



ISSN 2218-7545

3 (70)

2019

ЛЕСА РОССИИ И ХОЗЯЙСТВО В НИХ



**Редакционный совет:**

Е. П. Платонов – председатель редакционного совета,
главный редактор
М. В. Газеев – 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 Л. А. Белова

Материалы для публикации подаются ответственному
за выпуск журнала И. А. Панину
(контактный телефон 8 (952) 743-44-87
или в РИО (контактный телефон +7 (343) 262-96-10),
e-mail: paninia@m.usfeu.ru

Подписано в печать 20.09.19.
Дата выхода в свет 27.09.2019.
Формат 60 × 84 1/8. Печать офсетная.
Уч.-изд. л. 9,27. Усл. печ. л. 10,7.
Тираж 100 экз. (1-й завод 40 экз.). Бесплатно. Заказ №

Учредитель: ФГБОУ ВО «Уральский государственный
лесотехнический университет»
620100, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37
тел.: 8 (343) 262-96-10. Редакционно-издательский отдел

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», 2019

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, лесопромышленного комплекса и смежных с ними отраслей (экономики и организации 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 должно быть информативным. В заглавии можно использовать 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 исследований);
 - 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 источников.

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 редакторе 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 которые 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 таблицы 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 ведущие 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 листа, подписанную на обороте последнего листа всеми авторами, с указанием даты сдачи материала. Материалы, присланные в полном объеме по электронной почте, дублировать на бумажных носителях не обязательно. Адрес электронной почты – 9502011169@mail.ru (Бачурина Анна Владимировна);
 - иллюстрации к статье (при наличии);
 - рецензию;
 - авторскую справку или экспертное заключение;
 - согласие на публикацию статьи и персональных данных.
6. Фотографии авторов не требуются.

Содержание

Усольцев В. А., Уразова А. Ф., Борников А. В., Цепордей И. С. Видоспецифичная аллометрия и «всеобщая» модель структуры надземной биомассы рода <i>Prunus</i> L.: мета-анализ	4
Оплетаев А. С., Жигулин Е. В., Косов В. А. Использование вегетационного индекса NDVI для оценки состояния лесных насаждений на нарушенных землях	15
Усольцев В. А., Уразова А. Ф., Борников А. В. О продуктивности ассимиляционного аппарата древостоев в градиенте загрязнений от Карабашского медеплавильного комбината: сравнительный анализ сосны и берёзы . . .	23
Белов Л. А., Шалаев И. В. Сохранность подроста предварительной генерации после разработки лесосек многооперационной техникой	30
Коровякова Т. А., Абрамова Л. П., Магасумова А. Г., Зейналова М. Н. Влияние зарастания древесной растительности, вышедшей из-под сельскохозяйственного пользования пашни, на почву	40
Алесенков Ю. М., Андреев Г. В., Иванчиков С. В., Белов Л. А., Чермных А. И. О влиянии ветровала на соотношение диаметров и высот в длительно-производном березняке хвощово-вейниковом	48
Кищенко И. Т. Рост и развитие видов <i>Асер</i> (<i>Асерасеае</i>), интродуцированных в таежную зону (Карелия) .	58
Мурашов А. Ф., Капралов А. В. Оценка воздействия ферросплавного завода на лесные экосистемы методами биоиндикации	70
Мехренцев А. В., Корж М. А. Теплогенерация на основе древесного топлива как база для повышения энергоэффективности в лесопромышленном производстве	78
Залесов С. В. Выдающийся геоботаник и фитогеограф (к 100-летию со дня рождения П.Л. Горчаковского)	87

Содержание

<i>Usoltsev V. A., Urazova A. F., Bornikov A. V., Tsepordey I. S.</i> Species-specific allometry and a generic model of the aboveground biomass structure of the genus <i>Prunus</i> L.: a meta-analysis	5
<i>Opletaev A., Zhigulin E., Kosov V.</i> Using the NDVI vegetation index to assess the state of forest plantations on disturbed land	16
<i>Usoltsev V. A., Urazova A. F., Bornikov A. V.</i> On the productivity of the assimilation apparatus of forests in the pollution gradient from the Karabash copper smelter: comparative analysis of pine and birch	24
<i>Belov L. A., Shalaev I. V.</i> Preservation of pre-generation undergrowth after development of cutting areas with multi-operation equipment	31
<i>Korovyakova T. A., Abramova L. P., Magasumova F. G., Zeinalova M. N.</i> the influence on soil woody vegetation, which came from the agricultural use of arable land	41
<i>Alesenkov Yu. M., Andreev G. V., Ivanchikov S. V., Belov L. A., Chermnykh A. I.</i> About influence of windfall to correlation between diameter and hight in long-term secondary horse-tail and reed-grass birch stand	49
<i>Kishchenko I. T.</i> Growth and development of Acer species (Aceraceae) introduced to the secret area (Karelia)...	59
<i>Murashov A. F., Kapralov A. V.</i> Evaluation of the exposure to a ferroalloy plant for forest ecosystems by bioindication methods	71
<i>Mekhrentsev A. V., Korzh M. A.</i> Heat generation based on wood fuel as a basis for improving energy efficiency in the timber industry	78

УДК 630*524.39+630*174.754

ВИДОСПЕЦИФИЧНАЯ АЛЛОМЕТРИЯ И «ВСЕОБЩАЯ» МОДЕЛЬ СТРУКТУРЫ НАДЗЕМНОЙ БИОМАССЫ РОДА *PRUNUS L.*: МЕТА-АНАЛИЗ

В. А. УСОЛЬЦЕВ – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры прикладной информатики, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», 620100, Россия, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37
главный научный сотрудник
ФГБУН «Ботанический сад Уральского отделения РАН», 620144, Россия, Екатеринбург, ул. 8 марта, 202а,
тел.: 8 (343) 254 61 59, e-mail: Usoltsev@mail.ru

А. Ф. УРАЗОВА – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры технологии и оборудования лесопромышленного производства ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», 620100, Россия, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37,
тел.: 8 (343) 254 61 59, e-mail: ura-alina@mail.ru

А. В. БОРНИКОВ – кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный аграрный университет», 460014, Россия, Оренбург, ул. Челюскинцев, 18
тел.: 8 (353) 277 71 94, e-mail: bornikov87@mail.ru

И. С. ЦЕПОРДЕЙ – младший научный сотрудник ФГБУН «Ботанический сад Уральского отделения РАН» 620144, Россия, Екатеринбург, ул. 8 марта, 202а,
тел.: 8-904-177-93-63, e-mail: Usoltsev@mail.ru

Ключевые слова: род *Prunus L.*, черемуха, аллометрические модели, мета-анализ, биомасса деревьев, фракционный состав, обобщенная модель.

Нарастающие катастрофические сценарии последствий глобального потепления определяют актуальность оценки углероддепонирующей способности планетарной растительности, причем не только на лесопокрытых площадях, но и на урбанизированных территориях. Поэтому исследование структуры биомассы древесных и кустарниковых растений, культивируемых в зелёных насаждениях, имеет важное значение для улучшения среды обитания как на урбанизированных территориях, так и в целом на планете, однако имеющиеся сведения о структуре биомассы таких растений крайне скудны. Объектом нашего исследования явились шесть видов рода *Prunus L.*, для которых ранее в пяти странах были опубликованы аллометрические модели биомассы, характеризующиеся высокими коэффициентами детерминации. Однако насколько применима каждая такая модель, рассчитанная для данного вида в данном регионе, для оценки биомассы этого же вида в данном регионе или другого вида в другом регионе, неизвестно. Для снятия этой неопределенности нами применен мета-анализ как статистическая процедура, объединяющая результаты нескольких независимых исследований с целью нахождения общей закономерности. В результате получена обобщающая модель фракционного состава биомассы рода *Prunus*, которая характеризуется высокими коэффициентами детерминации и может быть применена для оценки структуры биомассы для любого вида данного рода с известным диапазоном отклонений от расчетных значений.

SPECIES-SPECIFIC ALLOMETRY AND A GENERIC MODEL OF THE ABOVEGROUND BIOMASS STRUCTURE OF THE GENUS *PRUNUS* L.: A META-ANALYSIS

V. A. USOLTSEV – doctor of agricultural sciences, professor
Ural State Forest Engineering University,
Botanical Garden of Ural Branch of RAS

A. F. URAZOVA – candidate of agricultural sciences
Ural State Forest Engineering University

A. V. BORNIKOV – candidate of agricultural sciences,
Orenburg State Agrarian University

I. S. TSEPORDEY – junior researcher
Botanical Garden of Ural Branch of RAS

Keywords: *genus Prunus L., allometric models, meta-analysis, tree biomass, component composition, generic model.*

Increasing catastrophic scenarios of global warming consequences determine the relevance of assessing the carbon-depositing capacity of planetary vegetation, not only in forested areas, but also in urbanized territories. In this regard, the study of the biomass structure of woody and shrub plants cultivated in urbanized territories is becoming of increasingly important, but the available information upon the biomass structure of such plants is extremely scarce. The objects of our study are six species of the genus *Prunus* L., for which allometric models of biomass characterized by high determination coefficients were previously published in five countries. However, it is not known, how applicable each such model calculated for a given species in a given region, for estimating the biomass of the same species in the same region or another species in another region. To remove this uncertainty, we used meta-analysis as a statistical procedure that combines the results of several independent studies to find a common pattern. As a result, the generic model of the biomass component composition of the genus *Prunus* is obtained, which is characterized by high determination coefficients and can be used to estimate the biomass structure for any species of this genus with the known range of deviations from the theoretical values.

Введение

Во всем мире с целью смягчения последствий климатических изменений интенсивно проводится оценка биомассы и биологической продукции лесных деревьев, депонирующих атмосферный углерод. Поскольку нарастающие климатические изменения порождают ожидания катастрофических сценариев для планетарной биоты [1], исследования биосферной роли зеленых растений постепенно охватывают не только лесные территории, но и земли сельскохозяйственно-го пользования [2, 3, 4], а также

лесопарковое хозяйство городов [5, 6, 7]. Наряду с этим зеленые насаждения городов играют значительную санитарно-гигиеническую и экологическую роль [7, 8, 9, 10, 11, 12], особенно важную в условиях прогрессирующей урбанизации территорий. Поэтому исследование структуры биомассы древесных и кустарниковых растений, культивируемых в зелёных насаждениях, приобретает все возрастающее значение [13].

Имеются по меньшей мере два способа обобщения научных результатов. Один из традицион-

ных подходов состоит в том, что некий авторитетный эксперт пишет обзорную статью, анализируя текущее состояние знаний и предлагая направления будущих исследований. Второй подход представлен мета-анализом, который преследует ту же цель, но его методология имеет количественную основу [14, 15].

Исходные фактические данные о биомассе деревьев, получаемые исследователями на пробных площадях, в научной печати публикуются крайне редко. Обычно подобная информация представлена в виде аллометрических

уравнений биомассы. Обобщение подобных уравнений на основе количественных методов относится к категории мета-анализа как «анализа анализов» или статистического обобщения результатов независимых исследований с целью нахождения общих закономерностей [16]. Несмотря на критику мета-анализа, характеризующую его как «гигантский шаг назад», «упражнение в мегалупости» и «статистическую алхимию XXI века», количество публикаций с применением мета-анализа непрерывно нарастает, сторонники мета-анализа называют его «волной в будущее», а область его применения охватывает диапазон от «астрономии до зоологии» [17, 18].

Известно строгое и устойчивое аллометрическое соотношение между биомассой дерева и его диаметром [19, 20]. Проводятся интенсивные исследования применимости так называемых «всеобщих» аллометрических моделей (generic, generalized, common models), которые обеспечивали бы аллометрической модели приемлемую точность при оценке биомассы деревьев в любых условиях произрастания [21, 22]. Хотя то или иное всеобщее уравнение характеризуется высокими показателями адекватности, в наших предыдущих работах показано, что его использование при определении биомассы деревьев ели [23] и лиственницы [24] в локальных географических регионах даёт существенные смещения. Сегодня мнения исследователей разделились: одни считают некорректной экстра-

поляцию обобщённых моделей биомассы на другие регионы [22, 25], другие единодушны в выводе о возможном широком использовании обобщённых уравнений зависимости биомассы лишь от диаметра ствола [26, 27, 28, 29, 30].

В нашем исследовании принята попытка моделирования и анализа видоспецифичных и «всеобщих» аллометрических уравнений биомассы на примере различных видов рода *Prunus* L. с использованием как первичных данных, так и опубликованных аллометрических уравнений с применением процедуры мета-анализа.

Prunus — род растений семейства Rosaceae, включает около 250 видов, распространённых главным образом в северных умеренных областях земного шара (<http://www.theplantlist.org/1.1/browse/A/Rosaceae/Prunus/>). Многие представители рода — широко известные плодовые культуры. В русскоязычной литературе представителями рода *Prunus* являются: вишня (*P. cerasus* L.), слива домашняя (*P. domestica* L.), персик (*P. persica* L.), абрикос обыкновенный (*P. armeniaca* L.), миндаль обыкновенный (*P. dulcis* Mill.), черешня (*P. avium* L.), черёмуха обыкновенная (*P. padus* L.), алыча (*P. divaricata* L.) и др.

Объекты и методы исследований

Объектом исследования явились шесть видов рода *Prunus* L. Исходные данные для мета-анализа структуры биомассы

деревьев представлены опубликованными исходными материалами для видов *P. padus* L. (Западная Сибирь) [31] и *P. ssiiori* F. Schmidt (Япония) [32, 33] и опубликованными аллометрическими уравнениями для видов *P. serotina* Ehrh. (Италия) [34], *P. avium* L. (Германия) [4], *P. virginiana* L. (США) [35, 36] и *P. pensylvanica* L. (США) [35, 36, 37] (табл. 1).

В табл. 1 приведены значения регрессионных коэффициентов a и b , а также коэффициентов детерминации $adjR^2$ аллометрических уравнений, имеющих вид

$$\ln P_i = a + b \ln D, \quad (1)$$

где P_i — биомасса i -й фракции (листва, ветви, ствол) в абсолютно сухом состоянии, кг; D — диаметр ствола на высоте груди, см.

Фактические данные о биомассе *P. padus* и *P. ssiiori* обработаны по стандартной программе регрессионного анализа, и результаты расчета представлены в табл. 1.

Результаты и обсуждение

На рисунке показано графическое представление уравнения (1) по каждой фракции отдельно. Графики для надземной биомассы построены по значениям, полученным суммированием соответствующих расчетных значений. Очевидно, что линии регрессии для разных видов рода *Prunus* L. укладываются в сравнительно узком координатном поле, особенно для биомассы стволов и надземной, где они визуальным образом практически неразличимы. Это создает предпосылку

Таблица 1

Table 1

Характеристика аллометрических уравнений (1) надземной биомассы рода *Prunus* L.
Characteristic of allometric equations (1) of above-ground biomass of the genus *Prunus* L.

Фракция биомассы Biomass components	Размер выборки Sample size	Диапазон диаметров, см Diameter range, cm	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>adjR</i> ² *
(1) Черёмуха обыкновенная, Западная Сибирь (<i>P. padus</i> L.). [31]					
Листва Foliage	8	0,5 – 6,0	–2,9651	1,2473	0,994
Ветви Branches	8	0,5 – 6,0	–2,5626	1,8727	0,987
Ствол Stem	8	0,5 – 6,0	–1,7626	1,6678	0,972
(2) Черёмуха поздняя, Северная Италия (<i>P. serotina</i> Ehrh.). [34]					
Листва	47	7–36	–4,6052	2,0100	0,907
Ветви	47	7–36	–4,6052	2,9300	–
Ствол	47	7–36	–1,7148	2,1200	–
(3) Черёмуха Съори, Япония (<i>P. ssiiori</i> F. Schmidt). [32, 33]					
Листва	12	3 – 18	–4,6840	1,9714	0,670
Ветви	12	3 – 18	–3,7402	2,3949	0,847
Ствол	12	3 – 18	–2,5628	2,4650	0,979
(4) Вишня птичья (черешня), Германия (<i>P. avium</i> L.). [4]					
Листва	–	–	–	–	–
Ветви	39	2 – 26	–4,6250	2,9650	0,969
Ствол	39	2 – 26	–2,2280	2,2900	0,988
(5) Черемуха виргинская, США (<i>P. virginiana</i> L.). [36]					
Листва	16	3 – 15	–3,4451	1,3356	0,749
Ветви	16	3 – 15	–2,1236	1,1932	0,742
Ствол	16	3 – 15	–2,1388	1,9936	0,918
(6) Черемуха виргинская, США (<i>P. virginiana</i> L.). [35]					
Листва	16	3 – 8	–3,4204	1,3307	0,595
Ветви	16	3 – 8	–2,1637	1,2191	0,560
Ствол	16	3 – 8	–2,1533	2,0038	0,848
(7) Черёмуха пенсильванская, США (<i>P. pensylvanica</i> L.) [36]					
Листва	30	3 – 24	–3,8971	2,0380	0,783
Ветви	30	3 – 24	–3,2040	1,9197	0,932
Ствол	30	3 – 24	–2,3528	2,2988	0,991
(8) Черёмуха пенсильванская, США (<i>P. pensylvanica</i> L.) [35]					
Листва	30	3 – 15	–3,9221	1,9784	0,904
Ветви	30	3 – 15	–3,1213	1,8755	0,871
Ствол	30	3 – 15	–2,3465	2,2988	0,982
(9) Черёмуха пенсильванская, США (<i>P. pensylvanica</i> L.) [37]					
Листва	6	6 – 42	–4,5488	1,9130	0,946
Ветви	6	6 – 42	2,5370	2,5170	0,925
Ствол	6	6 – 42	4,7390	2,2890	0,997

* *adjR*² – коэффициент детерминации, скорректированный на число параметров.

для расчета «всеобщей» аллометрической модели.

Все аллометрические уравнения табл. 1 протабулированы по задаваемым значениям диаметра ствола и полученные матрицы мета-данных отдельно для листьев, ветвей, ствола и надземной части дерева обработаны по программе регрессионного анализа согласно функции Корсуня – Бакмана [38, 39].

$$\ln P_i = a + b \ln D + c (\ln D)^2. \quad (2)$$

Названная функция отличается от простой аллометрии (1) введением дополнительной независи-

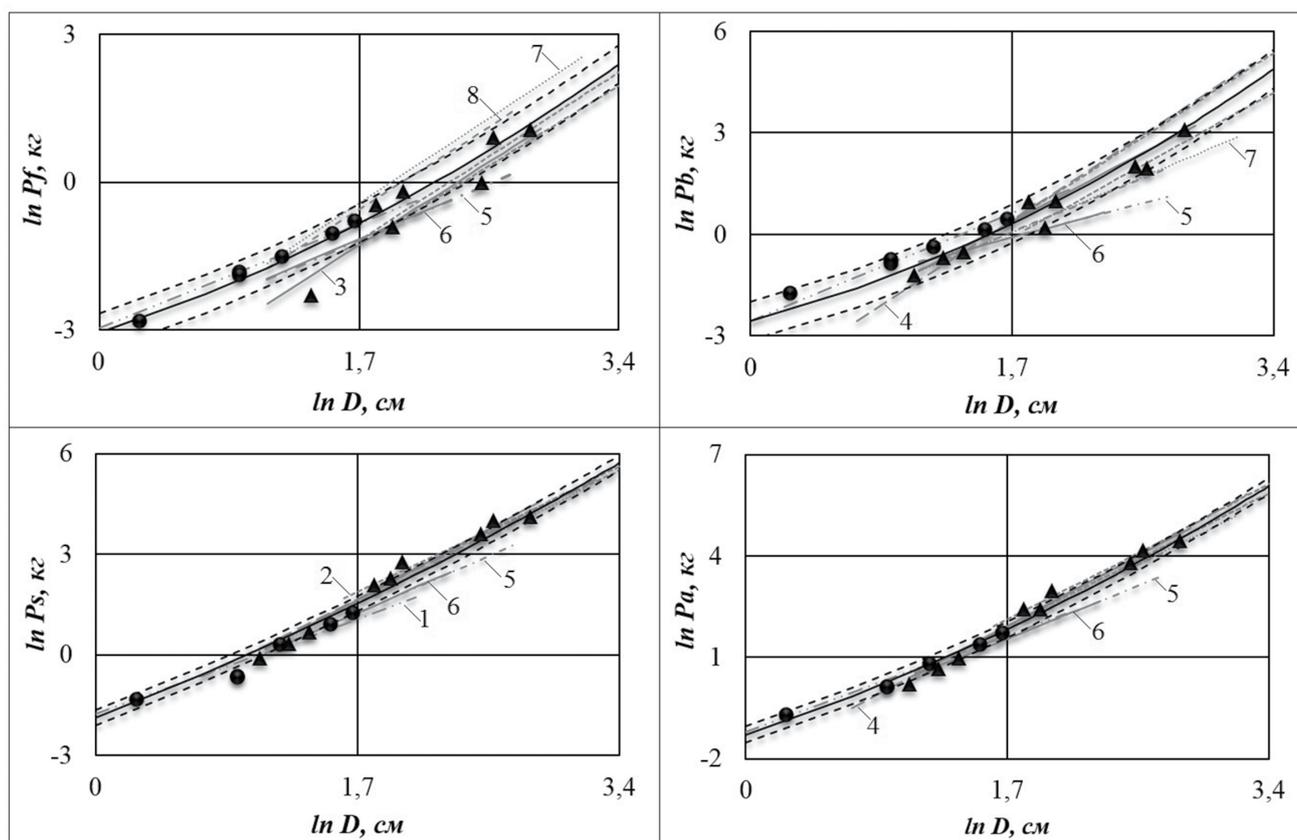
мой переменной $(\ln D)^2$. Это вызвано тем, что в аллометрической модели константа масштабирования (аллометрическая константа) изменяется по мере увеличения размера дерева [40]: у мелких деревьев замер диаметра на высоте груди смещается к апексу, и тем самым простое аллометрическое соотношение становится нелинейным в логарифмических координатах (см. рисунок).

