Богатые коллекции сортов сирени содержатся во многих ботанических садах крупных городов России и других научных учреждениях, где проводится основная работа по интродукции и селекции [3–6].

Цель, методика и объекты исследования

Цель работы – исследование биологических особенностей некоторых сортов *Syringa vulgaris* L. в Ботаническом саду УрО РАН.

Исследования проведены в течение вегетационного периода 2021 г. на территории Ботанического сада УрО РАН. Объектами исследования являлись двенадцать сортов однолетних *Syringa vulgaris* в коллекции Ботанического сада. Корректировка сортов проведена на основе публикаций каталога-справочника Рубцова Л. И. [7]. Фенологические наблюдения проводились согласно существующим методикам [8] по основным фенологическим фазам.

Результаты исследования и их обсуждение

Коллекция видов сирени находится в заповедной, закрытой территории Ботанического сада, начало создания коллекции датируется 1957 г. Эта коллекция выращена из семян, полученных из Ботанических садов г. Москвы, Ленинграда, Киева, Тарту, Минска, Архангельска. Декоративная долговечность была утрачена в 60-летнем возрасте, и многие растения были выкорчеваны или срезаны до 50 см. Вновь возобновлена коллекция с 1991 г. и третья волна посадок осуществляется с 2015 г. К настоящему времени в коллекции насчитывается 16 видов. В коллекции Ботанического сада в настоящее время произрастают сорта *Syringa vulgaris* L.: ‘Бог-

дан Хмельницкий’, ‘Гизо’, ‘Жан Барт’, ‘Жанна Д’Арк’, ‘Людвиг Шпэт’, ‘Мадам Лемуан’, ‘Надежда’, ‘Президент Лубе’, ‘Святаязанка’, ‘Хелен Хессен’, ‘Хорошее настроение’, ‘Юбилейная’, ‘Ян Ван Тол’. Они расположены в открытой части Ботанического сада в сирингарии, образцы получены из Минского ботанического сада в 1988 г. – 9 сортов, из НИИ садоводства Сибири в 1987 г. – 4 сорта [9]. В 2017 г. коллекция пополнена еще 18 сортами из них 9 сортов коллекции Л. А. Колесникова: ‘Красавица Москвы’, ‘Капитан Гастелло’, ‘Леонид Леонов’, ‘Надежда’, ‘Небо Москвы’, ‘Олимпиада Колесникова’, ‘Память о Колесникове’, ‘Сумерки’, ‘Алексей Маресьев’ (табл.1).

Наблюдение за *Syringa vulgaris* в течение вегетационного периода выявило ряд биологических особенностей отдельных сортов сирени обыкновенной (табл. 2). Раскрытие почек у сортов сирени начинается в среднем 19 апреля. Раньше других начинают вегетационный период такие сорта, как ‘Алексей Маресьев’, ‘Защитникам Бреста’, ‘Сенсация’, ‘Олимпиада Колесникова’ (18 апреля). У остальных сортов сирени обыкновенной начало вегетации приходится на 20–21 апреля. Начало роста вегетативных побегов у сортов сирени – с 27 апреля по 6 мая. Раньше всех отрастание побегов начинается у сортов ‘Небо Москвы’, ‘Надежда’ и *f.* Аукуболистная (27 апреля). Самые поздние сроки установлены у сортов: ‘Капитан Гастелло’, ‘Олимпиада

Колесникова’, ‘Память о Колесникове’, ‘Сумерки’ (6 мая). Как и в предыдущем случае, на начало роста вегетативных побегов сортовые особенности не оказывают влияния, а климатические условия влияют.

Пик роста у сирени обыкновенной приходится на 8–21 июня в зависимости от сорта, в среднем 11 июня. Сирени в Ботаническом саду зацветают в среднем между 16 мая и 28 июня в зависимости от сорта. Так, самое раннее цветение отмечено у сортов ‘Защитникам Бреста’ (рис. 1), ‘Леонид Леонов’, ‘Алексей Маресьев’ (рис. 2).