Характеристика полученных «всеобщих» уравнений дана в табл. 2.

Все константы в табл. 2 характеризуются высокой степенью

адекватности на уровне вероятности $P_{0,99}$. Зависимость средних значений соответствующих фракций от диаметра ствола показана на рисунке сплошной жирной линией, а стандартная ошибка уравнения – пунктирной.

Процедура логарифмирования выравнивает остаточную дисперсию, делая ее более равномерной. В исходных (арифметических) координатах дисперсия неоднородна, т. е. наибольшие отклонения от теоретической линии регрессии наблюдаются у крупных деревьев, и эти отклонения уменьшаются по мере



Зависимость фракций биомассы (P_i , кг) деревьев различных видов рода *Prunus* от диаметра ствола на высоте груди (D , см) в логарифмических координатах. P_f , P_b , P_s и P_a – соответственно биомасса листьев, ветвей, ствола и надземная. Цифрами обозначены лишь те виды, линии регрессии которых распознаваемы на рисунке (см. табл. 1). Фактические данные для *P. padus* обозначены кружками, а для *P. ssiiori* – треугольниками

Dependence of biomass components (P_i , kg) of trees of different species of the genus *Prunus* on the stem diameter at breast height (D , cm) in logarithmic coordinates. P_f , P_b , P_s and P_a are the biomass of foliage, branches, stems and aboveground, respectively. Numbers indicate the species of the genus *Prunus* presented in the Table. 1. The actual data for *P. quadus* are indicated by circles, and for *P. ssiiori* by triangles

снижения величины диаметра ствола на высоте груди. Поскольку при практическом использовании уравнений (2) представляют интерес фактические, а не логарифмированные отклонения (см. рисунок), в табл. 3 представлены результаты табулирования

уравнений (2), приведенные к исходным единицам измерения, где M означает средний тренд, $+\sigma$ и $-\sigma$ – соответственно верхнее и нижнее стандартные отклонения, которые одинаковы в логарифмических единицах, но становятся неравными после ре-

трансформации к исходным единицам.

Из данных табл. 3 видно, что отклонения биомассы от теоретических значений существенно возрастают по мере увеличения диаметра ствола, однако в %-ном выражении этого не происходит.

Таблица 2

Table 2

Характеристика «всеобщих» уравнений (2) надземной биомассы рода *Prunus*
Characteristic of generic equations (2) of above-ground biomass of the genus *Prunus*

Фракция биомассы Biomass components	a	b	c	$adjR^2$	Стандартная ошибка Standard error of equation
Листва Foliage	-3,0599	1,0088	0,1752	0,919	1,47
Ветви Branches	-2,5579	1,1951	0,2919	0,906	1,77
Ствол Stem	-1,8729	1,7678	0,1361	0,984	1,25
Надземная Aboveground	-1,2870	1,5036	0,1936	0,982	1,27

Таблица 3

Table 3

Расчетные зависимости фракций биомассы деревьев рода *Prunus* от диаметра ствола с соответствующими стандартными отклонениями

Theoretical dependences of tree biomass components of the genus *Prunus* upon the stem diameter with corresponding standard deviations

D , см D , cm	Масса листвы, кг Foliage mass, kg			Масса ветвей, кг Branch mass, kg			Масса ствола, кг Stem mass, kg			Надземная масса, кг Aboveground mass, kg		
	M	$+\sigma$	$-\sigma$	M	$+\sigma$	$-\sigma$	M	$+\sigma$	$-\sigma$	M	$+\sigma$	$-\sigma$
2	0,10	0,15	0,07	0,20	0,36	0,11	0,56	0,70	0,45	0,86	1,09	0,68
4	0,27	0,39	0,18	0,71	1,26	0,40	2,32	2,90	1,85	3,22	4,08	2,54
6	0,50	0,74	0,34	1,68	2,98	0,95	5,7	7,1	4,5	7,60	9,6	6,0
8	0,81	1,2	0,55	3,3	5,8	1,9	11,0	13,7	8,8	14,5	18,4	11,5
10	1,2	1,8	0,82	5,7	10,1	3,2	18,6	23,2	14,8	24,6	31,1	19,4
12	1,7	2,5	1,2	9,1	16,2	5,2	28,9	36,1	23,1	38,3	48,5	30,2
14	2,3	3,3	1,5	13,8	24,5	7,8	42,2	52,8	33,7	56,2	71,3	44,3
16	2,9	4,3	2,0	20,1	35,5	11,3	59,0	73,8	47,1	79,0	100	62,3
18	3,7	5,5	2,5	28,1	49,6	15,9	79,6	99,5	63,6	107	136	84,7
20	4,6	6,8	3,2	38,1	67,5	21,6	104	130	83,3	142	180	112
22	5,7	8,3	3,8	50,6	89,6	28,6	134	167	107	183	232	144
24	6,8	10,0	4,6	65,9	116	37,3	168	210	134	232	294	183
26	8,0	11,8	5,5	84,3	149	47,6	207	259	166	289	366	228
28	9,5	13,9	6,4	106	188	60,0	253	316	202	355	450	280
30	11,0	16,2	7,5	132	233	74,7	304	380	243	431	547	340

Независимо от толщины ствола отклонения составляют: для массы листвы – от +45 до –32 %, для массы ветвей – от +76 до –43 %, для массы ствола – от +25 до –20 % и для надземной массы – от +27 до –21 %.

Уравнения для разных видов рода *Prunus* характеризуются довольно высоким коэффициентом детерминации и объясняют от 60 до 90 % изменчивости массы листвы, от 56 до 99 % – ветвей и от 85 до 99 % – стволов (см. табл. 1). Однако какие отклонения от теоретических значений дают приведенные в табл. 1 уравнения, неизвестно. Полученная обобщенная для рода *Prunus* модель харак-

теризуется не только высокими коэффициентами детерминации (92, 91 и 98 % соответственно для массы листвы, ветвей и ствола), но и диапазонами отклонений, которые можно иметь при оценке биомассы деревьев рода *Prunus*, независимо от видовой принадлежности.

Выводы

1. Имеющиеся в литературе данные о структуре биомассы деревьев рода *Prunus* представлены в основном видоспецифичными аллометрическими моделями, характеризуемыми довольно высокими коэффициентами детерминации.

2. Насколько применима каждая из ранее опубликованных моделей, рассчитанных для данного вида в данном регионе, для оценки биомассы этого же вида в данном регионе или другого вида в другом регионе, было неизвестно.

3. Предложенная обобщенная модель для биомассы деревьев в пределах рода *Prunus* характеризуется высокими коэффициентами детерминации и может быть применена для оценки структуры биомассы для любого вида данного рода с известным диапазоном отклонений от расчетных значений.

Библиографический список

1. Ripple, W. J. World Scientists' Warning of a Climate Emergency / W. J. Ripple, Ch. Wolf, T. M. Newsome, P. Barnard, W. R. Moomaw et al. // *BioScience*. – 2019. – biz088. DOI:10.1093/biosci/biz088.
2. Kumar, B. M. Carbon sequestration potential of agroforestry systems: Opportunities and challenges / B. M. Kumar, P. K. R. Nair (Eds.) // Springer, Dordrecht ; Heidelberg ; London ; New York, 2011. – 307 p. – DOI: 10.1007/978-94-007-1630-8.
3. Lorenz, K. Soil organic carbon sequestration in agroforestry systems: A review / K. Lorenz, R. Lal // *Agronomy for Sustainable Development*. – 2014. – Vol. 34. – No. 2. – P. 443–454. – DOI: 10.1007/s13593-014-0212-y.
4. Aboveground woody biomass allocation and within tree carbon and nutrient distribution of wild cherry (*Prunus avium* L.) – a case study / C. Morhart, J. P. Sheppard, J. K. Schuler, H. Spiecker // *Forest Ecosystems*. – 2016. – Vol. 3: 4. – DOI: 10.1186/s40663-016-0063-x.
5. Чернышенко, О. В. Поглотительная способность и устойчивость древесных растений в озеленении Москвы / О. В. Чернышенко // *Городское хозяйство и экология*. – 1996. – № 1. – С. 37–39.
6. Бабурин, А.А. Оценка экологической значимости зеленых насаждений / А. А. Бабурин, Г. Ю. Морозова // *Вестник Тихоокеанского государственного университета*. – 2009. – Т. 14. – № 3. – С. 63–70.
7. Лебедев, А.В. Динамика продуктивности и средообразующих свойств древостоев в условиях городской среды (на примере Лесной опытной дачи Тимирязевской академии) : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук : 06.03.02 / Лебедев Александр Вячеславович. – Москва : Санкт-Петербургский гос. лесотехн. ун-т им. С. М. Кирова, 2019. – 20 с.
8. Сергейчик, С. А. Газопоглотительная способность растений и аккумуляция в них элементов промышленных загрязнений / С. А. Сергейчик // *Оптимизация окружающей среды средствами озеленения*. – Минск : Наука и техника, 1985. – С. 68–75.
9. Скрипальщикова, Л. Н. Пылеаккумулирующая способность сосновых и березовых фитоценозов лесостепных районов Сибири / Л. Н. Скрипальщикова // *География и природные ресурсы*. – 1992. – № 1. – С. 39–44.

10. Санитарно-защитные зоны промышленных объектов Екатеринбурга и опыт использования липы мелколистной для их озеленения / Л. И. Аткина, Г. В. Агафонова, А. Л. Агафонова, И. В. Осипов // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2008. – № 3. – С. 24–27.
11. Прусаченко, А. В. Экотоксикологическая оценка загрязнений тяжелыми металлами урбаноземов города Курска : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук : 03.02.08 / Прусаченко Андрей Викторович. – Москва : Моск. с.-х. акад. им. К. А. Тимирязева, 2011. – 20 с.
12. Бачурина, А. В. Оценка качества среды на территории г. Новотроицка Оренбургской области по состоянию березы повислой / А. В. Бачурина, Е. А. Куликова // Леса России и хозяйство в них. – 2019. – Вып. 2 (69). – С. 30–37.
13. Аткина, Л. И. Особенности формирования надземной фитомассы яблони ягодной (*Malus baccata* L.) и боярышника кроваво-красного (*Crataegus sanguinea* L.) в городских посадках Екатеринбурга / Л. И. Аткина, М. В. Игнатова // Леса России и хозяйство в них. – 2009. – Вып. 4 (34). – С. 52–58.
14. Iyengar, S. Much ado about meta-analysis / S. Iyengar // Chance : New directions for statistics and computers. – 1991. – Vol. 4. – P. 33–40.
15. Nakagawa, S. Meta-analytic insights into evolutionary ecology: An introduction and synthesis / S. Nakagawa, R. Poulin // Evolutionary Ecology. – 2012. – Vol. 26. – P. 1085–1099. – DOI: 10.1007/s10682-012-9593-z.
16. Проблемы оценки биопродуктивности лесов в аспекте биогеографии : 1. Мета-анализ как способ обобщения результатов независимых исследований / В. А. Усольцев, С. О. Р. Шубаири, Дж. А. Дар, В. П. Часовских, Е. В. Марковская // Эко-потенциал. – 2017в. – № 4 (20). – С. 10–34. – URL: http://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/7016/1/ek-4-17_03.pdf
17. Petticrew, M. Systematic reviews from astronomy to zoology : myths and misconceptions / M. Petticrew // British Medical Journal. – 2001. – Vol. 322. – P. 98–101.
18. Козлов, М. В. Воздействие точечных источников эмиссии поллютантов на наземные экосистемы: представление результатов в публикациях / М.В. Козлов, Е.Л. Воробейчик // Экология. – 2012. – № 4. – С. 43–251.
19. Кофман, Г. Б. Рост и форма деревьев / Г. Б. Кофман. – Новосибирск : Наука, 1986. – 211 с.
20. Forest biomass allometry in global land surface models / A. Wolf, P. Ciais, V. Bellassen, N. Delbart, C. B. Field, J. A. Berry // Global Biogeochemical Cycles. – 2011. – Vol. 25. – Issue 3. – GB3015. – P. 1–16. DOI:10.1029/2010GB003917.
21. Enquist, B.J. Global allocation rules for patterns of biomass partitioning in seed plants / B. J. Enquist, K. J. Niklas // Science. – 2002. – Vol. 295 (5559). – P. 1517–1520. – DOI: 10.1126/science.1066360.
22. Wirth, C. Generic biomass functions for Norway spruce in Central Europe – a meta-analysis approach toward prediction and uncertainty estimation / C. Wirth, J. Schumacher, E.-D. Schulze // Tree Physiology. – 2004. – Vol. 24. – P. 121–139. – DOI: 10.1093/treephys/24.2.121.
23. Усольцев, В. А. Фиктивные переменные и смещения всеобщих аллометрических моделей при локальной оценке фитомассы деревьев (на примере *Picea* L.) / В. А. Усольцев, К. В. Колчин, М. П. Воронов // Эко-потенциал. – 2017а. – № 1 (17). – С. 22–39. – URL: <http://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/6502/1/eko-17-02.pdf>
24. Усольцев, В. А., Смещения всеобщих аллометрических моделей при локальной оценке фитомассы деревьев лиственницы / В. А. Усольцев, К. В. Колчин, А. А. Маленко // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2017б. – № 4 (150). – С. 85–90. – URL: <http://www.asau.ru/vestnik/2017/4/085-090.pdf>
25. Muukkonen, P. Biomass equations for European trees: Addendum / P. Muukkonen, R. Mäkipää // Silva Fennica. – 2006. – Vol. 40. – No. 4. – P. 763–773.
26. Tritton, L. M. Biomass estimation for northeastern forests / L. M. Tritton, J. W. Hornbeck // Bulletin of the Ecological Society of America. – 1981. – Vol. 62. – P. 106–107.

27. Pastor, J. Biomass prediction using generalized allometric regressions for some Northeast tree species / J. Pastor, J. D. Aber, J. M. Melillo // *Forest Ecology and Management*. – 1984. – Vol. 7. – P. 265–274.
28. Singh, T. Generalizing biomass equations for the boreal forest region of west-central Canada / T. Singh // *Forest Ecology and Management*. – 1986. – Vol. 17. – P. 97–107.
29. Feller, M. C. Generalized versus site-specific biomass regression equations for *Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii* and *Thuja plicata* in Coastal British Columbia / M. C. Feller // *Bioresource Technology*. – 1992. – Vol. 39. – P. 9–16.
30. Allometry and biomass of Korean pine (*Pinus koraiensis*) in central Korea / Y. Son, J. W. Hwang, Z. S. Kim, W. K. Lee, J. S. Kim // *Bioresource Technology*. – 2001. – Vol. 78. – P. 251–255.
31. Габеев, В. Н. Биологическая продуктивность лесов Приобья / В. Н. Габеев. – Новосибирск : Наука, 1976. – 171 с.
32. Land use and management of Japanese beech natural forests in east-northern district of Japan (Investigation of forest biomass and forest production) / M. Mori, M. Inuma, A. Sato, K. Saito // *Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council* : “Report of Comprehensive studies on conservation technology in agriculture, forestry, and Fishery environments”. – Report 5, 1979. – P. 83–93.
33. Stand biomass, net production and canopy structure in a secondary deciduous broad-leaved forest, northern Japan / K. Takahashi, K. Yoshida, M. Suzuki, T. Seino, T. Tani, N. Tashiro, T. Ishii, S. Sugata, E. Fujito, A. Naniwa, G. Kudo, T. Hiura, T. Kohyama // *Research Bulletin of the Hokkaido University Forests*. – 1999. – Vol. 56. – P. 70–85.
34. Biomass functions for the two alien tree species *Prunus serotina* Ehrh. and *Robinia pseudoacacia* L. in floodplain forests of Northern Italy / P. Annighöfer, I. Mölder, S. Zerbe, H. Kawaletz, A. Terwei, C. Ammer // *European Journal of Forest Research*. – 2012. – Vol. 131. – P. 1619–1635. – DOI: 10.1007/s10342-012-0629-2.
35. Ribe, J. H. Puckerbrush weight tables. Life Sciences and Agricultural Experiment Station / J. H. Ribe ; University of Maine, Orono, MN. Miscellaneous Report 152, 1973. – 92 p.
36. Young, H. E. Weight tables for tree and shrub species in Maine / H. E. Young, J. H. Ribe, K. Wainwright ; Life Sciences and Agriculture Experiment Station, University of Maine at Drone, Miscellaneous Report 230, 1980. – 84 p.
37. Busing, R. Biomass and production of southern Appalachian cove forests reexamined / R. Busing, E. Clebsch, P. White // *Canadian Journal of Forest Research*. – 1993. – Vol. 23. – P. 760–765. – DOI: 10.1139/x93-100.
38. Korsun, F. Zivot normalniho porostu ve vzorcich / F. Korsun // *Lesnická Práce*. – 1935. – Vol. 14. – P. 335–342.
39. Backman, G. Drei Wachstumsfunktionen (Verhulst’s, Gompertz’, Backman’s.) / G. Backman // *Wilhelm Roux’ Archiv für Entwicklungsmechanik der Organismen*. – 1938. – Vol. 138. – P. 37–58.
40. How does biomass allocation change with size and differ among species? An analysis for 1200 plant species from five continents / H. Poorter, A. M. Jagodzinski, R. Ruiz-Peinado, S. Kuyah, Y. Luo, J. Oleksyn, V. A. Usoltsev, T. N. Buckley, P. B. Reich, L. Sack // *New Phytologist*. – 2015. – Vol. 208. – Issue 3. – P. 736–749. DOI: 10.1111/nph.13571/epdf.

Bibliography

1. Ripple, W. J. World Scientists’ Warning of a Climate Emergency / W. J. Ripple, Ch. Wolf, T. M. Newsome, P. Barnard, W. R. Moomaw et al. // *BioScience*. – 2019. – biz088. DOI:10.1093/biosci/biz088.
2. Kumar, B. M. Carbon sequestration potential of agroforestry systems: Opportunities and challenges / B. M. Kumar, P. K. R. Nair (Eds.) // Springer, Dordrecht ; Heidelberg ; London ; New York. – 2011. – 307 p. – DOI: 10.1007/978-94-007-1630-8.