Начало цветения сиреней в отличие от двух предыдущих фенофаз не зависит от климатических условий, но связано с биологическими особенностями. Рост вегетативных побегов характеризуется длительным периодом в среднем 3,5 мес. (112 дней). В конце августа рост полностью останавливается и завершается процесс одревеснения. Начало опадения листьев у сирени в условиях Ботанического сада зафиксировано в период с 21 октября по 28 октября. Практически у всех сортов начало листопада приходится в среднем на третью декаду октября. Дольше всех листья на побегах держатся у сортов ‘Леонид Леонов’, ‘Красавица Москвы’, ‘Защитникам Бреста’, ‘Память о Колесникове’, *f.* Аукуболистная, полное опадение листьев происходит при стойком установлении утренних заморозков.

Таблица 1
Table 1Описание некоторых сортов сирени обыкновенной
Description of some sorts of *Syringa vulgaris*

№	Название сорта Name sorts	Цветки и бутоны Flowers and buds	Соцветия и лепестки Inflorescences and petals	Листья (форма, край и жилкование) Leaves (shape, edge and venation)	Размеры растения Plant size	Экологическая особенность видов Ecological feature of the species
1	Небо Москвы Nebo Moskvу	Крупные (до 2,6–3 см в диаметре), симметричные, махровые, состоят из трёх венчиков. Цветки полураспустившиеся густо-лиловые. Бутоны блекло-лилово-пурпурные. Large (up to 2,6–3 cm in diameter), symmetrical, double, consist of three corollas. Half-open flowers, purple. Buds are light purple	Крупные, стройные. Края лепестков с пурпурным оттенком. Large and slender. The edges of the petals are tinged with purple	Сердцевидные. Цельнокрайние. Жилкование перистое. Heart-shaped. Whole-edged. Venation pinnate	Цветёт обильно, эффектно, кусты невысокие, компактные. Blooms profusely, effectively. Bushes are low, compact	Зимостойка. Морозостойка. Winter hardiness. Frost-hardy
2	Алексей Маресьев Alexei Maresjew	Цветки голубовато-лиловые, крупные (до 2,7 см в диаметре), простые. Бутоны пурпурно-фиолетовые. Flowers are bluish-purple. Large (up to 2,7 cm in diameter), simple. Purple buds	Прямостоячие, формируются из 2–3 пар узкопирамидальных метёлок. Узкие длинные лепестки изогнуты пропеллером. Erect, formed from 2–3 pairs of narrow pyramidal panicles. Narrow and long petals bent by a propeller	Ланцетные. Цельнокрайние. Жилкование перистое. Lanceolate. Whole-edged. Venation pinnate	Цветение обильное, в средние сроки. Кусты раскидистые, средней высоты. Blooms profusely in medium terms. Sprawling bushes, average height	Теневынослива. Засухоустойчива. Морозостойка. Shade tolerant. Drought resistant. Frost-hardy
3	Леонид Леонов Leonid Leonov	Цветки простые, крупные (около 2,5 см), очень похожи на чашечки. С наружной стороны лепестки более светлые, лиловые, а внутри, к центру, фиолетовый цвет ступается. Бутоны округло-шаровидные, пурпурно-фиолетовые. Large (up to 2,5 cm in diameter), simple, look like cups. On the outside, the petals are lighter, inside purple. The buds are round-spherical, purple-violet	Соцветия из 1–3 пар пирамидальных метёлок длиной 10–20 см. Лепестки узкие, удлинённо-круглые, 2,5–2,7 см длиной, из 2–3 пар метелок, с округлыми верхушками. Inflorescences of 1–3 pairs of pyramidal brooms 10–20 cm long. Petals are narrow, elongated, round, 2,5–2,7 cm long, from 2–3 pairs of panicles, with rounded tips	Дельтовидные. Цельнокрайние. Жилкование дуговидное. Deltoid. Whole-edged. Venation is arcuate	Отличается ещё и обильным, продолжительным ежегодным цветением, в средние сроки. It also differs in abundant, long-term annual flowering, in the middle	Морозостойка. Зимостойка. Засухоустойчива. Frost-hardy. Winter hardiness. Drought resistant