3. Lorenz, K. Soil organic carbon sequestration in agroforestry systems: A review / K. Lorenz, R. Lal // *Agronomy for Sustainable Development*. – 2014. – Vol. 34. – No. 2. – P. 443–454. – DOI: 10.1007/s13593-014-0212-y.
 4. Aboveground woody biomass allocation and within tree carbon and nutrient distribution of wild cherry (*Prunus avium* L.) – a case study / C. Morhart, J. P. Sheppard, J. K. Schuler, H. Spiecker // *Forest Ecosystems*. – 2016. – Vol. 3: 4. – DOI: 10.1186/s40663-016-0063-x.
 5. Chernyshenko, O. V. Absorption capacity and stability of woody plants in Moscow landscaping / O. V. Chernyshenko // *Uzban economy and ecology*. – 1996. – No. 1. – P. 37–39.
 6. Baburin, A. A. Assessment of the ecological significance of planting collard greens / A. A. Baburin, G. Yu. Morozova // *Bulletin of the Pacific State University*. – 2009. – Vol. 14. – No. 3. – P. 63–70.
 7. Lebedev, A. V. Dynamics of productivity and environment-forming properties of stands in the urban environment (on the example of a Forest experimental dacha of the Timiryazev Academy): PhD Thesis: 06.03.02. / Alexander Lebedev. – Moscow: St.-Petersburg State Forest Engineering University, 2019. – 20 p.
 8. Sergeychik, S. A. Gas-absorbing capacity of plants and accumulation of elements of industrial pollution in them / S. A. Sergeychik // *Optimization of the environment by means of gardening*. – Minsk : Nauka i Tekhnologiya, 1985. – P. 68–75.
 9. Skripalschikova, L. N. Dust-accumulating capacity of pine and birch phytocenoses of forest-steppe regions of Siberia / L. N. Skripalschikova // *Geography und natural resource*. – 1992. – No. 1. – P. 39–44.
 10. Sanitary protection zones of industrial objects of Yekaterinburg and experience of lime using for their gardening / L. I. Atkina, G. V. Agafonova, A. L. Agafonova, I. V. Osipov // *Bulletin of the Moscow State University of forest (Forest Bulletin)*. – 2008. – No. 3. – P. 24–27.
 11. Prusachenko, A. V. Ecotoxicological assessment of pollution with heavy metals of urban soils of the Kursk city : PhD Thesis: 03.02.08 / Prusachenko Andrey Viktorovich. Moscow : K. A. Timiryazev Moscow Agrarian Academy, 2011. – 20 p.
 12. Bachurina, A. V. Assessment of the quality of the environment on the territory of Novotroitsk, Orenburg region, according to the state of the *Betula pendula* / A. V. Bachurina, E. A. Kulikova // *Forests of Russia and Their Management*. – 2019. – Vol. 69. – No. 2. – P. 30–37.
 13. Atkina, L. I. Features of formation of aboveground phytomass of Apple berry (*Malus baccata* L.) and blood-red hawthorn (*Crataegus sanguinea* L.) in urban plantings of Yekaterinburg / L. I. Atkina, M. V. Ignatova // *Forests of Russia and Their Management*. – 2009. – Vol. 34. – No. 4. – P. 52–58.
 14. Iyengar, S. Much ado about meta-analysis / S. Iyengar // *Chance : New directions for statistics and computers*. – 1991. – Vol. 4. – P. 33–40.
 15. Nakagawa, S. Meta-analytic insights into evolutionary ecology: An introduction and synthesis / S. Nakagawa, R. Poulin // *Evolutionary Ecology*. – 2012. – Vol. 26. – P. 1085–1099. – DOI: 10.1007/s10682-012-9593-z.
 16. Problems of estimating forest bioproductivity in the aspect of biogeography: 1. Meta-analysis as a way of generalizing the results of independent researches / V. A. Usoltsev, S. O. R. Shobairi, J. A. Dar, V. P. Chasovskikh, E. V. Markovskaya // *Eko-Potencial*. – 2017. – Vol. 20. – No. 4. – P. 10–34. – URL: http://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/7016/1/ek-4-17_03.pdf
 17. Petticrew, M. Systematic reviews from astronomy to zoology : myths and misconceptions / M. Petticrew // *British Medical Journal*. – 2001. – Vol. 322. – P. 98–101.
 18. Kozlov, M. V. Impact of point polluters on terrestrial ecosystems: Presentation of results in publications / M. V. Kozlov, E. L. Vorobeychik // *Russian Journal of Ecology*. – 2012. – Vol. 43. – No. 4. – P. 265–272.
 19. Kofman, G. B. Growth and form of trees / G. B. Kofman. – Novosibirsk : Nauka, 1986. – 211 p.
 20. Forest biomass allometry in global land surface models / A. Wolf, P. Ciais, V. Bellassen, N. Delbart, C. B. Field, J. A. Berry // *Global Biogeochemical Cycles*. – 2011. – Vol. 25. – Issue 3. – GB3015. – P. 1–16. DOI:10.1029/2010GB003917.
-

21. Enquist, B.J. Global allocation rules for patterns of biomass partitioning in seed plants / B. J. Enquist, K. J. Niklas // *Science*. – 2002. – Vol. 295 (5559). – P. 1517–1520. – DOI: 10.1126/science.1066360.
 22. Wirth, C. Generic biomass functions for Norway spruce in Central Europe – a meta-analysis approach toward prediction and uncertainty estimation / C. Wirth, J. Schumacher, E.-D. Schulze // *Tree Physiology*. – 2004. – Vol. 24. – P. 121–139. – DOI: 10.1093/treephys/24.2.121.
 23. Usoltsev, V. A. Dummy variables and biases of allometric models when local estimating tree biomass (on an example of *Picea L.*) / V. A. Usoltsev, K. V. Kolchin, M. P. Voronov // *Eko-Potencial*. – 2017. – Vol. 17. – No. 1. – P. 22–39. – URL: <http://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/6502/1/eko-17-02.pdf>
 24. Usoltsev, V. A. Biases of generic allometric models for local estimation of larch tree phytomass / V. A. Usoltsev, K. V. Kolchin, A. A. Malenko // *Vestnik of the Altai State Agrarian University*. – 2017. – Vol. 150. – No. 4. – P. 85–90. – URL: <http://www.asau.ru/vestnik/2017/4/085-090.pdf>
 25. Muukkonen, P. Biomass equations for European trees: Addendum / P. Muukkonen, R. Mäkipää // *Silva Fennica*. – 2006. – Vol. 40. – No. 4. – P. 763–773.
 26. Tritton, L. M. Biomass estimation for northeastern forests / L. M. Tritton, J. W. Hornbeck // *Bulletin of the Ecological Society of America*. – 1981. – Vol. 62. – P. 106–107.
 27. Pastor, J. Biomass prediction using generalized allometric regressions for some Northeast tree species / J. Pastor, J. D. Aber, J. M. Melillo // *Forest Ecology and Management*. – 1984. – Vol. 7. – P. 265–274.
 28. Singh, T. Generalizing biomass equations for the boreal forest region of west-central Canada / T. Singh // *Forest Ecology and Management*. – 1986. – Vol. 17. – P. 97–107.
 29. Feller, M. C. Generalized versus site-specific biomass regression equations for *Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii* and *Thuja plicata* in Coastal British Columbia / M. C. Feller // *Bioresource Technology*. – 1992. – Vol. 39. – P. 9–16.
 30. Allometry and biomass of Korean pine (*Pinus koraiensis*) in central Korea / Y. Son, J. W. Hwang, Z. S. Kim, W. K. Lee, J. S. Kim // *Bioresource Technology*. – 2001. – Vol. 78. – P. 251–255.
 31. Gabeev, V.N. Biological productivity of forests near Ob river / V. N. Gabeev. – Novosibirsk: Nauka, 1976. – 171 p.
 32. Land use and management of Japanese beech natural forests in east-northern district of Japan (Investigation of forest biomass and forest production) / M. Mori, M. Inuma, A. Sato, K. Saito // *Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council* : “Report of Comprehensive studies on conservation technology in agriculture, forestry, and Fisheries environments”. – Report 5, 1979. – P. 83–93.
 33. Stand biomass, net production and canopy structure in a secondary deciduous broad-leaved forest, northern Japan / K. Takahashi, K. Yoshida, M. Suzuki, T. Seino, T. Tani, N. Tashiro, T. Ishii, S. Sugata, E. Fujito, A. Naniwa, G. Kudo, T. Hiura, T. Kohyama // *Research Bulletin of the Hokkaido University Forests*. – 1999. – Vol. 56. – P. 70–85.
 34. Biomass functions for the two alien tree species *Prunus serotina* Ehrh. and *Robinia pseudoacacia* L. in floodplain forests of Northern Italy / P. Annighöfer, I. Mölder, S. Zerbe, H. Kawaletz, A. Terwei, C. Ammer // *European Journal of Forest Research*. – 2012. – Vol. 131. – P. 1619–1635. – DOI: 10.1007/s10342-012-0629-2.
 35. Ribe, J. H. Puckerbrush weight tables. Life Sciences and Agricultural Experiment Station / J. H. Ribe; University of Maine, Orono, MN. Miscellaneous Report 152, 1973. – 92 p.
 36. Young, H. E. Weight tables for tree and shrub species in Maine / H. E. Young, J. H. Ribe, K. Wainwright; Life Sciences and Agriculture Experiment Station, University of Maine at Drone, Miscellaneous Report 230, 1980. – 84 p.
 37. Busing, R. Biomass and production of southern Appalachian cove forests reexamined / R. Busing, E. Clebsch, P. White // *Canadian Journal of Forest Research*. – 1993. – Vol. 23. – P. 760–765. – DOI: 10.1139/x93-100.
 38. Korsun, F. Zivot normalniho porostu ve vzorcich / F. Korsun // *Lesnická Práce*. – 1935. – Vol. 14. – P. 335–342.
-

39. Backman, G. Drei Wachstumsfunktionen (Verhulst's, Gompertz', Backman's.) / G. Backman // Wilhelm Roux' Archiv für Entwicklungsmechanik der Organismen. – 1938. – Vol. 138. – P. 37–58.

40. How does biomass allocation change with size and differ among species? An analysis for 1200 plant species from five continents / H. Poorter, A. M. Jagodzinski, R. Ruiz-Peinado, S. Kuyah, Y. Luo, J. Oleksyn, V. A. Usoltsev, T. N. Buckley, P. B. Reich, L. Sack // New Phytologist. – 2015. – Vol. 208. – Issue 3. – P. 736–749. DOI: 10.1111/nph.13571/epdf.

УДК 630*233

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕГЕТАЦИОННОГО ИНДЕКСА NDVI ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ НА НАРУШЕННЫХ ЗЕМЛЯХ

А.С. ОПЛЕТАЕВ – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент*,
тел.: 89090005389, e-mail: opletaev.ekb@yandex.ru

Е.В. ЖИГУЛИН – аспирант*,
e-mail: eugeny13@mail.ru

В. А. КОСОВ – магистр*,
e-mail: kosovmi@mail.ru

* ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,
620100, Россия, Екатеринбург, Сибирский тракт 37, кафедра лесоводства

Ключевые слова: геоинформационные системы, NDVI, нарушенные земли, лесная рекультивация, насаждение лесное, естественное лесовозобновление, искусственное лесовосстановление.

Проведено исследование данных спутниковых снимков высокого пространственного разрешения для оценки состояния лесных насаждений на нарушенных землях Свердловской области. Установлено, что применение вегетационного индекса NDVI позволяет успешно идентифицировать древесную растительность, произрастающую на отвалах вскрышных пород. Набор снимков в течение всего анализируемого года позволяет вычислить параметры активности вегетации древесной растительности на нарушенных землях. Объектом исследований являлась древесная растительность естественного происхождения, произрастающая на отвалах вскрышных пород ОАО «Уральский асбестовый горно-обогатительный комбинат». Отвалы формировались в период с 1991 по 1999 гг. На отвале «Восточный» заложены ПП № 1 (25,2 га) на верхней площадке и ПП № 2 (3,9 га) на склоне отвала. На отвале «Северо-Пролетарский» заложены ПП № 3 (4,9 га) на верхней площадке и ПП № 4 (7,8 га) на склоне отвала. Отсутствие травянистой растительности на изучаемых отвалах позволяет точно идентифицировать древесную растительность с помощью вегетационного индекса NDVI. В результате исследований установлено, что степень зарастания древесной растительностью составила от 61,6 до 69,4 % в зависимости от местоположения участка. Среднегодовая интенсивность вегетации лесных насаждений естественного происхождения на отвале «Восточный» характеризуется как средняя на всех высотных уровнях (ПП № 1 NDVI = 0,43; ПП № 2 NDVI = 0,33) а на отвале «Северо-Пролетарский» вегетация оценивается как высокая на склоне (ПП № 3 NDVI = 0,63) и хорошая на верхней площадке (ПП № 4 NDVI = 0,51). С помощью геоинформационных систем составлены карты и отражены зоны вегетации. Доля площади с низкой степенью вегетации (NDVI 0,2–0,3) наибольшая на склоне отвала (ПП № 2 – 38,4 %, ПП № 4 – 37,1 %). Данные о зонах с низкой степенью вегетации позволяют выявить локальные участки, лишенные растительности, для назначения мероприятий по рекультивации и планирования создания насаждений искусственным способом.

USING THE NDVI VEGETATION INDEX TO ASSESS THE STATE OF FOREST PLANTATIONS ON DISTURBED LAND

A. OPLETAEV – candidate of agricultural Sciences, assistant professor*
Tel.: 89090005389, e-mail: opletaev.ekb@yandex.ru

E. ZHIGULIN – postgraduate student*
e-mail: eugeny13@mail.ru

V. KOSOV – Magister*
e-mail: kosovmi@mail.ru

FSBEE HE «Ural State Forest Engineering University»,
620100, Russia, Yekaterinburg, Siberian tract 37, department of forestry

Keywords: *geographic information systems, NDVI, disturbed lands, forest reclamation, forest planting, natural reforestation, artificial reforestation.*

The data of satellite images of high spatial resolution was studied. The assessment of the state of forest plantations on disturbed lands in the Sverdlovsk region was studied. It was found that the use of the NDVI vegetation index allows us to successfully identify woody vegetation growing on the dumps of mountain quarries. A set of satellite images allows you to calculate the parameters of vegetation activity of woody vegetation on disturbed lands. The object of research was wood vegetation of natural origin growing on the dumps of the Ural asbestos mining and processing plant. The dumps were formed between 1991 and 1999. On the «Vostochnyj» dump, there are laid out inventory plot № 1 (25,2 ha) on the upper platform and inventory plot № 2 (3,9 ha) on the slope of the dump. On the «Severo-Proletarskyj» dump, there are laid out inventory plot № 3 (4,9 ha) on the upper platform and inventory plot № 4 (7,8 ha) on the slope of the dump. The absence of grassy vegetation on the studied dumps allows for accurate identification of woody vegetation using the NDVI vegetation index. As a result of research, it was found that the degree of overgrowth of woody vegetation ranged from 61,6 to 69,4 %, depending on the location of the site. The average annual vegetation intensity of forest stands of natural origin on the overburden dumps on the «Vostochnyj» dump is characterized as average at all high-altitude levels (inventory plot № 1 NDVI = 0,43; inventory plot № 2 NDVI = 0,33) and on the «Severo-Proletarskyj» dump vegetation is estimated as high on the slope (inventory plot № 3 NDVI = 0,63) and good on the upper platform (inventory plot № 4 NDVI = 0,51). With the help of geographic information systems maps have been drawn and reflected areas of vegetation. The share of the area with a low degree of vegetation (NDVI 0,2–0,3) is highest on the slope of the dump (inventory plot № 2–38,4 %, inventory plot № 4–37,1 %). Data on areas with a low degree of vegetation allows you to identify local areas that are devoid of vegetation for the purpose of reclamation activities and planning the creation of artificial plantings.

Введение

Изучение процессов восстановления растительности на нарушенных горными выработками землях является актуальным вопросом для Уральского региона [1–3]. По данным Росреестра, на территории Свердловской области площадь нарушенных земель, представленных

карьерными, выемками, отвалами, хранилищами горнодобывающих и перерабатывающих предприятий, торфоразработками, гарями, вырубками, а также нарушенных в результате сельскохозяйственного производства, мелиоративных работ и прокладки коммуникаций составляет 548,95 тыс. га [4].

Для оценки состояния растительности наиболее перспективным направлением исследований является анализирование спутниковых снимков высокого пространственного разрешения с оценкой интенсивности вегетации [5–7]. Дистанционный мониторинг процессов рекультивации нарушенных земель позволяет

своевременно оценить успешность естественного зарастания или назначить мероприятия по искусственному восстановлению растительности.

Цель, задачи, методика и объекты исследования

Исследования выполнялись с целью возможности применить данные спутниковых снимков высокого пространственного разрешения для оценки состояния лесных насаждений на нарушенных землях. В задачи исследований входит применение вегетационного индекса NDVI при оценке активности вегетации древесной растительности на нарушенных землях.

Для оценки состояния лесной растительности на нарушенных землях использованы космические снимки высокого разрешения за весь вегетационный период 2019 г. Аэрофотоснимки высокого разрешения или данные спутникового мониторинга позволяют вычислить вегетационный индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index – относительный показа-

тель количества фотосинтетической активной биомассы). Расчет вегетационного индекса NDVI и идентификация растительности выполнялись с помощью геоинформационной системы QGIS. Вегетационные индексы успешно применяются для оценки растительности в различных отраслях [8–10]. Шкала оценки развития растительного покрова на отвалах представлена в табл. 1 [11, 12].

Величина NDVI зависит от общей биомассы растительности. Наличие растений на анализируемой площади определяется значениями NDVI от значения 0,1. Для лесных насаждений в данных лесорастительных условиях значения индекса находятся в диапазоне 0,80–0,83.

Объектом исследований являлась древесная растительность естественного происхождения, произрастающая на отвалах вскрышных пород ОАО «Уральский асбестовый горно-обогатительный комбинат». Отвалы формировались в период с 1991 по 1999 гг. На отвале «Восточный» заложены ПП № 1 (25,2 га)

на верхней площадке и ПП № 2 (3,9 га) на склоне отвала. На отвале «Северо-Пролетарский» заложены ПП № 3 (4,9 га) на верхней площадке и ПП № 4 (7,8 га) на склоне отвала. Район исследований относится к таежной лесорастительной зоне, Средне-Уральскому таежному району.

Результаты исследования и их обсуждение

В результате натурного обследования отвалов установлено, что естественное зарастание отвалов происходит преимущественно сосной обыкновенной с незначительной примесью березы повислой и лиственницы Сукачева. Последнее соответствует результатам исследований других авторов [13–15]. Максимальный возраст деревьев, произрастающих на отвале «Восточный», варьирует от 18 до 25 лет, а на отвале «Северо-Пролетарский» – от 19 до 27 лет.

Для более детального анализа интенсивности вегетации растительного покрова на отвалах вскрышных пород составлены тематические карты распределения индекса NDVI (рис. 1–3), рассчитанного по данным спутниковых снимков высокого пространственного разрешения в период с апреля по октябрь 2019 г. По результатам обработки полученных материалов в ГИС-приложении QGIS были получены данные об интенсивности вегетации (табл. 2) и рассчитаны основные статистические показатели индексов NDVI для древесной растительности исследованных отвалов (табл. 3).

Таблица 1
Table 1

Зависимость индекса NDVI от состояния растительного покрова
Dependence of the NDVI index on the state of vegetation cover

Значение индекса NDVI The index value of NDVI	Степень развития зеленой биомассы The degree of development of green biomass
0–0.2	Отсутствие растительности Lack of vegetation
0.2–0.3	Низкая степень развития биомассы The low degree of development of biomass
0.3–0.6	Средняя степень развития биомассы The average degree of development of biomass
0.6–1.0	Высокая степень развития биомассы A high degree of development of biomass



Рис. 1. Спутниковый снимок зарастающего отвала вскрышных пород
 Fig. 1. Satellite image of inventory plot № 4

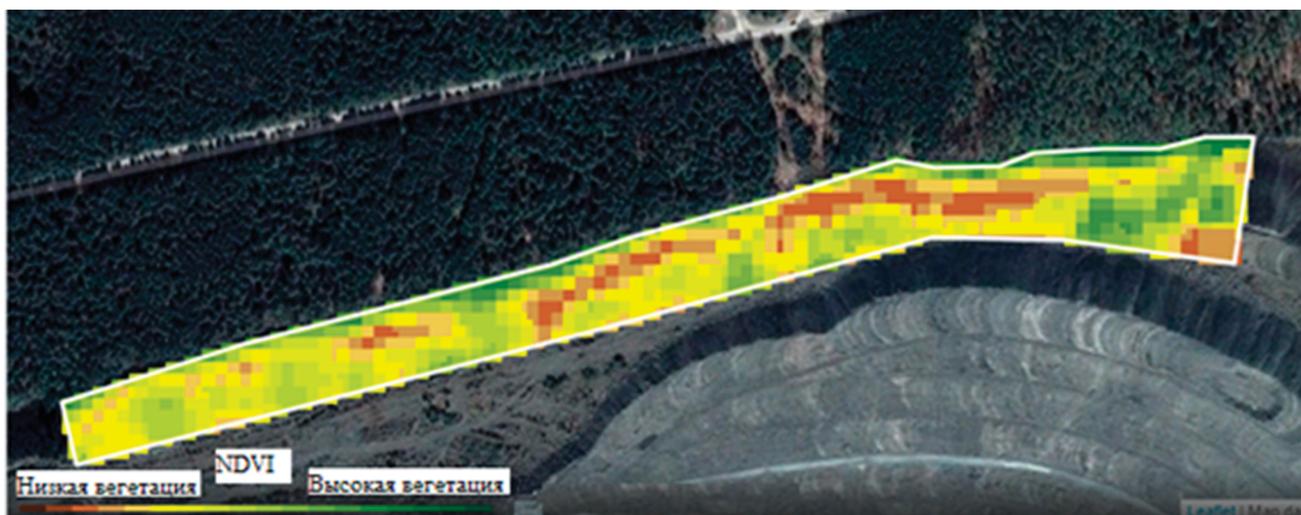


Рис. 2. Расчет вегетационного индекса NDVI
 Fig. 2. Calculation of the NDVI vegetation index



Рис. 3. Зоны вегетации на основе усредненных данных индекса NDVI за 2019 г.
 Fig. 3. Vegetation zones based on the average data of the NDVI index for 2019

Таблица 2

Table 2

Анализ вегетации насаждений на отвалах вскрышных пород
Analysis of vegetation on overburden dumps

Пробная площадь	Начало вегетации в 2019 г.	Окончание вегетации в 2019 г.	Продолжительность вегетации, дней	NDVI, среднее за период вегетации	Интенсивность вегетации
1	10,05	07,10	151	0,43	Средняя
2	15,04	07,10	174	0,33	Средняя
3	15,04	07,10	174	0,63	Высокая
4	08,05	10,09	126	0,51	Хорошая

Таблица 3

Table 3

Статистические показатели индексов NDVI на пробных площадях
Statistical indicators of NDVI indexes on inventory plots

Статистические показатели Statistical indicator	ПП № 1 IP № 1	ПП № 2 IP № 2	ПП № 3 IP № 3	ПП № 4 IP № 4
Стандартная ошибка Standard error	0,03	0,03	0,06	0,05
Медиана Median	0,45	0,30	0,70	0,60
Мода Mode	0,55	0,20	0,80	0,65
Стандартное отклонение Standard deviation	0,13	0,16	0,22	0,18
Дисперсия выборки Dispersion	0,02	0,02	0,05	0,04
Экцесс Kurtosis	0,15	-1,37	-0,30	0,12
Асимметричность Skewness	-1,05	0,24	-1,09	-1,12
Интервал Interval	0,40	0,45	0,60	0,50
Минимум Minimum	0,15	0,10	0,20	0,15
Максимум Maximum	0,55	0,55	0,80	0,65
Уровень надежности (95,0 %) Level of measurement	0,07	0,07	0,12	0,11

Спутниковые снимки за весь период вегетации позволяют получить данные о сроках начала и окончания вегетации. Установлено, что на различных отвалах и высотных уровнях сроки начала и окончания вегетации могут отличаться. Усредненные данные

об интенсивности вегетации на основе индексов NDVI позволяют оценить интенсивность вегетации анализируемых насаждений. Интенсивность вегетации лесных насаждений естественного происхождения на отвалах вскрышных пород ОАО «Урал-

асбест» на отвале «Восточный» характеризуется как средняя на всех высотных уровнях, а на отвале «Северо-Пролетарский» вегетация оценивается как высокая на склоне и хорошая на верхней площадке.