4	<p>Красавица Москвы Beauty of Moscow</p>	<p>Бутоны крупные, шаровидные, розовато-лиловые с атласным блеском. Цветки крупные (диаметром около 2,5 см), симметричные, совершенной формы, махровые, состоят из 2–3 венчиков. The buds are large, spherical, mauve with a satin sheen. The flowers are large (about 2,5 cm in diameter), symmetrical, perfectly shaped, double, and consist of 2–3 corollas</p>	<p>Крупные, вертикально расположенные. Соцветия состоят из 1–2 пар крупных пирамидальных, прочных и ажурных метелок (18×9 см). Large, upright. Co-blooms consist of 1–2 pairs of large pyramidal, strong and openwork panicles (18×9 cm)</p>	<p>Овальные. Цельнокрайние. Жилкование перистое. Oval. Whole-edged. Venation pinnate</p>	<p>Кусты средней высоты, раскидистые. Цветение ежегодное, обильное, продолжительное, в средние сроки. Bushes of medium height, spreading. Annual flowering, plentiful, long, in medium terms</p>	<p>Зимостойка. Засухоустойчива. Winter hardiness. Drought resistant</p>
5	<p>Надежда Nadezhda</p>	<p>Цветки красивого голубоватого цвета, крупные (до 3 см в диаметре), махровые, состоят из 2,5 венчиков, лепестки внешнего венчика широкоовальные, внутреннего – узкие и изогнутые. The flowers are of a beautiful bluish color, large (up to 3 cm in diameter), terry, consist of 2,5 corollas, the outer corolla petals are wide-oval, the inner ones are narrow, curved</p>	<p>Крупные, стройные, плотные. Соцветия большие, чаще из 1 пары пирамидальных, плотных, ребристых метелок (20×10 см). Лепестки широкоовальные, верхние узкие и слегка изогнутые. Large, slim, dense. Inflorescences are large, usually from 1 pair of dense pyramidal ribbed panicles (20×10 cm). The petals are broadly oval, the upper ones are narrow, slightly curved</p>	<p>Дельтовидные. Цельнокрайние. Жилкование перистое. Deltoid. Whole-edged. Venation pinnate</p>	<p>Кусты средней высоты, компактные. Цветет в поздние сроки. Сорг очень выразительный, эффектный. Bushes of medium height, compact. Blooms later. The variety is very expressive, showy</p>	<p>Морозостойка. Светлолюбива. Frost-hardy. Photophilous</p>
6	<p>Sensation</p>	<p>Бутоны пурпурные. Цветки трубчатые, пурпурные или темно-сиреневые с четкой белой каймой по краям, крупные, простые со слабым ароматом. Цветки с четырьмя широкими, выпукло-вогнутыми лепестками. The buds are purple. The flowers are tubular, purple or dark lilac with a clear white border around the edges, large, simple with a weak aroma. Flowers with four wide, convex-concave petals</p>	<p>Средней длины, располагаются парами. Соцветия состоят из 1–2 пар узкопирамидальных метелок средней плотности (18×8 см) с выступающими ответвлениями. Лепестки широкие, выпукло-вогнутые. Medium length, arranged in pairs. Inflorescences consist of 1–2 pairs of narrow pyramidal panicles of medium density (18×8 cm) with protruding branches. Petals are broadly stony, convex-concave</p>	<p>Сердцевидные. Цельнокрайние. Жилкование перистое. Heart-shaped. Whole-edged. Venation pinnate</p>	<p>Цветет умеренно, в мае-июне. Кусты средней высоты. Раскидистая. Blooms moderately in May-June. Bushes of medium height. Spreading</p>	<p>Светлолюбива. Морозостойка. Frost-hardy. Photophilous</p>