По данным статистической обработки данных для лесных насаждений, сформированных естественным путем на отвалах вскрышных пород, установлено, что значения индекса NDVI имеют большой интервал (от 0,4 до 0,6) в течение вегетационного периода. Полученные величины интервалов оказались существенно выше фоновых. В нормальных условиях индекс NDVI имеет минимальные значения в весенний период, стабильные показатели в летний период и плавное снижение интенсивности вегетации осенью. Деревья в средней и верхней частях склона отвалов вскрышных пород характеризуются замедленным ростом, который объясняется неблагоприятными почвенно-грунтовыми условиями и резкими

колебаниями индекса вегетации. Недостаток влаги и элементов питания в течение года может вызвать резкое снижение интенсивности вегетации или ее подъем при наличии осадков.

В целом состояние растительности на отвалах характеризуется как удовлетворительное и соответствует средней степени развития биомассы.

Данные табл. 4 позволяют оценить степень зарастания исследованных участков нарушенных земель.

Установлено, что зарастание древесной растительности на отвалах вскрышных пород ОАО «Ураласбест» происходит удовлетворительно и степень зарастания древесной растительностью составляет от 61,6 до 69,4 % в зависимости от местоположения

участка. Большой разницы степени зарастания от высотных уровней отвала не зафиксировано. Соотношение открытых участков и занятых древесной растительностью, представленной сосной обыкновенной, березой повислой и лиственницей Сукачева, на всех пробных площадях примерно одинаково. Можно отметить лишь различие в площади зон с низкой степенью вегетации в зависимости от местоположения растительности. Доля площади с низкой степенью вегетации (NDVI 0,2–0,3) наибольшая на склоне отвала (ПП № 2 – 38,4 %, ПП № 4 – 37,1 %). Почвенно-грунтовые условия на верхней площадке отвала по сравнению с таковыми на склоне более благоприятны для роста древесной растительности.

Таблица 4
Table 4

Оценка зарастания отвалов вскрышных пород древесной растительностью
Assessment of overgrowth of overburden dumps with woody vegetation

№ ПП	Местоположение	Площадь, га	Зоны вегетации, га/%			Степень зарастания, %
			Высокая	Средняя	Низкая	
1	Верхняя площадка	25,2	$\frac{8,1}{32,1}$	$\frac{7,5}{29,8}$	$\frac{9,6}{38,1}$	61,9
2	Склон отвала	3,9	$\frac{1,2}{30,8}$	$\frac{1,2}{30,8}$	$\frac{1,5}{38,4}$	61,6
3	Верхняя площадка	4,9	$\frac{1,7}{34,7}$	$\frac{1,7}{34,7}$	$\frac{1,5}{30,6}$	69,4
4	Склон отвала	7,8	$\frac{2,4}{30,8}$	$\frac{2,5}{32,1}$	$\frac{2,9}{37,1}$	62,9

Выводы

1. Отсутствие живого напочвенного покрова на нарушенных землях позволяет точно идентифицировать древесную растительность с помощью вегетационного индекса NDVI и оце-

нить степень зарастания отвалов вскрышных пород. Степень зарастания древесной растительностью составила от 61,6 до 69,4 % в зависимости от местоположения участка.

2. Спутниковые снимки за весь период вегетации позволяют получить усредненные данные об интенсивности вегетации на основе индексов NDVI. Интенсивность вегетации лесных насаждений естественного

происхождения на отвалах вскрышных пород ОАО «Урал-асбест» на отвале «Восточный» характеризуется как средняя на всех высотных уровнях (ПП № 1 NDVI = 0,43; ПП № 2 NDVI = 0,33), а на отвале «Северо-Пролетарский» вегетация оценивается как высокая на

склоне (ПП № 3 NDVI = 0,63) и хорошая на верхней площадке (ПП № 4 NDVI = 0,51).

3. Картирование и отражение зон вегетации позволяет выявить локальные участки, лишённые растительности, или зоны с низкой степенью вегетации для назначения мероприятий

по рекультивации нарушенных участков и планирования создания насаждений искусственным способом. Доля площади с низкой степенью вегетации (NDVI 0,2–0,3) наибольшая на склоне отвала (ПП № 2 – 38,4 %, ПП № 4 – 37,1 %).

Библиографический список

1. Рекультивация нарушенных земель на месторождении тантал-бериллия / С. В. Залесов, Е. С. Залесова, Ю. В. Зарипов, А. С. Оплетев, О. В. Толкач // Экология и промышленность России. – 2018. – Т. 22. – № 12. – С. 63–67.
2. Динамика естественного лесовосстановления на нарушенных в процессе нефтегазодобычи землях на территории Нефтеюганского района ХМАО – Югры / С. В. Залесов, А. Е. Морозов, Р. В. Морозова, Е. П. Платонов // Леса России и хозяйство в них. – 2011. – № 3 (40). – С. 6–20.
3. Пути рекультивации нарушенных в процессе нефтегазоразведки земель / А. Е. Морозов, С. В. Залесов, А. В. Капралов, М. В. Винокуров, В. И. Лобанов, В. Г. Решетников // Леса России и хозяйство в них. – 2008. – № 1 (30). – С. 49–55.
4. Информационно-аналитическая записка о состоянии земель Свердловской области в 2017 году. – Екатеринбург : Управление Росреестра по Свердловской области, 2018. – 102 с.
5. Многолетние тренды в состоянии растительности хребтов Тянь-Шаня и Джунгурского Алатау по данным EMODIS NDVI C6 (2002–2019) / А. Г. Терехов, И. С. Витковская, И. И. Абаев, С. А. Долгих // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2019. – Т. 16. – № 6. – С. 133–142.
6. Методика дешифрирования аэрофотоснимков в целях экологического мониторинга и аудита нефтегазовых месторождений / С. В. Залесов, Л. И. Аткина, И. Ф. Коростелев, Н. Я. Кручинин, К. И. Лопатин, И. А. Юсупов. – Екатеринбург : УрО РАН, 2003. – 80 с.
7. Фомин, В. В. Методики оценки густоты подроста и древостоев при зарастании сельскохозяйственных земель древесной растительностью с использованием космических снимков высокого пространственного разрешения / В. В. Фомин, С. В. Залесов, А. Г. Магасумова // Аграрный вестник Урала. – 2015. – № 1 (131). – С. 25–29.
8. Mapping and estimating the total living biomass and carbon in low-biomass woodlands using Landsat 8 CDR data / B. Gizachew, S. Solberg, E. Næsset [et al] // Carbon Balance Manage. – 11, 13 (2016). – URL: <https://doi.org/10.1186/s13021-016-0055-8>
9. Clevers, J. G. P. W. Remote estimation of crop and grass chlorophyll and nitrogen content using red-edge bands on Sentinel-2 and-3 / J. G. P. W. Clevers, A. A. Gitelson. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. – 2013. – 23 (1). P. 344–351. DOI: 10.1016/j.jag.2012.10.008.
10. A Simple Method for Retrieving Understory NDVI in Sparse Needleleaf Forests in Alaska Using MODIS BRDF Data / W. Yang, H. Kobayashi, R. Suzuki, K. N. Nasahara // Remote Sensing. – 2014. – 6 (12). – 11936–11955.
11. Чащин, А. Н. Использование данных дистанционного зондирования для оценки темпов самозарастания угольных отвалов Кизеловского бассейна / А. Н. Чащин, М. А. Кондратьева // Географический вестник. – 2019. – № 2 (49). – С. 135–147.

12. Deforestation and Loss of Biodiversity Surrounds the Ethiopian Church Forests // Tree foundation. – 2013. – URL: <http://treefoundation.org/projects/churchforests-of-ethiopia/regional-view-of-deforestation/> (дата обращения: 27.01.2020).
13. Накопление подроста на отвалах месторождения хризотил-асбеста / Ю. В. Зарипов, Е. С. Залесова, С. В. Залесов, Е. П. Платонов // Успехи современного естествознания, – 2019. – № 7. – С. 21–25.
14. Залесов, С. В. Естественная рекультивация отвалов вскрышных пород и отходов обогащения асбестовых руд / С. В. Залесов, Ю. В. Зарипов, Е. С. Залесова // Аграрный вестник Урала. – 2017. – № 3 (157). – С. 35–38.
15. Залесов, С. В. Анализ состояния подроста березы повислой (*Betula pendula* Both.) на отвалах месторождений хризотил-асбеста по показателю флуктуирующей асимметрии / С. В. Залесов, Ю. В. Зарипов, Е. А. Фролова // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В. Р. Филиппова. – 2017. – № 1 (46). – С. 71–77.

Bibliography

1. Reclamation of disturbed lands at the tantalum-beryllium deposit / S. V. Zalesov, E. S. Zalesova, Yu. V. Zaripov, A. S. Opletaev, O. V. Tolkach // Ecology and industry of Russia. – 2018. – Vol. 22. – No. 12. – P. 63–67.
2. Dynamics of natural reforestation on lands disturbed in the process of oil and gas production on the territory of the Nefteyugansk district of KХMAO – Yugra / S. V. Zalesov, A. E. Morozov, R. V. Morozova, E. P. Platonov // Forests of Russia and agriculture in them. – 2011. – No. 3 (40). – P. 6–20.
3. Ways of recultivation of lands disturbed in the process of oil and gas exploration / A. E. Morozov, S. V. Zalesov, A. V. Kapralov, M. V. Vinokurov, V. I. Lobanov, V. G. Reshetnikov // Forests of Russia and agriculture in them. – 2008. – No. 1 (30). – P. 49–55.
4. Information and analytical note on the state of the Sverdlovsk region's lands in 2017. – Yekaterinburg : Department of the Federal registration service for the Sverdlovsk region, 2018. – 102 p.
5. Long-term trends in the vegetation state of the Tien Shan and Jungur Alatau ridges according to EMODIS NDVI C6 (2002–2019) / A. G. Terekhov, I. S. Vitkovskaya, I. I. Abaev, S. A. Dolgikh // Modern problems of remote sensing of the Earth from space. – 2019. – Vol. 16. – No. 6. – P. 133–142.
6. Methods of decoding aerial photographs for environmental monitoring and audit of oil and gas fields / S. V. Zalesov, L. I. Atkina, I. F. Korostelev, N. Ya. Kruchinin, K. I. Lopatin, I. A. Yusupov. – Yekaterinburg : Ural branch Russian science academy, 2003. – 80 p.
7. Fomin, V. V. Methods for assessing the density of undergrowth and stands when overgrowing agricultural land with woody vegetation using high-resolution satellite images / V. V. Fomin, S. V. Zalesov, A. G. Magasumova // Agrarian Bulletin of the Urals. – 2015. – No. 1 (131). – P. 25–29.
8. Mapping and estimating the total living biomass and carbon in low-biomass woodlands using Landsat 8 CDR data / B. Gizachew, S. Solberg, E. Næsset [et al] // Carbon Balance Manage. – 11, 13 (2016). – URL: <https://doi.org/10.1186/s13021-016-0055-8>
9. Clevers, J. G. P. W. Remote estimation of crop and grass chlorophyll and nitrogen content using red-edge bands on Sentinel-2 and-3 / J. G. P. W. Clevers, A. A. Gitelson. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. – 2013. – 23 (1). P. 344–351. – DOI: 10.1016/j.jag.2012.10.008.
10. A Simple Method for Retrieving Understory NDVI in Sparse Needleleaf Forests in Alaska Using MODIS BRDF Data / W. Yang, H. Kobayashi, R. Suzuki, K. N. Nasahara // Remote Sensing. – 2014. – 6 (12). – 11936–11955.
11. Chashchin A. N. Using remote sensing data to assess the rate of self-healing of coal dumps in the Kizel basin / A. N. Chashchin, M. A. Kondratieva // Geographical Bulletin. – 2019. – No. 2 (49). – P. 135–147.

12. Deforestation and Loss of Biodiversity Surrounds the Ethiopian Church Forests // Tree foundation. – 2013. – URL: <http://treefoundation.org/projects/churchforests-of-ethiopia/regional-view-of-deforestation/> (дата обращения: 27.01.2020).
13. Accumulation of undergrowth on the dumps of the chrysotile-asbestos Deposit / Yu. V. Zaripov, E. S. Zalesova, S. V. Zalesov, E. P. Platonov // Successes of modern natural science. – 2019. – No. 7. – P. 21–25.
14. Zalesov, S. V. Natural recultivation of overburden dumps and waste of asbestos ore enrichment / S. V. Zalesov, Yu. V. Zaripov, E. S. Zalesova // Agrarian Bulletin of the Urals. – 2017. – No. 3 (157). – P. 35–38.
15. Zalesov, S. V. Analysis of the state of the undergrowth of the hanging birch (*Betula pendula* Both.) on the dumps of chrysotile-asbestos deposits in terms of fluctuating asymmetry / S. V. Zalesov, Yu. V. Zaripov, E. A. Frolova // Bulletin of the Buryat state agricultural Academy named after V. R. Filippov. – 2017. – No. 1 (46). – P. 71–77.

УДК 630*524.39+630*174.754

О ПРОДУКТИВНОСТИ АССИМИЛЯЦИОННОГО АППАРАТА ДРЕВОСТОЕВ В ГРАДИЕНТЕ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ОТ КАРАБАШСКОГО МЕДЕПЛАВИЛЬНОГО КОМБИНАТА: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОСНЫ И БЕРЕЗЫ

В. А. УСОЛЬЦЕВ – доктор сельскохозяйственных наук,
профессор кафедры прикладной информатики
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,
620100, Россия, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37

главный научный сотрудник
ФГБУН «Ботанический сад Уральского отделения РАН»
620144, Россия, Екатеринбург, ул. 8 марта, 202а,
тел.: 8 (343) 254-61-59, e-mail: Usoltsev@mail.ru

А. Ф. УРАЗОВА – кандидат сельскохозяйственных наук,
доцент кафедры технологии и оборудования лесопромышленного производства,
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,
620100, Россия, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37,
тел.: 8 (343) 254-61-59, e-mail: ura-alina@mail.ru

А. В. БОРНИКОВ – кандидат сельскохозяйственных наук,
старший преподаватель
ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный аграрный университет»,
460014, Россия, Оренбург, ул. Челюскинцев, 18,
тел.: 8 (353) 277-71-94, e-mail: bornikov87@mail.ru

Ключевые слова: продуктивность хвои, древостои сосны обыкновенной и березы повислой, медеплавильный завод, атмосферное загрязнение, индекс токсичности, модельные деревья, пробные площади, регрессионный анализ.

Проблема загрязнения окружающей среды стоит в ряду важнейших экологических проблем, связанных с антропогенным воздействием на биосферу. Интегральным показателем, отражающим природное и антропогенное воздействия на лесные экосистемы, является их биологическая продуктивность,

определяемая методами «весовой» лесной таксации. Её оценка выходит в настоящее время на глобальный уровень, поскольку она является одним из основных факторов стабилизации климата, однако наше понимание изменений наземной фитомассы остается достаточно неопределённым. Эта неопределенность во все возрастающей степени усугубляется антропогенным фактором, в частности влиянием промышленных загрязнений на лесные экосистемы. На Урале одним из наиболее токсичных предприятий является Карабашский медеплавильный комбинат (КМК). Цель настоящего исследования – сравнительный анализ продуктивности ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной и березы повислой в зависимости от индекса токсичности. Для этого на разном расстоянии от КМК в чистых сосновых и березовых древостоях заложены соответственно 12 и 34 пробных площади, на которых по ступеням толщины взято по семь модельных деревьев. Определена продуктивность ассимиляционного аппарата (ПАА) как отношение первичной продукции к массе хвои (листвы) в зависимости от индекса токсичности – относительного показателя содержания Cu, Pb и Fe в подстилке. Установлены равные темпы снижения ПАА сосны и березы по мере увеличения токсичности на уровне 13 %, но абсолютная величина ПАА в березняках почти втрое выше, чем в сосняках. Полученные выводы могут быть полезны при нормировании допустимых концентраций поллютантов.

ON THE PRODUCTIVITY OF THE ASSIMILATION APPARATUS OF FORESTS IN THE POLLUTION GRADIENT FROM THE KARABASH COPPER SMELTER: COMPARATIVE ANALYSIS OF PINE AND BIRCH

V. A. USOLTSEV – doctor of agricultural sciences, professor
Ural State Forest Engineering University,
Botanical Garden of Ural Branch of RAS

A. F. URAZOVA – candidate of agricultural sciences
Ural State Forest Engineering University.

A. V. BORNIKOV – candidate of agricultural sciences
Orenburg State Agrarian University.

Keywords: *foliage efficiency, stands of Scots pine and weeping birch, copper smelter, air pollution, model trees, sample plots, toxicity index, regression analysis.*

The problem of environmental pollution is one of the most important environmental problems associated with anthropogenic impact on the biosphere. An integral indicator that reflects the natural and anthropogenic impact on forest ecosystems is their biological productivity, determined by the methods of «weight» forest taxation. Its assessment is currently reaching the global level, as it is one of the main factors for climate stabilization, but our understanding of changes in terrestrial plant biomass remains rather uncertain. This uncertainty is increasingly exacerbated by anthropogenic factors, in particular, the impact of industrial pollution on forest ecosystems. In the Urals, one of the most toxic enterprises is the Karabash copper smelter. The purpose of this study is a comparative analysis of the productivity of the assimilation apparatus of common pine and white birch, depending on the toxicity index. For this purpose, at different distances from the polluter, 12 and 34 sample plots were established in pure pine and birch stands, respectively, with seven model trees taken in their diameter range. The productivity of the assimilation apparatus (PAA) was determined as the ratio of primary production to the dry mass of needles (foliage), depending on the toxicity index, i.e. the relative index of the content of Cu, Pb and Fe in the litter. Equal rates of pine and birch PAA decrease are revealed as the toxicity increases, but the absolute value of PAA in birch trees is almost three times higher than in pine trees. The obtained results can be useful in normalizing acceptable concentrations of pollutants.

Введение

Количество биомассы на нашей планете катастрофически снижается, по разным оценкам, от 7 до 43 % к уровню начала XX в. [1], и одна из причин явления – загрязнение биосферы человеком. Промышленное загрязнение становится всё возрастающим, лимитирующим и даже летальным фактором окружающей среды для жизнедеятельности растительных организмов. Особая опасность его состоит в том, что биологические системы или недостаточно адаптированы к нему, или протекание их жизненных процессов несовместимо с наличием токсичных загрязнителей [2].

Ежегодно выбрасывается в воздух около 4 млрд т загрязняющих веществ. Часть их вовлекается в биологический круговорот и определенным образом влияет на биосферу [3]. Возникает необходимость возмещения нанесенного экосистемам ущерба и поиска метода объективной оценки экономических потерь. По сравнению с хвойными листопадные виды более устойчивы к загрязнениям [4]. Вследствие этого по мере приближения к некоторым источникам промышленных выбросов происходит постепенный переход от хвойных экосистем к лиственным, затем к кустарниковым и, наконец, к травянистым сообществам [2].

От воздействия загрязнений в первую очередь страдает ассимиляционный аппарат деревьев, состояние которого определяет продуктивность лесного сообщества, выраженную, в частности,

текущим годичным приростом древесины. Наибольшее количество исследований посвящено влиянию загрязнений на годичный прирост ствола [2, 5, 6, 7], а также на химизм, физиологические и морфометрические характеристики ассимиляционного аппарата [2, 8, 9, 10, 11, 12] и на биомассу деревьев и древостоев [13, 14, 15, 16].

За период с 1929 по 1953 гг. в Швейцарии были получены обширные данные о продуктивности ассимиляционного аппарата лесобразующих пород Европы как отношения радиального прироста ствола к массе ассимиляционного аппарата [17, 18]. Подобные исследования были продолжены в разных странах, и их аналитический обзор представлен в одной из наших публикаций [19]. Однако количественной оценке продуктивности ассимилирующей массы лесов в зависимости от степени аэрозагрязнений посвящены лишь единичные исследования [13, 20, 21].

На Южном Урале наиболее токсичным источником промышленных выбросов является Карабашский медеплавильный комбинат (КМК). Цель настоящего исследования – сравнительный анализ продуктивности ассимиляционного аппарата (ПАА) сосны обыкновенной и березы повислой в зависимости от индекса токсичности вблизи КМК.

Объекты и методы исследований

Карабашский медеплавильный комбинат функционирует с 1910 г. Основные ингредиенты

выбросов – сернистый ангидрид (91 % по массе среди газообразных поллютантов) и пылевые частицы с адсорбированными токсичными элементами (Cu, Pb, Fe, Zn, Cd, Ni и др.). Объем выбросов за весь период его функционирования составил более 15 млн т [21].