Окончание табл. 1
The end of table 1

№	Название сорта Name sorts	Цветки и бутоны Flowers and buds	Соцветия и лепестки Inflorescences and petals	Листья (форма, край и жилкование) Leaves (shape, edge and venation)	Размеры растения Plant size	Экологическая особенность видов Ecological feature of the species
7	Защитникам Бреста Zaschitnikam Bresta	Белые цветки размером 2,5 см состоят из 2–3 венчиков с округлыми, довольно широкими лепестками. White flowers 2,5 cm in size consist of 2–3 corollas with rounded, rather wide petals	Большие ширококонические плотные компактные соцветия на прочных цветоносах (22–25×16 см). Лепестки широкоокруглые, слегка приподнятые и загнутые внутрь. Large dense compact inflorescences on strong peduncles (22–25×16 cm). The petals are wide-round, slightly raised and curved inward	Дельтовидные. Цельнокрайние. Жилкование перистое. Deltoid. Whole-edged. Venation pinnate	Кусты среднерослые, раскидистые. Bushes are medium-sized, spreading	Морозостойка. Засухоустойчива. Frost-hardy. Drought resistant
8	Капитан Гастелло Capitan Gastello	Цветки крупные (около 2,5–2,8 см в диаметре), ароматные, простые, с длинными винтообразно изогнутыми лепестками, своей формой напоминающими пропеллер. The flowers are large (about 2,5–2,8 cm in diameter), fragrant, simple, with long spirally curved petals, shaped like a propeller	Соцветия состоят из 2–3 метелок. Inflorescences consist of 2–3 panicles	Дельтовидные. Цельнокрайние. Жилкование дуговидное. Deltoid. Whole-edged. Venation is arcuate	Кусты раскидистые, с тонкими побегами, поникающими под тяжестью соцветий. Цветет в средние сроки. Spreading bushes, with thin shoots drooping under the weight of inflorescences. Blooms in medium terms	Морозостойка. Зимостойка. Засухоустойчива. Frost-hardy. Winter hardiness. Drought resistant
9	f. Аукуболистная f. Aucubaefolia	Цветки лилового-голубые с синевой, крупные, полумаховатые, ароматные. The flowers are lilac-blue with blue, large, semi-double, fragrant	Соцветия крупные. Метелки длиной 25 см. Лепестки овальные. The inflorescences are large. Me-heifers 25 cm long. Petals are oval	Сердцевидные. Цельнокрайние. Жилкование перистое. Heart-shaped. Whole-edged. Venation pinnate	Цветёт обильно. Куст средней высоты. Густая крона. It blooms profusely. A bush of medium height. Dense crown	Светолюбива. Засухоустойчива. Photophilous. Drought resistant

10	Память о Колесникове Pamyat o Kolesnikove	Цветки-розочки белые, крупные (до 3 см в диаметре), с легким ароматом, махровые, из трех венчиков, сохраняют свою форму до полного отцветания. Бутоны кремовые. Rose flowers are white, large (up to 3 cm in diameter), with a slight aroma, terry, of three corollas, retain their shape until they completely bloom. Cream buds	Крупные, формируются из двух широкопирамидальных, слегка разреженных метёлок, расходящихся под большим углом друг от друга. Лепестки овальные. Large, formed from two wide-pyramidal, slightly sparse panicles, diverging at a large angle from each other. The petals are oval	Ланцетные. Цельнокрайние. Жилкование перистое. Lanceolate. Whole-edged. Venation pinnate	Цветёт обильно, продолжительно, в средние сроки. Кусты средней высоты, широкие. Высокодекоративный сорт. Blooms profusely, for a long time, in medium terms. Bushes of medium height, wide. Highly decorative variety	Морозостойка. Светолюбива. Frost-hardy. Photophilous
№	Название сорта Name sorts	Цветки и бутоны Flowers and buds	Соцветия и лепестки Inflorescences and petals	Листья (форма, край и жилкование) Leaves (shape, edge and venation)	Размеры растения Plant size	Экологическая особенность видов Ecological feature of the species
11	Сумерки Sumerki	Крупные (диаметром до 3 см), простые. Бутоны пурпурно-фиолетовые. Цветки крупные (до 3 см), простые. Large, (up to 3 cm in diameter), simple. The buds are purple-violet. The flowers are large (up to 3 cm), simple	Соцветия среднего размера, состоят из пары пирамидальных, прочных метёлок. Лепестки широкие, округлые, с заостренными кончиками. The inflorescences are medium in size, consisting of a pair of pyramidal, strong panicles. Le-pistils are wide, rounded, with pointed tips	Дельтовидные. Цельнокрайние. Жилкование перистое. Deltoid. Whole-edged. Venation pin-nate	Кусты раскидистые, средней высоты. Цветет в средние сроки. Spreading bushes, medium height. Blooms in medium terms	Морозостойка. Светолюбива. Зимостойка. Frost resistant. Photophilous. Winter hardiness
12	Олимпиада Колесникова Olimpiada Kolesnikova	Махровые цветки с тремя венчиками. Цветы нежно-лилово-розовые, крупные до 3 см, махровые (2–3 венчика), душистые. Бутоны фиолетово-пурпурные. Double flowers with three corollas. The flowers are pale lilac-pink, large up to 3 cm, double (2–3 corollas), fragrant. Purple-purple buds	Узкопирамидальные прямостоячие. Соцветия в основном из 1 пары крупных (28×15 см). Лепестки овальные, удлиненные, изогнутые, верхние меньше. Narrow pyramidal erect. Sotsvetiya mainly from 1 pair of large (28×15 cm). The petals are oval, elongated, curved, the upper ones are smaller	Дельтовидные. Цельнокрайние. Жилкование перистое. Deltoid. Whole-edged. Venation pinnate	Кусты более 3 м высотой. Цветение обильное и продолжительно, в средние сроки. Характерная особенность сорта – тёмноокрашенные однолетние побеги. Bushes over 3 meters high. The flowering is profuse and long-lasting, in the medium term. A characteristic feature of the variety is dark-colored one-year-old shoots	Зимостойка. Светолюбива. Winter hardiness. Photophilous