Исследования выполнены в чистых березовых и сосновых насаждениях в двух направлениях от КМК: северо-восточном и южном (рис. 1). Заложены 12 и 34 пробных площади соответственно в сосновых и березовых древостоях на расстоянии от 4 до 32 км от КМК. По ступеням толщины взято 42 и 56 модельных деревьев соответственно сосны и березы, у которых определены масса хвои и листвы, а также годичная продукция надземной биомассы. Методика работы на пробных площадях и фактические данные определений биомассы и содержания металлов в подстилке изложены ранее [21]. Сравнительный анализ ПАА сосновых и березовых насаждений в зависимости от индекса токсичности поллютантов выполнен на основе регрессионного анализа с применением бинарной переменной [22].

Известно, что в градиенте загрязнения от КМК по мере удаления от него изменяется содержание тяжелых металлов в гумусовом слое почвы [23]. Поэтому в качестве показателя «дозы» нами принят индекс токсичности (ind), рассчитанный по концентрации подвижных форм трех наиболее «техногенных» металлов (Cu, Pb и Fe), депонируемых

в лесной подстилке, у которых на трех самых «грязных» участках установлены максимальные превышения по отношению

к минимальному уровню, а на трех участках, наиболее удалённых от источника выбросов, есть наименьшие превышения. В от-

личие от серы металлы прочнее сорбируются депонирующими средами, и их проще измерять на полигоне большой площади [24].

В нашем случае ind определён для подвижных форм Cu, Pb и Fe по следующей формуле:

$$ind = \frac{1}{k} \sum \frac{X_{ij}}{X_{i\min}}, \quad (1)$$

где k – количество элементов (в нашем случае три); X_{ij} – концентрация i -го элемента на j -м участке; $X_{i\min}$ – минимальная концентрация i -го элемента по всем участкам [24].

Результаты и обсуждение

Для расчета ПАА древостоев использованы аллометрические уравнения, рассчитанные для каждой пробной площади. Далее применена стандартная процедура регрессионного анализа. Исследована зависимость, имеющая общий вид

$$Za/Pf = f(A, D_{cp}, H_{cp}, I, X), \quad (2)$$

где Za – надземная годовая чистая первичная продукция древостоя, т/га; Pf – масса ассимиляционного аппарата древостоя, т/га; A – возраст древостоя, лет; D_{cp} – средний диаметр стволов на высоте груди, см; H_{cp} – средняя высота древостоя, м; I – индекс токсичности (ind); X – бинарная переменная, равная 1 для сосны и 0 для березы.

При расчете уравнения (2) оказалось, что таксационные характеристики A , D_{cp} , H_{cp} древостоев в качестве независимых переменных статистически незначимы. Значения критерия Стьюдента составили для них соответственно 0,76; 0,24 и 0,57, что меньше



Рис. 1. Места закладки пробных площадей в северо-восточном и южном направлениях от КМК

Fig. 1. Places where sample plots are established in the North-East and South directions from the Karabash copper smelter

критического значения 1,96, тогда как для переменных I и X – соответственно 5,2 и 29,1, что существенно выше t_{05} , равного 1,96.

Окончательное уравнение имеет вид

$$\begin{aligned} Z_a / P_f &= \\ &= 1,92 - 0,00171(I) - 1,143(X); \\ R^2 &= 0,958; SE = 0,11, \quad (3) \end{aligned}$$

где SE – стандартная ошибка уравнения.

В наших предыдущих публикациях [20, 21] исследовались зависимости ПАА древостоев в том же градиенте загрязнений от КМК, что показан на рис. 1. Отличие состояло в том, что, во-первых, в качестве ПАА использовалось отношение прироста площади сечения ствола к массе хвои (листвы) и, во-вторых, в качестве одного из регрессоров в уравнение было включено расстояние от источника загрязнения, а не индекс токсичности. Полученный прежде вывод не противоречит вновь полученному: в градиенте загрязнений от КМК имеется значительное влияние загрязнений на ПАА древостоев.

На рис. 2 дана графическая интерпретация уравнения (3),

согласно которой ПАА древостоев сосны и березы снижается по линейной траектории по мере повышения индекса токсичности в направлении к КМК. Темпы

снижения ПАА одинаковы у обеих пород (линии регрессии параллельны), но ПАА березовых древостоев в 2,6 раза превышает ПАА сосны.

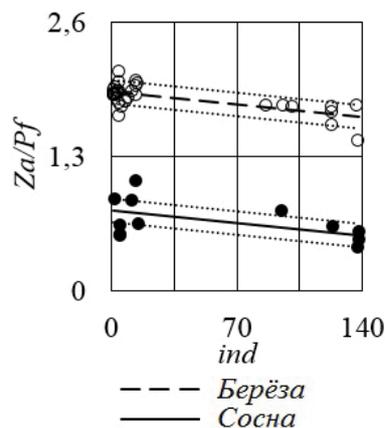


Рис. 2. Линейные тренды снижения ПАА сосновых и березовых древостоев в градиенте загрязнений от КМК. Пунктирными линиями показан диапазон стандартной ошибки уравнения

Fig. 2. Linear trends of decreasing the productivity of the assimilation apparatus of pine and birch stands in the pollution gradient near the Karabash copper smelter. Dotted lines show the range of the standard error of the equation

Выводы

1. На основании полученного экспериментального материала установлена линейная закономерность снижения ПАА сосны и березы на 13 % по мере повышения индекса токсичности в направлении к источнику загрязнения.

2. Показатель ПАА в березняках в 2,6 раза выше, чем в сосняках.

Благодарности.

Авторы признательны своим коллегам Е. Л. Воробейчику, И. Е. Бергману, М. Р. Трубиной, С. Ю. Кайгородовой, П. Г. Пищулину, А. В. Щепеткину, И. Биктимирову и А. В. Бачуриной, принявшим участие в получении исходных материалов, а также И. С. Цепордею, участвовавшему при подготовке рукописи к изданию.

Библиографический список

1. Реймерс, Н. Не допустить биологического апокалипсиса / Н. Реймерс // Наука и жизнь. – 1987. – № 10. – С. 27–28.
2. Павлов, И. Н. Древесные растения в условиях техногенного загрязнения / И. Н. Павлов. – Улан-Удэ : Изд-во БНЦ СО РАН, 2006. – 360 с.
3. Алексеев, В. А. Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение / В. А. Алексеев, Л. С. Дочинжер // Лесоведение. – 1981. – № 5. – С. 64–71.
4. Кулагин, Ю. З. О газостойкости сосны и березы / Ю. З. Кулагин // Охрана природы на Урале. IV : Растительность и промышленные загрязнения : материалы конференции. – Свердловск, 1964. – С. 115–122.
5. Ярмишко, В. Т. Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на Европейском Севере / В. Т. Ярмишко. – Санкт-Петербург : НИИХимии СПбГУ, 1997. – 210 с.

6. Кучеров, С. Е. Радиальный прирост сосны обыкновенной в районе Карабашского медеплавильного комбината / С. Е. Кучеров, А. А. Мулдашев // Лесоведение. – 2003. – № 2. – С. 43–49.
7. Savva, Y. Sulphur deposition causes a large-scale growth decline in boreal forests in Eurasia / Y. Savva, F. Berlinger // Global Biogeochemical Cycles. – 2010. – Vol. 24. – GB3002, DOI:10.1029/2009GB003749.
8. Dobrowolska, I. Anatomy of abscission zone of *Betula pendula* (Roth.) leaves from trees growing under different levels of pollution / I. Dobrowolska, E. U. Kurczynska, W. Dmuchowski // Dendrobiology. – 2001. – Vol. 46. – P. 13–19.
9. Торлопова, Н. В. Влияние поллютантов на хвойные фитоценозы (на примере Сыктывкарского лесопромышленного комплекса) / Н. В. Торлопова, Е. А. Робакидзе. – Екатеринбург : УрО РАН, 2003. – 147 с.
10. Феклистов, П. А. Состояние сосновых древостоев в условиях аэротехногенного загрязнения атмосферы / П. А. Феклистов, Г. С. Тутьгин, Д. П. Дрожжин. – Архангельск : АГТУ, 2005. – 132 с.
11. Залесов, С. В. Изменение морфометрических показателей хвои сосны обыкновенной в условиях аэропромвыбросов / С. В. Залесов, А. В. Бачурина // Лесной вестник. – 2008. – № 3. – С. 36–39.
12. Тужилкина, В. В. Реакция пигментной системы хвойных на длительное аэротехногенное загрязнение / В. В. Тужилкина // Экология. – 2009. – № 4. – С. 243–248.
13. Сидаравичюс, Й. М. Изменение биологической продуктивности деревьев при различном уровне атмосферного загрязнения / Й. М. Сидаравичюс // Закономерности роста и производительности древостоев. Каунас : ЛитСХА, 1985. – С. 228–230.
14. Лукина, Н. В. Изменение первичной продуктивности еловых древостоев под влиянием техногенных загрязнений на Кольском Севере / Н. В. Лукина, В. В. Никонов // Лесоведение. – 1991. – № 4. – С. 37–45.
15. Черненькова, Т. В. Реакция лесной растительности на промышленное загрязнение / Т. В. Черненькова. – М. : Наука, 2002. – 190 с.
16. Мартынюк, А. А. Особенности формирования надземной фитомассы сосновых молодняков в условиях техногенного загрязнения / А. А. Мартынюк // Лесоведение. – 2008. – № 1. – С. 39–45.
17. Burger, H. Holz. I. Mitteilung : die Weymouthsföhre / H. Holz Burger, Blattmenge und Zuwachs // Mitteilungen – Schweizerische Anstalt für das Forstliche Versuchswesen. – 1929. – Bd. XV. – H. 2. – S. 243–292.
18. Burger, H. Holz. XIII. Mitteilung : Fichten in gleichaltrigen Hochwald / H. Holz Burger, Blattmenge und Zuwachs // Mitteilungen – Schweizerische Anstalt für das Forstliche Versuchswesen. – 1953. – Bd. XXIX. – S. 38–130.
19. Усольцев, В. А. Продуктивность ассимиляционного аппарата лесообразующих видов в климатических градиентах Евразии / В. А. Усольцев // Сибирский лесной журнал. – 2017. – № 4. – С. 52–65. – URL: <https://e.mail.ru/attachment/15314294070000000291/0;1>
20. Biological productivity of forests near the Ural copper smelters / V. A. Usoltsev, E. L. Vorobeichik, A. V. Bornikov, A. S. Zhanabayeva // Boreal Forests in a Changing World : Challenges and Needs for Actions. Proceedings of 15th IBFRA International Science Conference. August 15–21 2011. – Krasnoyarsk : Sukachev Institute of Forest SB RAS, 2011. – P. 193–197. – URL: http://ibfra.org/documents/IBFRA_proceedings_2011.pdf
21. Усольцев, В. А. Биологическая продуктивность лесов Урала в условиях техногенного загрязнения : Исследование системы связей и закономерностей / В. А. Усольцев, Е. Л. Воробейчик, И. Е. Бергман. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2012. – 365 с. – URL: <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/458>
22. Дрейпер, Н. Прикладной регрессионный анализ / Н. Дрейпер, Г. Смит. – Москва : Статистика, 1973. – 392 с.
23. Коротева, Е. В. Оценка состояния лесной ценофлоры в зоне воздействия Карабашского медеплавильного комбината (Южный Урал) / Е. В. Коротева, Е. И. Вейсберг, Н. Б. Куянцева // Известия Самарского НЦ РАН. – 2011. – Т. 13. – № 1 (4). – С. 1005–1011.
24. Mikhailova, I. N. Epiphytic lichensynusia under conditions of chemical pollution: dose-effect dependencies / I. N. Mikhailova, E. L. Vorobeichik // Russian Journal of Ecology. – 1995. – Vol. 26 (6). – P. 425–431.

Bibliography

1. Reimers, N. To prevent a biological Apocalypse! / N. Reimers // Science and life. – 1987. – No. 10. – P. 27–28.
 2. Pavlov, I. N. Woody plants in conditions of technogenic pollution / I. N. Pavlov. – Ulan-Ude : Publishing house of the BNC SB RAS, 2006. – 360 p.
 3. Alekseev, V. A. Forest ecosystems and atmospheric pollution / V. A. Alekseev, L. S. Dochinger // Forest science. – 1981. – No. 5. – P. 64–71.
 4. Kulagin, Y. Z. On resistance of pine and birch to gases / Y. Z. Kulagin // Protection of nature in the Urals. IV : Vegetation and industrial pollution (Conference materials). – Sverdlovsk, 1964. – P. 115–122.
 5. Yarmishko, V. T. Scots pine and atmospheric pollution in the European North / V. T. Yarmishko. – Sanct Petersburg : NII chemie of SPbSU, 1997. – 210 p.
 6. Kucherov, S. E. Radial growth of Scots pine near the Karabash copper smelting plant / S. E. Kucherov, A. A. Muldashev // Forest science. – 2003. – No. 2. – P. 43–49.
 7. Savva, Y. Sulphur deposition causes a large-scale growth decline in boreal forests in Eurasia / Y. Savva, F. Berlinger // Global Biogeochemical Cycles. – 2010. – Vol. 24. – GB3002, DOI:10.1029/2009GB003749.
 8. Dobrowolska, I. Anatomy of abscission zone of *Betula pendula* (Roth.) leaves from trees growing under different levels of pollution / I. Dobrowolska, E. U. Kurczynska, W. Dmuchowski // Dendrobiology. – 2001. – Vol. 46. – P. 13–19.
 9. Torlopova, N. V. Influence of pollutants on coniferous phytocenoses (on the example of the Syktyvkar timber industry plant) / N. V. Torlopova, E. A. Robakidze. – Yekaterinburg : Ural Branch of RAS, 2003. – 147 p.
 10. Feklistov, P. A. State of pine stands in the conditions of aerotechnogenic pollution of the atmosphere / P. A. Feklistov, G. S. Tutygin, D. P. Drozhzhin. – Arkhangelsk : ASTU, 2005. – 132 p.
 11. Zalesov, S. V. Changes in the morphometric parameters of the needles of Scots pine in conditions of air pollution / S. V. Zalesov, A. V. Bachurina // Forest messenger. – 2008. – No. 3. – P. 36–39.
 12. Tuzhilkina, V. V. Reaction of the pigment system of coniferous trees to long-term aerotechnogenic pollution / Tuzhilkina V. V. // Ecologia. – 2009. – No. 4. – P. 243–248.
 13. Sidaravicius, I. M. Change in the biological productivity of trees at different levels of atmospheric pollution / I. M. Sidaravicius // Regularities of growth and productivity of stands. Kaunas : Lithuanian Agrarian Academy, 1985. – P. 228–230.
 14. Lukina, N. V. Changes in the primary productivity of spruce stands under the influence of man-made pollution in the Kola North / N. V. Lukina, V. V. Nikonov // Forest science. – 1991. – No. 4. – P. 37–45.
 15. Chernen'kova, T. V. Reaction of forest vegetation to industrial pollution / T. V. Chernen'kova. – Moscow : Nauka Publishing, 2002. – 190 p.
 16. Martynyuk, A. A. Features of formation of aboveground phytomass of young pines in conditions of technogenic pollution / A. A. Martynyuk // Forest science. – 2008. – No. 1. – P. 39–45.
 17. Burger, H. Holz. I. Mitteilung : die Weymouthsföhre / H. Holz Burger, Blattmenge und Zuwachs // Mitteilungen – Schweizerische Anstalt für das Forstliche Versuchswesen. – 1929. – Bd. XV. – H. 2. – S. 243–292.
 18. Burger, H. Holz. XIII. Mitteilung : Fichten in gleichaltrigen Hochwald / H. Holz Burger, Blattmenge und Zuwachs // Mitteilungen – Schweizerische Anstalt für das Forstliche Versuchswesen. – 1953. – Bd. XXIX. – S. 38–130.
 19. Usoltsev, V. A. Productivity of the assimilation apparatus of forest-forming species in the climatic gradients of Eurasia / V. A. Usoltsev // Siberian forest journal. – 2017. – No. 4. – P. 52–65 (<https://e.mail.ru/attachment/15314294070000000291/0;1>).
 20. Biological productivity of forests near the Ural copper smelters / V. A. Usoltsev, E. L. Vorobeichik, A. V. Bornikov, A. S. Zhanabayeva // Boreal Forests in a Changing World : Challenges and Needs for Actions.
-

Proceedings of 15th IBFRA International Science Conference. August 15–21 2011. – Krasnoyarsk : Sukachev Institute of Forest SB RAS, 2011. – P. 193–197. – URL: http://ibfra.org/documents/IBFRA_proceedings_2011.pdf

21. Usoltsev, V. A. Biological productivity of Ural forests in conditions of technogenic pollution : Research of the system of relations and regularities / V. A. Usoltsev, E. L. Vorobeychik, I. E. Bergman. – Yekaterinburg: USFEU, 2012. – 365 p. – URL: <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/458>

22. Draper, N. Applied regression analysis / N. Draper, G. Smith. – Moscow : Statistika Publishing, 1973. – 392 p.

23. Koroteeva, E. V. Assessment of the status of forest coenoflora in the impact zone of Karabash copper smelting plant (Southern Urals) / E. V. Koroteeva, E. I. Weisberg, N. B. Kuyantseva // Proceedings of the Samara scientific center of RAS. – 2011. – Vol. 13. – No. 1 (4). – P. 1005–1011.

24. Mikhailova, I. N. Epiphytic lichensynusia under conditions of chemical pollution: dose-effect dependencies / I. N. Mikhailova, E. L. Vorobeichik // Russian Journal of Ecology. – 1995. – Vol. 26 (6). – P. 425–431.

УДК 630*221.2 (630*3)

СОХРАННОСТЬ ПОДРОСТА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ГЕНЕРАЦИИ ПОСЛЕ РАЗРАБОТКИ ЛЕСОСЕК МНОГООПЕРАЦИОННОЙ ТЕХНИКОЙ

Л. А. БЕЛОВ – кандидат сельскохозяйственных наук,
доцент кафедры лесоводства*,
e-mail: bla1983@yandex.ru

И. В. ШАЛАЕВ – магистрант, каф. лесоводства*,
shalaev-vanek@mail.ru

* ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,
620100, Россия, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37,
тел.: 8(343) 261-52-88

Ключевые слова: подрост предварительной генерации, густота, сплошная рубка, лесовосстановление, многооперационная техника.

Задача лесного комплекса – сохранение и преумножение лесных богатств. На возобновление леса большое влияние оказывают способы заготовки древесины. Цель данной работы – изучение сохранности подроста после разработки лесосек многооперационной техникой. Для проведения исследования были подобраны четыре участка в Алапаевском лесничестве, два из которых зимней заготовки и два летней заготовки древесины. Учет сохранности подроста проводился по следующей программе: распределение количества учтенного подроста по породному составу, высотной структуре, жизненному состоянию в зависимости от удаленности от волока в глубь пасеки. Учет подроста проводился на учетных площадках размером 2 × 2 м в количестве 25 шт. на равном расстоянии друг от друга. Расположение учетных площадок было следующее: вдоль волока (по его центру), на расстоянии 1,0 м от края волока и в глубь пасеки на 4,0 м и 6,0 м. Таким образом на каждом участке было заложено по 100 учетных площадок. Подрост делился на следующие группы высот: растения высотой до 0,5 м представляют собой категорию мелкого подроста, 0,6–1,5 м – средний подрост и выше 1,5 м – крупный подрост. При зимней заготовке на волоках присутствует подрост всех пород-лесообразователей, а при летней заготовке – только сосновый подрост. Более 2/3 всего подроста учтенного на волоках, относится к жизнеспособному. На расстоянии 2,0 м от волока количество всходов при зимней заготовке невелико – не более 1,8 тыс. шт./га,

а при летней – 4–4,5 тыс. шт./га. На расстоянии 2,0 м от волока зафиксировано максимальное количество поврежденного подроста, это связано с особенностью работы лесозаготовительной техники. А именно, в этой зоне происходит обрезка кроны и распиловка ствола дерева на сортименты и укладка их в пачки. При большей удаленности от волока, 4,0 и 6,0 м, сохранность, жизнеспособность и количество подроста выше независимо от сезона заготовки.

PRESERVATION OF PRE-GENERATION UNDERGROWTH AFTER DEVELOPMENT OF CUTTING AREAS WITH MULTI-OPERATION EQUIPMENT

L. A. BELOV – candidate of agricultural Sciences,
associate Professor of forestry Department*,
e-mail: bla1983@yandex.ru

I. V. SHALAEV – master's student, KAF. forestry*,
shalaev-vanek@mail.ru

* FSBEE HE «Ural state forest engineering University»,
620100, Russia, Yekaterinburg, Siberian tract, 37,
phone: 8(343) 261-52-88

Keywords: *pre-generation undergrowth, density, continuous cutting, reforestation, multi-operation technique.*

The task of the forest complex is to preserve and increase the forest resources. On renewal of the forest is greatly affected by methods of harvesting forests. The purpose of this work: to study the safety of undergrowth after the development of cutting multi-operation technique. For the study, four sites were selected in the Alapaevsky forestry, two of which are winter harvesting and two summer harvesting of wood. Accounting for the safety of undergrowth was carried out according to the following program: the distribution of the number of recorded undergrowth by breed composition, height structure, life status, depending on the distance from the portage deep into the apiary. The accounting of the undergrowth was carried out on the accounting platforms of 2×2 size in the amount of 25 pieces at an equal distance from each other. The location of the accounting platforms was as follows: along the portage (in its center), at a distance of 1,0 m from the edge of the portage and into the depth of the apiary at 4,0 m and 6,0 m. Thus, 100 accounting platforms were laid on each site. The undergrowth was divided into the following groups of heights, m: plants with a height of 0,1–0,5 m are a category of small undergrowth, 0,6–1,5 m-medium undergrowth and above 1,5 m-large undergrowth. At winter preparation on volokah there is an undergrowth of all breeds of forest growers, and at summer preparation only pine undergrowth. More than 2/3 of the total undergrowth accounted for on the hairs refers to the viable. At a distance of 2,0 m from the portage, the number of seedlings during winter harvesting is not large – no more than 1,8 thousand pieces/ha, and in summer – 4–4,5 thousand pieces/ha. At a distance of 2,0 m from the portage, the maximum number of damaged undergrowth is recorded, this is due to the peculiarity of logging equipment. Namely, in this zone there is a pruning of the crown and sawing the tree trunk into segments and laying them in bundles. At a greater distance from the portage, 4,0 and 6,0, the safety, viability and number of undergrowth is higher regardless of the harvesting season.

Введение

Центральной задачей лесного комплекса всегда было сохранение, преумножение и эффективное использование лесных богатств в интересах человека,

общества и государства. Развитие отраслевой науки и практические действия предприятий всех основных и обслуживающих подотраслей должны быть направлены на создание «эф-

фективной системы использования природных ресурсов» [1]. Основным требованием, предъявляемым к лесопользованию, является его неистощительность, а в перспективе и обязательное

способствование расширенному воспроизводству лесных ресурсов – процессу непрерывного расширения производительной способности лесных биогеоценозов, задачей которого является получение через оборот рубки двух кубометров древесины там, где раньше был взят один. Известно, что, помимо типа леса, от применяемой на лесозаготовках техники и в особенности технологии напрямую зависит тип вырубки, образующейся на месте проведения лесосечных работ. От типа вырубки, в свою очередь, зависит как срок лесовозобновления, так и тип образующегося на месте вырубки леса, а следовательно, его породные и качественные показатели [2]. Известны два пути преодоления противоречий между экологией леса, его возобновлением, с одной стороны, и лесозаготовительной техникой и технологией – с другой [3–6]: это, во-первых, разработка технологий лесосечных работ, соответствующих применяемым лесозаготовительным машинам и в то же время предусматривающих возможность минимального нанесения повреждений компонентам насаждения – подросту, подлеску, оставляемым на корню деревьям, живому напочвенному покрову и т.д.; во-вторых, разработка новых лесозаготовительных машин, отвечающих требованиям лесозаготовительного производства и лесоводства, т.е. таких, которые не снижали бы продуктивность леса и его способность к возобновлению. Наиболее экономически эффективным признан первый путь,

поскольку не представляется возможным создать серийный ряд машин для всех возможных природно-производственных условий [7]. Цель данной работы состоит в изучении сохранности подроста после разработки лесосек многооперационной техникой.

Технологический процесс лесосечных работ с применением многооперационных машин заключается в следующем: спиливаемые деревья роняются на пасеку и протаскиваются вместе с кроной через подрост, уничтожая его. Готовые сортименты складываются на пасеку по обе стороны от технологического коридора, и также уничтожаются подрост. По мере удаления от волока к центру пасеки процент сохранности подроста увеличивается. На полосе, примыкающей к волоку, процент сохранности подроста низкий. На этой же полосе часть подроста уничтожается кронами деревьев, протаскиваемых через валочную головку, и при поворотах манипулятора на минимальном его вылете. При разработке лесосек в зимний период сохраняется подрост больше ввиду небольшой ширины разрабатываемой полосы древостоя и особенностей технологического процесса. В летний период показатель сохранности подроста значительно ниже, чем в зимний, что делает зимнюю заготовку леса более целесообразной с точки зрения сохранения подроста и молодняка. Процент повреждений подроста и почвенного покрова на территории лесосеки

распределяется неравномерно: больше в районе погрузочных пунктов и меньше в отдаленных частях лесосеки. Общий же средний процент на лесосеке зависит от площади, занимаемой волоками и погрузочными пунктами. Сохранность подроста, минерализация и уплотнение почвы, размер площади лесосеки, подверженной отрицательному воздействию лесосечных машин и персонала, определяется не столько техникой, сколько организацией работ, физико-механическими свойствами почвы, характеристиками древостоя, климатическими условиями или сезоном лесозаготовки; поэтому результаты исследований влияния многооперационных лесосечных машин на сохранность подроста и рекомендации исследователей по применению систем машин значительно отличаются [8–14].

Методика исследований

Исследования проводились на территории Алапаевского лесничества Свердловской области. С целью изучения сохранности подроста предварительной генерации на сплошных вырубках, разработанных многооперационной техникой, было подобрано 4 участка и заложено 4 пробные площади, из которых 2 были заложены в лесосеках зимней заготовки и 2-летней. Методика учета естественного возобновления базировалась на закладке учетных площадок, которые располагались вдоль волока (по его центру), на расстоянии 1,0, 4,0 и 6,0 м от края волока в глубину

пасеки. Размер учетных площадок 2,0×2,0 м, располагались они на равном расстоянии друг от друга в количестве 25 шт., таким образом было достигнуто равномерное размещение учетных площадок на пробной площади. На каждой ПП было заложено 100 учетных площадок, общее количество учетных площадок составляет 400 шт. [15, 16].

Учет сохранности подроста проводился по следующей программе: распределение количества деревьев по породному составу, высотной структуре, жизненному состоянию, в зависимости от удаленности от волока в глубь пасек, с последующим пересчетом на 1 га. По высоте подрост делился на следующие группы высот: растения высотой до 0,5 м представляют собой категорию мелкого подроста,

0,6–1,5 м – среднего подроста и выше 1,5 м – крупного подроста [16, 17].

По жизненному состоянию подрост подразделялся на категории жизнеспособный, сомнительный и нежизнеспособный. Жизнеспособный подрост хвойных пород характеризуется следующими признаками: густая хвоя, зеленая или темно-зеленая окраска хвои, заметно выраженная мутовчатость, островершинная или конусообразная симметричная густая или средней густоты крона протяженностью не менее 1/3 высоты ствола в группах и 1/2 высоты ствола при одиночном размещении, прирост по высоте за последние 3–5 лет не утрачен, прирост вершинного побега не менее прироста боковых ветвей верхней половины кроны, прямые неповрежденные

стволики, гладкая или мелкощуччатая кора без лишайников. К категории сомнительного подроста относились экземпляры, имеющие переходные признаки качества. К нежизнеспособному подросту относился тот, который имел явные признаки неудовлетворительного качества – предельно угнетенный или сухостойный подрост. При оценке жизнеспособности подроста в категорию жизнеспособного включали 50 % количества сомнительного подроста, а оставшиеся 50 % сомнительных и все нежизнеспособные экземпляры из расчетов исключали.

Характеристика объектов исследования

Лесоводственно-таксационная характеристика древостоев до рубки представлена в табл. 1.

Таблица 1
Table 1

Лесоводственно-таксационная характеристика древостоев до рубки
Forest management and taxation characteristics of stands before logging

№ ПП № TA	Состав Composition	Класс бонитета Class bonitet's	Полнота Completeness	Возраст, лет Age, years	Тип леса Type the woods	Средние Medium		Запас, м³/га Stock, m³/ha	Подрост Undergrowth		Вид и год рубки Type and year of logging
						диаметр, см diameter, cm	высота, м height, m		Состав Composition	Количество, шт./га Quantity, ps/ha	
1	5C1E4Б 5P1S4Б	IV	0,7	180	ББ	18	20	130	6C2K2Б	3019	CP (зима/ winter) 2011
2	7C1K2Б 7P1S2Б	IV	0,7	170	ББ	24	21	280	6C3E1Б	4800	CP (зима/ winter) 2011
3	7C2E1Б+П 7P2S1Б+F	IV	0,7	160	ББ	24	22	230	8C2K	4300	CP (лето/ summer) 2012
4	7C2E1П+Б 7P2S1F+B	IV	0,7	170	ББ	22	20	230	7C2K1E	4000	CP (лето/ summer) 2012

Все подобранные участки относятся к одному типу леса сосняк багульниково-брусничный, близки по составу до рубки с незначительной примесью ели, пихты и березы, одной группы возраста (перестойные), IV класса бонитета и относительной полнотой 0,7. На всех участках до рубки имелся хвойный подрост в количестве от 3,0 до 4,8 тыс. шт./га. В составе подростка до рубки доминировала сосна: от 6 до 8 единиц состава. На долю других пород (кедр, ель, береза) приходилось не более 3 единиц состава.

Результаты исследования и их обсуждение

Распределение подростка и всходов в зависимости от сезона заготовки древесины и удаленности от волока в глубь пасеки представлено в табл. 2. Наибольшее количество всходов наблюдается на волоках независимо от сезона заготовки и составляет более 8000 шт./га. Последнее можно объяснить тем, что при разработке лесосек на волоках происходило повреждение живого напочвенного покрова, составляющего конкуренцию появлению всходов. При зимней заготовке на волоках присутствует подрост всех пород-лесообразователей, характерных для Алапаевского лесничества, а при летней заготовке – только сосновый подрост.

Более 2/3 всего подростка, учтенного на волоках, относится к жизнеспособному. На расстоянии 1,0 м от волока количество всходов при зимней заготовке невелико – не более 1,8 тыс. шт./га, а при летней – 4–4,5 тыс. шт./га.

На расстоянии 1,0 м от волока зафиксировано максимальное количество поврежденного подростка, это связано с особенностью работы лесозаготовительной техники. А именно, в этой зоне происходит обрезка кроны и распиловка ствола дерева на сортименты и укладка их в пачки. При большей удаленности от волока, 4,0 и 6,0 м, сохранность, жизнеспособность и количество подростка выше независимо от сезона заготовки.

Распределение жизнеспособного подростка по крупности в зависимости от удаленности от волока представлено в табл. 3. Весь подрост хвойных пород на волоках представлен высотой до 0,5 м, т.е. мелким.

Средний и крупный подрост встречается только у березы и только при зимней заготовке, при летней заготовке подрост березы на волоках отсутствует. Чем дальше от волока, тем доля среднего и крупного подростка увеличивается, доля мелкого уменьшается.

Весь мелкий и часть среднего подростка относятся к подросту последующей генерации независимо от сезона рубки, т.е. он появился на лесосеке после рубки. Крупный подрост и часть среднего – это подрост предвальной генерации, т.е. тот, который был на участке до рубки и сохранился после заготовки древесины. Доля мягколиственного подростка (березы) значительно выше при зимней заготовке, чем при летней. Последнее объясняется биологической особенностью березы.

В составе подростка при зимней заготовке доминирует береза, на ее долю приходится более 6–7 единиц состава (табл. 4). Однако чем дальше от волока, тем доля хвойных пород увеличивается и составляет до 2–4 единиц состава. При летней заготовке наблюдается обратная ситуация. На волоке и на расстоянии до 4,0 м от волока в составе подростка преобладает сосна, на ее долю приходится от 5 до 10 единиц. На расстоянии 6,0 м от волока на долю сосны приходится только 3 единицы. Преобладающей породой в составе здесь является береза, на ее долю приходится 7 единиц. Общее количество подростка в пересчете на крупный больше на расстоянии 6,0 м от волока независимо от сезона заготовки, наименьшее количество – на волоках и расстоянии 1,0 м от волока в глубь пасеки.

Выводы

1. Объектом исследований являлись участки, пройденные сплошнолесосечной рубкой в зимний и летний периоды с применением многооперационной техники. Все подобранные участки относятся к одному типу леса сосняк багульниково-брусничный, близки по породному составу и возрасту до рубки, одного класса бонитета.

2. Спустя 7 лет после сплошной лесосечной рубки, выполненной многооперационной техникой, на волоках отмечается максимальное количество всходов сосны (до 10 000 шт./га), а минимальное – в глубине пасеки (до 1500 шт./га).

Таблица 3

Table 3

Распределение жизнеспособного подроста по крупности
в зависимости от удалённости от волока, шт./га
Distribution of viable undergrowth by size depending
on the distance from the portage, ps/ha

№ ПП № ТА	Поро- да Breed	Распределение жизнеспособного подроста по крупности в зависимости от удалённости от волока, м Distribution of viable undergrowth by size depending on the distance from the portage, m/											
		На волоке On the portage			1,0			4,0			6,0		
		0,1–0,5	0,6–1,5	>1,5	0,1–0,5	0,6–1,5	>1,5	0,1–0,5	0,6–1,5	>1,5	0,1–0,5	0,6–1,5	>1,5
Зимняя заготовка Winter harvesting													
1	С/Р	26	–	–	–	–	26	18	7	1	188	41	21
	Е/С	–	–	–	–	–	–	19	6	1	112	30	8
	К/С	53	–	–	–	–	–	99	31	2	160	29	11
	Л/Л	26	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Б/В	10	78	570	12	51	463	–	321	679	–	248	852
2	С/Р	100	–	–	56	19	–	112	31	7	187	42	21
	Е/С	–	–	–	–	–	–	75	21	4	338	97	15
	К/С	–	–	–	56	19	–	57	9	9	38	9	3
	Б/В	–	13	187	10	66	549	–	79	671	–	51	699
Летняя заготовка Summer harvesting													
3	С/Р	250	–	–	225	50	25	262	79	9	529	122	49
	Е/С	–	–	–	–	–	–	–	–	–	79	19	2
	К/С	–	–	–	38	10	2	–	–	–	–	–	–
	Л/Л	–	–	–	–	–	–	76	19	5	79	17	4
	Б/В	–	–	–	–	–	–	–	–	125	–	123	877
4	С/Р	200	–	–	300	70	30	305	80	15	465	150	55
	Е/С	–	–	–	–	–	–	–	–	–	89	21	10
	К/С	–	–	–	30	9	1	–	–	–	–	–	–
	Л/Л	–	–	–	–	–	–	50	25	5	90	12	8
	Б/В	–	–	–	–	–	–	–	50	100	–	150	875

Таблица 4

Table 4

Состав подроста и распределение жизнеспособного подроста
в пересчете на крупный в зависимости от удаленности от волока, шт./га
The composition of the undergrowth and distribution of viable undergrowth
in terms of large depending on the distance from the portage, ps/ha

№ ПП № ТА	Порода Breed	Расстояние от волока, м Distance from the portage, m			
		На волоке On the portage	1,0	4,0	6,0
Зимняя заготовка Winter harvesting					
1	С / P	13	26	16	148
	Е / S	–	–	15	85
	К / С	26	–	76	114
	Л / L	13	–	–	–
	Б / В	637	510	936	1050
	Итого / Total	689	536	1043	1397
	Состав подроста Composition of the undergrowth	10Б+КедС,Л	10Б+С	9Б1КедС,Е	7Б1С1К1Е
2	С / P	50	43	83	148
	Е / S	–	–	58	262
	К / С	–	43	45	29
	Б / В	197	607	734	740
	Итого / Total	247	693	920	1179
	Состав подроста Composition of the undergrowth	8Б2С	8Б1С1К	8Б1С1Е+К	6Б2С2ЕедК
Летняя заготовка Summer harvesting					
3	С / P	125	177	203	411
	Е / S	–	–	–	57
	К / С	–	30	–	–
	Л / L	–	–	58	57
	Б / В	–	–	125	975
	Итого / Total	125	207	386	1500
	Состав подроста Composition of the undergrowth	10С	9С1К	5С3Б2Л	7Б3С + Е,Л
4	С / P	100	236	232	407
	Е / S	–	–	–	72
	К / С	–	23	–	–
	Л / L	–	–	50	63
	Б / В	–	–	140	995
	Итого / Total	100	259	422	1537
	Состав подроста Composition of the undergrowth	10С	9С1К	6С3Б1Л	7Б3С + Е,Л

3. На волоках и на расстоянии 1,0 м от края волока преобладает мелкий подрост (подрост последующей генерации), а на большем расстоянии – средний и крупный (подрост предварительной генерации).

4. Максимальное количество уничтоженного подроста зафиксировано на расстоянии 1,0 м от края волока в глубь пасеки.

5. При незначительной доле березы в составе древостоя до рубки после зимней заготовки древесины в составе подроста

доминирует береза, а при летней заготовке – сосна.

6. На расстоянии 6,0 м от волока в глубь пасеки независимо от сезона заготовки сохранность, жизнеспособность и количество подроста значительно выше, чем на меньшем расстоянии.

Библиографический список

1. Рекомендации по лесовосстановлению и лесоразведению на Урале / В. Н. Данилик, Р. П. Исаева, Г. Г. Терехов, И. А. Фрейберг, С. В. Залесов, В. Н. Луганский, Н. А. Луганский. – Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. акад., 2001. – 117 с.
2. Залесов, С. В. Научное обоснование системы лесоводственных мероприятий по повышению продуктивности сосновых лесов Урала : дисертация на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук / Залесов Сергей Вениаминович. – Екатеринбург, 2000. – 435 с.
3. Повышение продуктивности лесов / Н. А. Луганский, С. В. Залесов, В. А. Щавровский. – Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 1995. – 297 с.
4. Сортиментная заготовка древесины / В. А. Азаренок, Э. Ф. Герц, С. В. Залесов, А. В. Мехренцев. – Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2015. – 140 с.
5. Герц, Э. Ф. Повышение лесоводственной эффективности несплошных рубок путем оптимизации валки назначенных в рубку деревьев / Э. Ф. Герц, С. В. Залесов // Лесное хозяйство. – 2003. – № 5. – С. 18–20.
6. Последствия применения сортиментной технологии при рубках спелых и перестойных насаждений / С. В. Залесов, А. Г. Магасумова, Ф. Т. Тимербулатов, С. В. Залесова, С. Н. Гаврилов // Аграрный вестник Урала. – 2013. – № 3 (109). – С. 44–46.
7. Залесов, С. В. Повышение продуктивности сосновых лесов Урала / С. В. Залесов, Н. А. Луганский. – Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2002. – 331 с.
8. Рекомендации по сортиментной заготовке древесины многооперационными машинами на территории Свердловской области / В. А. Азаренок, С. В. Залесов, Э. Ф. Герц, Г. А. Годовалов, Н. А. Луганский, А. Г. Магасумова, Е. С. Залесова, Е. П. Платонов. – Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2010. – 67 с.
9. Справочник сортиментных технологий заготовки древесины на базе многооперационных машин на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры / С. В. Залесов, В. А. Азаренок, Э. Ф. Герц, Н. А. Луганский, А. Г. Магасумова. – Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2009. – 88 с.
10. Залесов, С. В. Естественное лесовосстановление на вырубках Тюменского Севера / С. В. Залесов, Е. П. Платонов, К. И. Лопатин // Известие высших учебных заведений. Лесной журнал. – 1996. – № 4–5. – С. 51–58.
11. Луганский, Н. А. Лесоводство : учебник / Н. А. Луганский, С. В. Залесов, В. А. Азаренок. – Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. акад. – 320 с.
12. Азаренок, В. А. Экологизированные рубки леса : учебное пособие / В. А. Азаренок, С. В. Залесов. – Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2015. – 97 с.
13. Производительность сосняков ягодникового типа леса в условиях подзоны южной тайги Урала / Л. А. Белов, Е. С. Залесова, Н. А. Луганский, П. И. Рубцов, И. А. Фрейберг // Леса России и хозяйство в них. – 2016. – № 2. – С. 13–20.

14. Залесов, С. В. Рост и продуктивность сосняков искусственного и естественного происхождения / С. В. Залесов, А. Н. Лобанов, Н. А. Луганский. – Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2002. – 112 с.
15. Побединский, А. В. Изучение лесовосстановительных процессов. – Изд. 2-е, доп. и перераб. / А. В. Побединский. – Москва : Наука, 1966. – 90 с.
16. Основы фитомониторинга : учебное пособие / Н. П. Бунькова, С. В. Залесов, Е. А. Зотева, А. Г. Магасумова. – Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2011. – 89 с.
17. Данчева, А. В. Экологический мониторинг лесных насаждений рекреационного назначения / А. В. Данчева, С. В. Залесов. – Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2015. – 152 с.