Таблица 2

Table 2

Сезонный ритм развития интродуцированных сортов сирени обыкновенной
Seasonal rhythm of development of introduced sorts of *Syringa vulgaris*

№	Сорта сирени обыкновенной Sorts of <i>Syringa vulgaris</i>	Раскрытие почек Expanding the kidneys	Начало роста вегетативных побегов The beginning of the growth of vegetative shoots	Пик роста вегетативных побегов Peak growth of vegetative shoots	Начало цветения The beginning of flowering	Окончание роста вегетативных побегов The end of the growth of vegetative shoots	Полное одревеснение Complete lignification	Начало листопада The beginning of leaf fall
1	Небо Москвы Nebo Moskvy	20.04	27.04	8.06	16.05	25.08	29.06	21.10
2	Алексей Маресьев Alexei Maresjew	18.04	29.04	21.06	16.05	25.08	6.07	21.10
3	Леонид Леонов Leonid Leonov	20.04	3.05	8.06	16.05	25.08	13.07	28.10
4	Красавица Москвы Beauty of Moscow	21.04	5.05	15.06	25.05	25.08	29.06	28.10
5	Надежда Nadezhda	20.04	27.04	8.06	20.05	16.08	6.07	21.10
6	Сенсация Sensation	18.04	5.05	15.06	25.05	25.08	29.06	21.10
7	Защитникам Бреста Zaschitnikam Bresta	18.04	5.05	8.06	16.05	25.08	6.07	28.10
8	Капитан Гастелло Capitan Gastello	20.04	6.05	15.06	20.05	25.08	29.06	21.10
9	f. Аукуболистная f. Aucubaefolia	20.04	27.04	8.06	19.05	25.08	29.06	28.10
10	Память о Колесникове Pamyat o Kolesnikove	20.04	6.05	8.06	18.05	25.08	6.07	28.10
11	Сумерки Sumerki	20.04	6.05	8.06	20.05	16.08	6.07	21.10
12	Олимпиада Колесникова Olimpiada Kolesnikova	18.04	6.05	15.06	22.05	25.08	6.07	21.10



Рис. 1. Цветение сирени обыкновенной, сорт «Защитникам Бреста»
Fig. 1. Bloom sorts of *Syringa vulgaris* «Zaschitnikam Brest»



Рис. 2. Цветы сирени обыкновенной, сорт «Алексей Маресьев»
Fig. 2. Flowers sorts of *Syringa vulgaris* «Alexei Maresjew»

Выводы

В результате исследования был выявлен ряд биологических особенностей отдельных сортов сирени обыкновенной по 9 основным фенологическим фазам. Рост вегетативных побегов у сортовых продолжается в среднем 3,5 мес. В конце августа рост заканчивается и завершается

процесс одревеснения. Продолжительность вегетационного периода составила 190 дней. Начало и продолжительность цветения зависит от генетических особенностей сорта. Установлено, что наступление начальных (раскрытие почек и начало роста побегов) и заключительной (листопад) фаз вегетации

в значительной степени зависит от климатических условий конкретного года. При этом роль биологических особенностей сортов в начале сезонного развития незначительна (сорта начинают вегетировать дружно), тогда как начиная с фенофазы цветения и до конца вегетации эта роль существенно возрастает.

Список источников

1. Колесников А. И. Декоративная дендрология. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Лесн. пром-сть, 1974. – 704 с.
2. Баранова О. Г., Падерина Л. А., Науменко Н. И. Виды и сорта сирени (*Syringa* L., Oleaceae), культивируемые в Учебном ботаническом саду Удмуртского государственного университета // *Syringa* L. : коллекция, выращивание, использование: сб. ст. – СПб., 2020. – С. 13–17.
3. Окунева И. Б., Михайлова Н. Л., Демидов А. С. Сирень: коллекция ГБС РАН : история и современное состояние. – М. : Наука, 2008. – 174 с.
4. Полякова Н. В., Путенихин В. П., Вафин Р. В. Сирени в Башкирском Предуралье: интродукция и биологические особенности. – Уфа : АН РБ Голем, 2010. – 164 с.
5. Пшеничкова Л. М. Сирени, культивируемые в Ботаническом саду-институте ДВО РАН. – Владивосток : Дальнаука, 2007. – 111 с.
6. Растения природной флоры в Главном ботаническом саду им. Н. В. Цицина РАН : 65 лет интродукции / отв. ред. А. С. Демидов. – М. : Тов-во научных изданий КМК, 2013. – 657 с.
7. Рубцов Л. И., Михайлов Н. Л., Жоголева В. Г. Виды и сорта сирени, культивируемые в СССР : каталог-справочник. – Киев : Наук.Думка, 1980. – 128 с.
8. Бейдемман И. Н. Методика фенологических наблюдений при геоботанических исследованиях. – М. : Изд-во АН СССР, 1954. – 130 с.
9. Тишкина Е. А., Семкина Л. А. Исторические аспекты создания коллекции *Syringa* в Ботаническом саду УрО РАН г. Екатеринбурга // *Syringa* L. : коллекции, выращивание, использование. – СПб., 2020. – С. 143–144.

References

1. Kolesnikov A. I. Decorative dendrology. – 2nd ed., Rev. and add. – Moscow : Forest Industry, 1974. – 704 p.
2. Baranova O. G., Paderina L. A., Naumenko N. I. Species and sorts of *Syringa* (*Syringa* L., Oleaceae) cultivated in the Educational Botanical Garden of the Udmurt State University // *Syringa* L. : collection, cultivation, use: collection. articles. – St. Petersburg, 2020. – P. 13–17.
3. Okuneva I. B., Mikhailova N. L., Demidov A. S. *Syringa* : collection of GBS RAS: history and current state. – Moscow : Nauka, 2008. – 174 p.
4. Polyakova N. V., Putenikhin V. P., Wafin R. V. *Syringa* in the Bashkir Urals : introduction and biological features. – Ufa : AN RB Golem, 2010. – 164 p.
5. Pshennikova L. M. *Syringa* cultivated in the Botanical Garden-Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences. – Vladivostok : Dalnauka, 2007. – 111 p.

6. Plants of natural flora in the Main Botanical Garden. N.V. Tsitsin Russian Academy of Sciences: 65 years of introduction. / ed. by A. S. Demidov. – Moscow : Partnership of Scientific Publishing KMK, 2013. – 657 p.

7. Rubtsov L. I., Mikhailov N. L., Zhogolev V. G. Species and sorts of *Syringa* cultivated in the USSR : reference catalog. – Kiev : Nauk.Dumka, 1980. – 128 p.

8. Beideman I. N. Methods of phenological observations in geobotanical studies. – Moscow : Publishing house of the Academy of Sciences of the USSR, 1954. – 130 p.

9. Tishkina E. A., Semkina L. A. Historical aspects of the creation of the *Syringa* collection in the Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences Yekaterinburg // *Syringa* L. : collections, cultivation, use. – St. Petersburg, 2020. – P. 143–144.

Информация об авторах

Е. А. Тишкина – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;

И. А. Кожухина – студент.

Information about the authors

A. T. Elena – candidate of agricultural sciences, associate professor;

I. A. Kozhukhina – student.

Статья поступила в редакцию 19.11.2021; принята к публикации 03.12.2021.

The article was submitted 19.11.2021; accepted for publication 03.12.2021.