Bibliography

1. Recommendations for reforestation and afforestation in the Urals / V. N. Danilik, R. P. Isaeva, G. G. Terekhov, I. A. Freyberg, S. V. Zalesov, V. N. Lugansky, N. A. Lugansky. – Yekaterinburg : Ural state forestry acad., 2001. – 117 p.
2. Zalesov, S. V. Scientific substantiation of the system of forestry measures to increase the productivity of pine forests of the Urals : Dis. ... Dr. S.-H. sci / Zalesov S.V. – Yekaterinburg, 2000. – 435 p.
3. Lugansky, N. A. Increase forest productivity / N. A. Lugansky, S. V. Zalesov, V. A. Shchavrowskiy. – Yekaterinburg : Ural state forestry un-ty, 1995. – 297 p.
4. Sortiment wood preparation / V. A. Azarenok, E. F. Gerts, S. V. Zalesov, A. V. Mehrentsev. – Yekaterinburg : Ural state forestry un-ty, 2015. – 140 p.
5. Hertz, E.F. Improving the forest management efficiency of non-continuous logging by optimizing the number of trees assigned to logging / E. F. Hertz, S. V. Zalesov // Forestry. – 2003. – No. 5. – P. 18–20.
6. Consequences of the use of assortment technology for cutting ripe and over-ripe plantings / S. V. Zalesov, A. G. Magasumova, F. T. Timerbulatov, S. V. Zalesova, S. N. Gavrilov // Agrarian bulletin of the Urals. – 2013. – № 3 (109). – P. 44–46.
7. Zalesov, S.V. Increase of productivity of pine forests of the Urals / S. V. Zalesov, N. A. Lugansky. – Yekaterinburg : Ural state forestry un-ty, 2002. – 331 p.
8. Recommendations for sorting wood by multi-operation machines on the territory of the Sverdlovsk region / V. A. Azarenok, S. V. Zalesov, E. F. Hertz, G. A. Godovalov, N. A. Lugansky, A. G. Magasumova, E. S. Zalesova, E. P. Platonov. – Yekaterinburg : Ural state forestry un-ty, 2010. – 67 p.
9. Reference book of sorting technologies for wood harvesting based on multi-operation machines on the territory of the Khanty-Mansi Autonomous okrug-Yugra / S. V. Zalesov, V. A. Azarenok, E. F. Gerts, N. A. Lugansky, A. G. Magasumova. – Yekaterinburg : Ural state forestry un-ty, 2009. – 88 p.
10. Zalesov, S. V. Natural regeneration on cutting areas of the Tyumen North / S. V. Zalesov, E. P. Platonov, K. I. Lopatin // News of higher educational institutions. Forest journal. – 1996. – №. 4–5. – P. 51–58.
11. Lugansky, N. A. Forestry: Textbook / N. A. Lugansky, S. V. Zalesov, V. A. Azarenok. – Yekaterinburg : Ural state forestry acad. – 320 p.
12. Azarenok, V. A. Ecologized logging: studies. benefit / V. A. Azarenok, S. V. Zalesov. – Yekaterinburg : Ural state forestry un-ty, 2015. – 97 p.
13. Productivity of berry-type pine forests in the conditions of the southern taiga subzone of the Urals / L. A. Belov, E. S. Zalesova, N. A. Lugansky, P. I. Rubtsov, I. A. Freyberg // Forests of Russia and agriculture in them. – 2016. – № 2. – P. 13–20.
14. Zalesov, S. V. Growth and productivity of pine trees of artificial and natural origin / S. V. Zalesov, A. N. Lobanov, N. A. Lugansky. – Yekaterinburg : Ural state forestry un-ty, 2002. – 112 p.
15. Pobedinskii, A. V. The Study of reforestation processes. – 2nd edition, supplemented and revised / A. V. Pobedinsky. – Moscow : Nauka publishing House, 1966. – 90 p.

16. The Basics of phytomonitoring : Proc. benefit / N. P. Bunkova, S. V. Zalesov, E. A. Zoteeva, A. G. Magasumova. – Yekaterinburg : Ural state forestry un-ty, 2011. – 89 p.
17. Dancheva, A.V. Ecological monitoring of forest plantations and recreational purpose / A. V. Dancheva, S. V. Zalesov. – Yekaterinburg : Ural state forestry un-ty, 2015. – 152 p.

УДК 630. 232.22

ВЛИЯНИЕ ЗАРАСТАНИЯ ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ, ВЫШЕДШЕЙ ИЗ-ПОД СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ ПАШНИ, НА ПОЧВУ

Т. А. КОРОВЯКОВА – бакалавр кафедры лесоводства*,
тел.: 8(963) 051-49-93, e-mail: rokota@bk.ru

Л. П. АБРАМОВА – кандидат сельскохозяйственных наук,
доцент кафедры лесоводства*,
тел.: 8(343) 262-51-88, e-mail: abramovalp@m.usfeu.ru

А. Г. МАГАСУМОВА – кандидат сельскохозяйственных наук,
доцент кафедры лесоводства*,
тел.: 8(343) 262-96-65, e-mail: magasumovaag@m.usfeu.ru

М. Н. ЗЕЙНАЛОВА – магистрант кафедры лесоводства*

* ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,
620100, Россия, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37,
тел.: 8(343) 262-51-88, e-mail: novopashina.m@bk.ru

Ключевые слова: лес, почва, тип почвы, вид почвы, род почвы, подтип почвы, состав древостоя, полнота, живой напочвенный покров, подлесок, средний диаметр, средняя высота.

Проведено изучение морфологических и агрохимических свойств почв пашни, зарастающей древесной растительностью, на территории Свердловского лесничества Департамента лесного хозяйства Свердловской области (в окрестностях поселка Марамзино). Район исследования принадлежит Двуреченскому почвенному району Свердловской области, таежной зоны Средне-Уральского таежного лесного района. Исследовалась серая лесная обычная среднemocная глинистая почва. На территории объекта проходило комплексное обследование с изучением всех компонентов насаждения (подроста, ЖНП, подстилки, почв и т.д.) общепринятыми методиками, для того чтобы выявить, как зарастание древесной растительностью повлияло на почву, которая вышла из-под сельскохозяйственного пользования. Исследованы четыре почвенных разреза, заложенных вместе: с наибольшей густотой сформировавшегося молодняка, под пологом прилегающего к бывшей пашне леса, на начальной стадии зарастания древесной растительностью и на бывшей пашне, не успевшей зарости древесной растительностью. Наибольшая густота сформировавшихся молодняков около стены леса – 10940 шт./га, возрастом 11 лет, составом 8С2Б и полнотой 0,68; средними диаметром 3,2 см, высотой 3,7 м. Прилегающая стена леса имеет состав 5С5Б, возраст 70 лет, полноту 0,6, запас 180 м³/га, среднюю высоту 19 м, средний диаметр 21 см. На начальной стадии зарастания пашни формируются молодняки составом 10С+Б, полнотой 0,1, густотой 1079 шт./га, средним возрастом 8 лет, диаметром 3,1 см, высотой 3,4 м. Обнаружена связь интенсивности зарастания пашни с выраженностью

протекания подзолистого процесса: чем более густая растительность сформировалась, тем интенсивнее выражен подзолистый процесс. Данные закономерности можно проследить по следующим показателям: увеличению мощности переходных горизонтов A_1A_2 и A_2B , увеличению в них гидролитической кислотности, а также уменьшению степени насыщенности почв основаниями и увеличению обменной кислотности, облегчению гранулометрического состава.

THE INFLUENCE ON SOIL WOODY VEGETATION, WHICH CAME FROM THE AGRICULTURAL USE OF ARABLE LAND

T. A. KOROVYAKOVA – bachelor student of department of forestry*,
phone: 8(963) 051-49-93, e-mail: rokota@bk.ru

L. P. ABRAMOVA – candidate of agricultural sciences,
assistant professor of the forestry chair*,
phone: 8(343) 262-51-88, e-mail: abramovalp@rambler.ru.

F. G. MAGASUMOVA – candidate of agricultural sciences,
assistant professor of the forestry chair,
phone: 8(343)262-51-88, e-mail: magasumovaag@m.usfeu.ru

M. N. ZEINALOVA – undergraduate student of department of forestry*
* FSBEI HE «The Ural state forest engineering university»
620100, Russia, Yekaterinburg, Sibirian tract, 37,
phone: 8(343) 262-51-88, e-mail: novopashina.m@bk.ru

Keywords: forest, soil, type of soil, kind of soil, type of soil, the composition of the stand, completeness, living ground cover (LGC), undergrowth, average diameter, average height.

A study of the morphological and agrochemical properties of arable soil, growing woody vegetation on the territory of the Sverdlovsk forestry Department of the Sverdlovsk region (in the vicinity of the village of Maramsino). The research area belongs to the Dvurechensky soil district of the Sverdlovsk region, the taiga zone of the Middle Ural taiga forest district. On this site, the gray forest, normal, medium-sized, clay soil was studied. On the territory of the object, a comprehensive survey was conducted with the study of all components of the plantation (undergrowth, LGC, litter, soil, etc.) conventional techniques, in order to identify how the overgrowth of woody vegetation affected the soil, which came out of agricultural use. Investigated four soil cut, laid in place with the greatest density of established juveniles under the canopy adjacent to the former arable land of the forest, at the initial stage of overgrowing woody vegetation on former arable land did not manage overgrown woody vegetation. Four soil sections were studied laid in the place with the highest density of the formed young growth, under the canopy of the forest adjacent to the former arable land, at the initial stage of overgrowing with woody vegetation and on the former arable land that has not had time to overgrow with woody vegetation. The highest density of young growth around the forest wall is 10940 PCs/ha, aged 11 years, composition of 8P2B and completeness of 0,68. Average diameter of 3,2 cm with a height of 3,7 m. the Adjacent wall of the forest has a composition 5P5Б, age 70 years, a completeness of 0.6, the stock 180 m³/ha, the average altitude is 19 m, the average diameter of 21 cm. At the initial stage of overgrowing of arable land formed a young squad 10P+B, the fulness of 0,1. density 1079 PCs/ha, average age 8 years, diameter 3,1 cm, height 3,4 m. The relationship between the intensity of overgrowth of arable land with the severity of the podzolic process, the denser vegetation

is formed, the more intense the podzolic process is. These regularities can be traced by the following indicators: an increase in the power of the transition horizons A_1A_2 and A_2B , an increase in their hydrolytic acidity, as well as a decrease in the degree of saturation of the soil bases and an increase in exchange acidity, a simplification of the granulometric composition.

Введение

В последние годы участки, которые использовались многие годы как сельскохозяйственные угодья, были исключены из аграрного использования в связи с низким плодородием почв, удаленностью от населенных пунктов, банкротством сельскохозяйственных предприятий и другими причинами [1, 2].

В 2017 г. в России выведено из оборота и не используется 98,6 млн га – 44 % всех сельскохозяйственных угодий страны. Об этом говорится в декабрьском мониторинге экономической ситуации, подготовленном РАНХиГС.

Сокращение площади сельскохозяйственных угодий характерно практически для всех субъектов Российской Федерации. Земли, исключенные из сельскохозяйственного использования, зарастают древесной растительностью, так как их почвенное плодородие является самой благоприятной средой для восстановления природных ландшафтов [3].

Целью изучения является установление влияния древесной растительности на морфологические и химические характеристики почвы брошенной пашни, находящейся на различных стадиях зарастания древесной растительностью на территории Свердловского лесничества Департамента лесного хозяйства Свердловской

области (около поселка Марамзино).

В разных регионах процессы зарастания неиспользуемых сельскохозяйственных земель исследовались разными учеными, такими как С. В. Залесов, Ю. А. Балашкевич, Э. А. Курбанов, А. В. Грязькин, Д. А. Данилов и др. [1, 3–8]. Многие из них в своих методических указаниях и статьях писали, что на землях, вышедших из хозяйственного оборота, произрастающие виды деревьев и кустарников наиболее высокопродуктивны по сравнению с теми, которые растут в естественных насаждениях.

Процесс зарастания древесными растениями земель, выбывающих из сельскохозяйственного оборота, по данным материалов полевых исследований, имеет определенные закономерности, которые предопределяются в основном климатическими и почвенными условиями, а также породным составом примыкающих лесных насаждений и наличием обсеменителей, хозяйственным использованием полей до их заброшенности, плодородием почв, размером и формой полей. Чем больше обсеменителей в прилегающих насаждениях, тем интенсивнее зарастание соответствующими породами и преобладание их в составе естественного возобновления.

Исследования также показали, что у молодняков, которые произ-

растают на неиспользуемых сельскохозяйственных землях, отличающихся по своим свойствам от лесных почв, отмечается увеличение диаметра у шейки корня по сравнению с подростом под пологом леса, формируется симметричная конусообразная крона и хорошее жизненное состояние [3].

Скорость зарастания участков зависит от размера брошенных полей. Участки размером до 10 га зарастают за несколько лет после вывода земель из сельскохозяйственного оборота. На участках в 100 га и более процесс может быть растянут на десятилетия. Ускорить процесс возможно осуществлением лесоводственных мероприятий, направленных на содействие возобновлению леса [1, 9].

Также было выявлено, что на количественные и качественные показатели подраста в молодняках, формирующихся на исключенных из сельскохозяйственного использования участках, оказывают влияние тип и подтип почвы, лесорастительная подзона, удаленность от стены древостоя и состав прилегающих древостоев [3, 10].

Нами было заложено 4 почвенных разреза: первый на участке заросшей пашни, где молодняк имеет наибольшую густоту, второй находится под пологом леса, примыкающего к пашне, третий – на бывшей пашне, еще не

успешней зарости древесно-кустарниковой растительностью, и четвертый – бывшая пашня на начальной стадии зарастания древесной растительностью. Также мы отобрали образцы почв из каждого горизонта для проведения агрохимического анализа горизонтов по общепринятым методикам [11].

Таксационная характеристика прилегающей к бывшей пашне стены леса и формирующихся молодняков представлена в табл. 1. Так как третий разрез находится на бывшей пашне, еще не успевшей зарости древесно-кустарниковой растительностью, на данном участке был лишь описан живой напочвенный покров, состоящий из одуванчика лекарственного (*Taraxacum*

officinale Webb.), мышиного горошка (*Vicia cracca* L.), клевера белого (*Trifolium repens* L.), вейника наземного (*Calamagrostis epigejos* (L.) Roth), ежи сборной (*Dactylis glomerata* L.), мятлика лугового (*Poa pratensis* L.).

Исследованная территория принадлежит к Двуреченскому почвенному району [12]. В ходе наших исследований было выявлено, что тип почвы на данном участке – серые лесные, подтип – серые лесные, род – обычный, вид – среднеспелый, разновидность почвы – глинистая.

Почва, на которой раньше произрастали сельскохозяйственные культуры, сейчас под влиянием появления древесных растений на ней меняет свои свойства. Древесная раститель-

ность, поселяясь на сельскохозяйственных угодьях, снижает почвенное плодородие, так как лесообразовательный процесс усиливает подзолистый процесс, ухудшает большинство показателей плодородия.

Были изучены морфологические признаки почвы на наших участках. Минимальное значение мощности гумусового горизонта отмечено во втором почвенном разрезе, который находится под пологом леса, а максимальное – в четвертом разрезе, который находится на начальной стадии зарастания. Почва в лесу более рыхлая, чем на пашне. Глубина протекания подзолистого процесса больше в первом разрезе (до 82 см). Во втором разрезе признаки подзолистого процесса

Таблица 1

Table 1

Таксационная характеристика древесной растительности
Taxation characteristics woody vegetation

№ почвенного разреза № soil section	Состав Stand composition	Элемент леса Forest element	Возраст, лет Age, years	Средние Average		Полнота Completeness	Густота, тыс. шт./га Density, thousand pieces/ha	Запас, м ³ /га Stock, m ³ /ha
				диаметр, см diameter, cm	высота, м height, m			
1	8С2Б	Сосна Pine	11	3,2	3,7	0,68	10940	25,5
		Береза Birch		2,1	4,3			
2	5С5Б	Сосна Pine	70	22,0	20,0	0,6	369	180,0
		Береза Birch		20,0	18,0			
4	10С+Б	Сосна Pine	8	3,4	3,1	0,10	1079	2,92
		Береза Birch		4,0	4,4			

обнаружены до глубины 41 см, в двух последних – до 50 см. По нашим исследованиям, гранулометрический состав горизонтов под пологом леса и под молодняком с максимальной сомкнутостью изменяется с глубиной. Верхние горизонты имеют глинистый гранулометрический состав, нижележащие – среднесуглинистый и нижние горизонты – тяжелосуглинистый и глинистый. На начальной стадии зарастания и на пашне, которая не заросла лесом, все горизонты характеризуются глинистым механическим составом, перепадов по гранулометрическому составу в этих почвенных разрезах не отмечено.

Ореховатая структура характерна для большинства горизонтов исследованной почвы. Во всех разрезах на бывшей пашне горизонт A_1 имеет зернисто-ореховатую структуру, однако данный горизонт должен иметь комковато-зернистую структуру, но поскольку почвы были заняты под сельскохозяйственное пользование, были уплотнены и это отразилось на структуре горизонта A_1 .

Был проведен агрохимический анализ почвенных горизонтов четырех почвенных разрезов общепринятыми методами (табл. 2). В разрезе № 2, который находится под пологом леса, наблюдается более интенсивный подзолистый процесс, который выражается в уменьшении обменной кислотности в горизонтах A_2B_1 – сильнокислая реакция и A_1A_2 – кислая реакция. В этом разрезе отмечены также уменьшение суммы обменных

оснований до 10,5 мг-экв / 100 г почвы A_2B_1 и средняя насыщенность почв основаниями в горизонте A_2B_1 , равная 66,0 %. Данный разрез характеризуется наименьшей объемной массой в горизонте A_1 , а также зернисто-комковатой структурой и наибольшей порозностью.

Разрез № 3, который не зарос древесной растительностью, характеризуется нейтральной и слабокислой реакцией, горизонт A_1A_2 богат фосфором и имеет высокие показатели по сумме обменных оснований, ёмкости поглощения и степени насыщенности почв основаниями.

Агрохимические показатели горизонтов четвертого разреза (начальная стадия зарастания) занимают промежуточные значения между показателями первого и третьего разрезов. На начальной стадии зарастания начинают появляться слабые признаки усиления подзолистого процесса, что выражается в уменьшении величины обменной кислотности (рН слабोकислая и кислая), суммы обменных оснований, ёмкости поглощения, степени насыщенности почв основаниями (за исключением горизонта A_1) по сравнению с таковыми на других разрезах на пашне.

Агрохимические показатели разреза № 1 (максимальная сомкнутость древесного полога древостоя) занимают промежуточные значения между показателями четвертого (начальная стадия зарастания) и второго разрезов (под пологом леса).

Если расположить в ряд разрезы по уменьшению выражен-

ности подзолистого процесса, то наиболее он выражен во втором разрезе, под пологом леса; затем идет первый разрез – с максимальной сомкнутостью; дальше четвертый разрез – на начальной стадии зарастания; и в конце – третий разрез, который находится на бывшей пашне, не заросшей древесной растительностью. Таким образом, можно сделать вывод, что при поселении древесной растительности в почвах пашни идет усиление подзолистого процесса, причем он тем ярче выражен, чем больше густота формирующегося древостоя. В теории описанные нами процессы ожидаемые и известные, но удивляет скорость изменений. Слишком быстро проявились признаки подзолистого процесса под появившейся древесной растительностью. Возможно, на месте бывшей пашни произрастал лес, потом эта территория была раскорчевана и отдана под сельскохозяйственное пользование, возможно, мы наблюдаем следы почвообразовательного процесса под пологом существовавшего леса на этой территории до пашни. Но достоверно установить историю данного участка не удалось. Для полной уверенности в происходящих процессах необходимо хотя бы в 5-кратной или еще лучше в 10-кратной повторности определить вариабельность изучаемых параметров. Так, по одним разрезам и пробам говорить об изменениях в целом рано. Замеченные различия на следующий сезон надо обосновать статистическим материалом, а это большая объемная работа.

Таблица 2

Table 2

Агрохимические показатели почв
Agrochemical parameters of soils

Горизонт Horizont	Глубина взятия образца, см Depth, cm	Скелет почвы, % Scaletest, %	Удельная масса Specific gravity	Объемная масса, г/см ³ Volume weight, g/cm ³	Порозность, % Porosity, %	рН, КСІ	K ₂ O	P ₂ O ₅	H	S	E	V, %
							мг на 100 г почвы mg per 100 g of soil		мг-экв/100 г почвы mEq/100 g soil			
Разрез 1 (с максимальной сомкнутостью древостоя) Soil section 1 (with a maximum density of tree stand)												
A ₁	2-37	7,6	2,57	1,23	52	5,8	4,8	1,25	2,63	16,0	18,63	86,0
A ₂ B ₁	37-82	1,4	2,62	1,28	51	5,4	4,7	0	2,90	14,1	17,00	82,9
B ₁	82-103	1,0	2,53	1,18	46	5,2	4,6	1,25	2,60	19,5	22,10	88,0
B ₂	103-147	0,2	2,56	0,99	61	5,8	4,8	0	1,31	13,0	14,31	91,0
B ₃	147-157	8,1	2,57	1,13	56	6,0	7,7	1,25	0,96	9,3	10,26	90,6
Разрез 2 (под пологом леса) Soil section 2 (under the forest canopy)												
A ₁	4-18	0	2,55	0,90	65	5,8	7,0	1,25	4,80	20,0	24,80	80,6
A ₁ A ₂	18-28	3,3	2,72	1,31	52	5,2	7,0	0	3,50	12,5	16,00	78,1
A ₂ B ₁	28-41	3,4	2,60	1,42	45	4,4	6,0	1,25	7,53	10,5	18,03	66,0
B ₁	41-76	1,5	2,70	1,22	55	4,8	8,0	0	3,76	12,5	16,26	76,9
B ₂	76-108	0	2,51	1,02	53	5,0	14,0	1,25	2,19	22,8	24,99	91,2
B ₃	108-132	0,2	2,70	0,84	53	5,2	5,0	0	1,84	13,6	15,44	88,1
B ₄	108-132	0	2,60	0,86	68	4,6	5,0	0	1,57	17,1	18,67	91,6
Разрез 3 (на бывшей пашне, не заросшей древесной растительностью) Soil section 3 (on the former arable land, not overgrown with woody vegetation)												
A ₁	0-1	0,5	2,44	1,03	58	7,0	0	2,5	5,43	33,6	39,03	86,0
A ₁ A ₂	1-43	2,0	2,5	1,25	50	6,2	5,3	10	4,25	32,0	36,25	87,2
A ₂ B ₁	43-51	1,3	2,56	1,29	50	6,2	0	1,25	3,06	34,2	37,26	91,8
B ₁	51-104	0	2,65	1,42	46	5,4	5,7	2,5	1,57	16,1	17,67	91,0
B ₂	104-168	0,5	2,58	1,33	48	5,8	0	1,25	1,93	20,6	22,53	91,4
Разрез 4 (на начальной стадии зарастания) Soil section 4 (at the initial stage of overgrowth)												
A ₁	0-2	3,5	2,38	1,19	50	6,2	4,8	1,25	5,50	38,0	43,51	87,3
A ₁ A ₂	2-50	24,7	2,56	1,23	52	5,0	4,2	1,25	4,98	22,3	27,28	82,0
B ₁	50-89	1,7	3,41	1,28	63	6,4	11,8	1,25	3,90	20,6	24,50	83,9
B ₂	89-108	0	2,44	1,25	51	5,2	4,2	1,25	3,59	24,2	27,79	87,1

Примечание. Н – гидролитическая кислотность, S – сумма обменных оснований, E – ёмкость поглощения, V – степень насыщенности почв основаниями.

Note. H – hydrolytic acidity, S – sum of exchange bases, E – absorption capacity, V – degree of soil saturation bases.

Вывод

Под влиянием зарастания древесной растительностью в почвах бывшей пашни начинает проявляться подзолистый процесс. Наиболее ярко он выражен

под пологом леса, в меньшей степени – под молодняком с максимальной сомкнутостью полога, слабо выражен в местах только начинающегося зарастания и совсем не прослеживается на тех

участках, которые еще не заросли молодым поколением леса. Об этом свидетельствуют некоторые показатели – гидролитическая кислотность, степень насыщенности основаниями и обменная кислотность.

Библиографический список

1. Балашевич, Ю. А. Зарастание бывших сельскохозяйственных земель древесной растительностью / Ю. А. Балашевич // Актуальные проблемы лесного комплекса. – Брянск, 2006. – Вып. 13. – С. 4–6.
2. Юровских, Е. В. Причины сокращения площади сельскохозяйственных земель из активного использования на примере Свердловской области / Е. В. Юровских, А. Г. Магасумова, С. В. Залесов // Аграрная наука – сельскому хозяйству: XI международная научно-практическая конференция. – Барнаул : АГАУ, 2016. – С. 460–461.
3. Коровякова, Т. А. Влияние зарастания древесной растительностью на почву пашни, вышедшей из-под сельскохозяйственного пользования / Т. А. Коровякова, Л. П. Абрамова // Лесная наука в реализации концепции уральской инженерной школы : социально-экономические и экологические проблемы лесного сектора экономики : материалы XII Международной научно-технической конференции. – Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2019. – С. 192–195.
4. Рост лиственных древостоев на бывших пашнях / С. В. Залесов, Е. В. Юровских, Л. А. Белов, А. Г. Магасумова, А. С. Оплетев // Аграрный вестник Урала. – 2015. – № 5 (135). – С. 50–54.
5. Карабан, А. А. Естественное лесовозобновление на землях, выведенных из сельскохозяйственного оборота в средней подзоне тайги Архангельской области / А. А. Карабан, В. В. Беляев, О. Д. Кононов // Возобновляемые лесные ресурсы : инновационное развитие в лесном хозяйстве : материалы Международной конференции. – Санкт-Петербург : Соло, 2012. – С. 165–170.
6. Новоселова, Н. Н. Формирование древесной растительности на бывших сельскохозяйственных угодьях / Н. Н. Новоселова, С. В. Залесов, А. Г. Магасумова. – Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2016. – 106 с.
7. Формирование лесных фитоценозов на заброшенных землях сельскохозяйственного назначения / М. А. Новикова, А. В. Грязькин, Н. В. Беляева, Х. М. Хетагуров, В. З. Нгуен // Аграрный научный журнал. – 2016. – № 6. – С. 29–33.
8. Zalesov, S. V. Effectiveness of larch stands creation on former agricultural lands / S. V. Zalesov, A. G. Magasumova, A. S. Opletaev // Ecological Agriculture and Sustainable Development. – 2019. – № 1. – P. 69–76.
9. Использование брошенных сельскохозяйственных земель для лесовыращивания / Е. В. Торцев, А. В. Кудряшев, А. А. Козлов, А. И. Огнев // Сельские леса России: прошлое, настоящее, будущее : материалы Международного семинара. – Санкт-Петербург : СПбНИИЛХ, 2004. – С. 120–127.
10. Возобновление ели и сосны на постагrogenных землях в Ленинградской области / Д. А. Данилов, С. С. Мандрыкин, В. И. Шестаков, Т. А. Шестакова // Актуальные проблемы лесного комплекса : сборник научных трудов. – Вып. 51. – Брянск: БГИТУ, 2018. – С. 28–31.
11. Аринушкина, Е. В. Руководство по химическому анализу почв / Е. В. Аринушкина. – Москва : МГУ, 1970. – 488 с.
12. Гафуров, Ф. Г. Почвы Свердловской области / Ф. Г. Гафуров. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2008. – 396 с.

Bibliography

1. Balashevich, Y. A. Overgrowing of former agricultural lands woody vegetation / Y. A. Balashevich // Actual problems of forest complex. – Bryansk, 2006. – Issue. 13. – P. 4–6.
 2. Yurovskikh, E. V. Reasons for reducing the area of agricultural land from active use on the example of the Sverdlovsk region / E. V. Yurovskikh, A. G. Magasumova, S. V. Zalesov // Agricultural science – to agriculture : XI international scientific and practical conference. – Barnaul : AGAU, 2016. – P. 460–461.
 3. Korovyakova, T. A. The influence of woody vegetation on arable land which is out of the agricultural use / T. A. Korovyakova, L. P. Abramova // Forest science in the implementation of the concept of the Ural engineering school: socio-economic and environmental problems of the forest sector of the economy: materials of the XII International scientific and technical conference / Ministry of science and higher education of the Russian Federation; Ural state forestry University. – Yekaterinburg, 2019. – P. 192–195.
 4. The growth of larch stands on the former arable land / S. V. Zalesov, E. V. Yurovskikh, L. A. Belov, A. G. Magasumova, A. S. Opletaev // Agrarian Bulletin of the Urals. – 2015. – No. 5 (135). – P. 50–54.
 5. Karaban, A. A. Natural reforestation on the lands withdrawn from agricultural turnover in the middle subzone of taiga of Arkhan-gel region / A. A. Karaban, V. V. Belyaev, O. D. Kononov // Renewable forest resources : innovative development in forestry : mater. International. Conf. – Sankt-Peterburg : Solo, 2012. – P. 165–170.
 6. Novoselova, N. N. Formation of woody vegetation on former agricultural land / N. N. Novoselova, S. V. Zalesov, A. G. Magasumova. – Yekaterinburg : Ural. state forestry. un-ty, 2016. – 106 p.
 7. The formation of forest phytocenoses on abandoned agricultural land / M. A. Novikova, A. V. Gryazkin, N. V. Belyaeva, H. M. Khetagurov, V. Z. Nguyen // Agricultural scientific journal. – 2016. – No. 6. – P. 29–33.
 8. Zalesov, S. V. Effectiveness of larch stands creation on former agricultural lands / S. V. Zalesov, A. G. Magasumova, A. S. Opletaev // Ecological Agriculture and Sustainable Development. – 2019. – № 1. – P. 69–76.
 9. Tortsev E. V. Use of abandoned agricultural land for forest cultivation / E. V. Tortsev, A. V. Kudryashov, A. A. Kozlov, A. I. Ognev // Rural forests of Russia : past, present, future : Materials international work Shop. – Sankt-Peterburg : St. Petersburg forestry research Institute, 2004. – P. 120–127.
 10. The resumption of spruce and pine on post-agrogenic lands in the Leningrad region / D. A. Danilov, S. S. Mandrykin, V. I. Shestakov, T. A. Shestakova // Actual problems of the forest complex : Collection of scientific papers. – Issue 51. – Bryansk : BSTU, 2018. – P. 28–31.
 11. Arinushkina, E. V. Guidelines for chemical analysis of soils / E. V. Arinushkina. – Moscow : MSU, 1970. – 488 p.
 12. Gafurov, F. G. Soils of Sverdlovsk region / F. G. Gafurov. – Yekaterinburg : Ural University Publishing House, 2008. – 396 p.
-

УДК 630*421:630*5:630*176.321.3

О ВЛИЯНИИ ВЕТРОВАЛА НА СООТНОШЕНИЕ ДИАМЕТРОВ И ВЫСОТ В ДЛИТЕЛЬНО-ПРОИЗВОДНОМ БЕРЕЗНЯКЕ ХВОЩОВО-ВЕЙНИКОВОМ

Ю. М. АЛЕСЕНКОВ – кандидат биологических наук,
старший научный сотрудник*,
e-mail: 051946@mail.ru

Г. В. АНДРЕЕВ – кандидат сельскохозяйственных наук,
старший научный сотрудник*,
e-mail: 8061965@mail.ru

С. В. ИВАНЧИКОВ – старший инженер*,
e-mail: 051946@mail.ru

Л. А. БЕЛОВ – кандидат сельскохозяйственных наук,
доцент кафедры лесоводства**,
e-mail: bla1983@yandex.ru

А. И. ЧЕРМНЫХ – кандидат сельскохозяйственных наук,
доцент кафедры лесоводства**

* Учреждение Российской академии наук Ботанический сад УрО РАН,
620144, Россия, Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202а

** ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,
620100, Россия, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37,
тел.: 8 (343) 261-52-88

Ключевые слова: Висимский заповедник, длительно-производный березняк хвощово-вейниковый, соотношение высоты и диаметра.

Охарактеризовано соотношение диаметра и высоты деревьев, изменившееся после ветровала в длительно-производном березняке хвощово-вейниковом. Степень напряжённости конкурентных отношений, а также его устойчивость к воздействию ветра в древостое может быть определена отношением высоты дерева к площади его сечения (или к квадрату диаметра). Исследования проведены в Висимском государственном природном биосферном заповеднике Свердловской области, расположенном в 25 км к западу от г. Кировграда. Согласно лесорастительному районированию исследования проводились на территории Уральской горно-лесной области Среднеуральской провинции в южно-таёжном лесорастительном округе. В результате проведённых исследований для всех тёмнохвойных видов и берёзы младшего поколения более адекватным из существующих уравнений зависимости высоты от диаметра оказалось степенное уравнение, а у берёзы пушистой старшего поколения – гипербола. Подробный анализ использованных уравнений показал, что они с необходимой точностью отображают закономерную связь высоты с диаметром для компонентов насаждения. Вычисленную высоту можно адекватно использовать для определения запаса древостоя по объёмным таблицам, а также уверенно судить по ней о конкурентных взаимоотношениях в древостое разных видов древесных пород. Высота ели, пихты и кедра была больше у послеветровального ельника хвощово-мелкотравного ранее изученного древостоя этого же типа лесорастительных условий. В результате сильного разрушения (90 %) древостоя снизилась относительная полнота и значительно увеличилась освещённость. Это обусловило больший рост кроны по диаметру и соответствующий больший радиальный прирост ствола, чем прирост в высоту. Сильный распад древостоя обусловил меньшую высоту, чем по существующим региональным объёмным таблицам тонкомерных деревьев берёзы послеветровального происхождения и кедра.

ABOUT INFLUENCE OF WINDFALL TO CORRELATION BETWEEN DIAMETER AND HEIGHT IN LONG-TERM SECONDARY HORSE-TAIL AND REED-GRASS BIRCH STAND

YU. M. ALESENKOV – candidate of biology, Senior research scientist*,
e-mail: 051946@mail.ru

G. V. ANDREEV – candidate of agricultural sciences, Senior research scientist*,
e-mail: 8061965@mail.ru

S. V. IVANCHIKOV – senior engineer*,
e-mail: 051946@mail.ru

L. A. BELOV – candidate of agricultural sciences,
assistant professor of forestry chair**,
e-mail: bla1983@yandex.ru

A. I. CHERMNYKH – candidate of agricultural sciences,
assistant professor of forestry chair**

* Botanical garden of Ural branch Russian academy of sciences,
620144, Russia, Yekaterinburg, 8 Marta str., 202a,
phone: +7 (343) 322-56-36

** FSBEI HE «Ural State Forest Engineering University»,
620100, Russia, Yekaterinburg, Sibirian tract, 37,
phone: +7 (343) 261-52-88

Keywords: *Visim reserve, long-term secondary horse-tail and reed-grass birch stand, correlation between height and diameter.*

The relation between diameter and height of trees changed after windfall in long-term secondary horse-tail and reed-grass birch stand had been characterized. The degree of tension of competitions relations, and also its stability to wind influence in stand may be determined with relation tree height to his basal area (or to square of diameter). The investigations had been carried out in Visim state biospherical nature reserve at Sverdlovsk region in 25 km to west from Kirovgrad town. This is Ural mountain-forest region, Middle Ural low-mountainous province, southern taiga district in correspondingly forest grow districting. The most adequate from given equations height diameter relation for all dark coniferous species and birch of young generation was power equation and in trees of old white birch generation hyperbolic equation in results of conducted investigations. The detail analysis of used equation shown, that they with necessary accuracy reflected regular relation height-diameter for forest components. Estimated height one can adequate for determination of stand yield with volume tables and surely judge about of competition correlations of different species forest species in stand. The spruce, fir and cedar height was bigger in post wind-throw horse-tail and small herbs spruce earlier investigated stand this forest site type. The relative density decreased and considerably increased lighting with result of intense destruction (90% by volume). This caused bigger crown diameter growth, than height growth. The intense destruction of stand caused smaller height, than in existence regional volume tables of slender measure young birch trees of post wind-throw generations and cedar.

Введение

Кривая высот (зависимость высот от диаметров) характеризует сбежистость стволов, т. е.

их полнодревесность [1, 2, 3]. В преобразованном виде отношение высоты деревьев к площади сечения деревьев или к ква-

драту их диаметра [4] показывает степень напряжённости конкурентных отношений в древостое, дифференциацию нижнего яруса

древостоя и подроста [5, 6, 7], а также устойчивость древостоя [8, 9, 10, 11].

Эта зависимость также применяется и при определении объёмов древесных стволов по наиболее широко используемым двухвходовым объёмным таблицам (аналогу Баварских объёмных таблиц) – по их диаметру и высоте [1].

Ранее авторами [12] исследовались соотношения диаметров и высот основных лесобразующих пород (берёзы, ели, кедр и пихты) разновозрастного ельника хвощово-мелкотравного, затронутого массовым ветровальном, но без выраженной смены пород.

Для чистых берёзовых насаждений, представляющих собой либо длительно-производные монодоминантные берёзовые древостои лишь со вторым ярусом ели, либо устойчиво-производные березняки до 120-летнего возраста, подобные исследования на Среднем Урале были сделаны ранее [13].

Однако вычисление соотношения высот и диаметров основных лесобразующих пород (берёзы, ели, кедр и пихты) в длительно-производных березняках горного Урала, находящихся на стадиях распада, ранее не проводилось.

Цель данной работы состояла в получении количественных показателей зависимости высот от диаметров в длительно-производном березняке хвощово-мелкотравном, пострадавшем от ветровала и находящемся на стадии естественного распада берёзы,

которые послужат основой вычисления запаса древесины.

Объекты исследования

Объект исследований расположен на территории Висимского государственного природного биосферного заповедника Свердловской области в 25 км к западу от г. Кировграда. Это Уральская горно-лесная область, Среднеуральская низкогорная провинция, южно-таёжный лесорастительный округ [14].

Местоположение и детальная характеристика древостоя и его динамика, а также описание типа лесорастительных условий авторами были даны ранее [15, 16].

Количественные показатели древостоя ППП перечёта 2012 г. показаны в табл. 1, где приведён состав в процентах по запасу и количеству деревьев, средний возраст и его амплитуда A , средняя высота H , средний диаметр D , количество деревьев N , сумма площадей сечений ΣG , полнота P или сомкнутость и запас стволовой древесины M .

Наибольшую долю по запасу (53 %) составляет берёза старшего поколения (Бст) и ель (Е) – (38 %), а менее всего – кедр (К) (1 %). По количеству деревьев преобладает берёза младшего (Бмл) послеветровального происхождения. Ель, кедр и пихта (П) имеют доветровальное происхождение. По существующим лесотаксационным нормативам ($p < 0,3$) по перечётам 2010 и 2012 гг. древостой представляет собой не покрытую лесом площадь – ветровальник.

Методика исследований

В июне 2012 г. был сделан замер высот и диаметров у 29 тонкомерных деревьев берёзы послеветровального поколения и 6 крупномерных деревьев берёзы старшего возраста, 34 деревьев ели, 21 дерева кедр и 25 деревьев пихты. Кедр и пихта представлены тонкомерными деревьями, возникшими из сохранившегося подроста и тонкомера. Всего было сделано 115 замеров высот и диаметров.

Использовались несколько видов уравнений аппроксимации зависимости высот от диаметров ели: прямая линия, парабола (полином) второго порядка, степенное (аллометрическое), логарифмическое уравнения, а также гиперболола [17].

Предварительный анализ графиков кривых высот, выполненный в электронных таблицах MS Excel, выявил наиболее адекватные уравнения по коэффициенту детерминации. Уравнения в дальнейшем были проанализированы в программе Statistica v. 6.0: вычислялась значимость коэффициентов уравнений по t -критерию Стьюдента, а также был проведён дисперсионный анализ уравнений. После этого в электронных таблицах MS Excel вычислялись в процентах систематические ошибки, относительные среднеквадратические отклонения, а также точность уравнений. На основе этих расчётов подбирались наиболее адекватные уравнения.

Таблица 1
Table 1

Количественная характеристика растущей части ППП-47
The quantitative characteristic of living stand of simple plot-47

Состав, % Composition, %		Компонент насаждения Planting component	А, лет Age, years	Н, м Height, m	Д, см Diameter, sm	N, экз./га Density, unit/ha	ΣG, м ² /га Total Basal area, m ² /ha	P relative density	M, м ³ /га Volume, Cubic, m ³ /ha
По M Vulume	По N For N of trees								
Перечёт 2010+2012 гг. с прирезкой до 1 га Enumeration of 2010+2012 years with edition to 1 ha									
53	1	Бст (birch of old generation)	208 (202-214)	20,4	35,2	21	2,0446	0,09	17,060
38	17	Е (spruce)	171 (51-237)	7,0	10,6	238	2,1162	0,11	12,217
4	13	П (fir)	55 (43-81)	3,8	5,1	191	0,3968	0,03	1,248
1	3	К (cedar or Siberian pine)	60-70	3,8	6,9	40	0,1407	0,01	0,352
5	66	Бмл (birch of young generation)	10	3,2	2,9	941	0,6149		1,608
		Итого Total				1431	5,3132	0,24	32,485

**Результаты
и их обсуждение**

В табл. 2 приведены характеристики коэффициентов принятых уравнений, в табл. 3 – дисперсионный анализ, в табл. 4 – детальные характеристики уравнений зависимости высот от диаметров, а в табл. 5 – выравненные значения высот ели, берёзы, пихты и кедра.

Для берёзы характерно наличие двух поколений: старшего и молодого послеветровального. Поэтому были составлены разные уравнения для отдельных поколений.

Наиболее адекватной кривой высот старшего поколения берёзы оказалась гипербола:

$$y = a + b/x.$$

Для младшего поколения берёзы, а также ели, кедра и пихты зависимость высот от диаметров наиболее адекватно отображается степенным уравнением, в котором оба коэффициента оказались значимы по *t*-критерию:

$$y = ax^b.$$

Дисперсионный анализ (см. табл. 3) также подтвердил адекватность этого уравнения. Для ели, кедра и пихты зависимость

высоты от диаметра также отображается аллометрическим (степенным) уравнением. Все коэффициенты уравнений оказались значимыми по *t*-критерию Стьюдента. Дисперсионный анализ уравнений подтвердил наибольшую адекватность этого уравнения по сравнению с другими.

По результатам анализа кривых высот (зависимости высот от диаметров) можем сделать вывод, что уравнения для всех лесообразующих видов являются адекватными (см. табл. 4). Наибольший коэффициент детерминации (R^2) уравнений

зависимости высот от диаметров характерен для ели (0,948), а наименьший – для старшего поколения берёзы (0,680). Систематическая ошибка уравнений не превышает ±5%. Наименьшей она оказалась в уравнении кривых высот пихты (-0,2%),

а наибольшей (+0,9%) – ели. Наименьшее относительное среднеквадратическое отклонение уравнения кривой высот характерно для берёзы младшего поколения (5,7%), а наибольшее – для уравнения ели (14,7%), что обусловлено её разновоз-

растностью. Точность уравнений находится в пределах 5%, что является достаточным для лесобиологических исследований. Наибольшая точность уравнения характерна для младшего поколения берёзы (1,7%), а наименьшая – для кедра (2,9%).

Таблица 2
Table 2

Характеристика коэффициентов уравнений кривых высот
Characteristics of indexes of equations height diameter relations curves

Коэффициенты уравнения Indexes	Значение Sign	Стандартная ошибка Standard error	t-критерий t-ratio	Значимость Significant level	Нижнее значение Lower level	Верхнее значение Upper level
Берёза старшая уравнение $y = a + b/x$ Birch of old generation equation $y = a + b/x$						
a	24,108	1,933	12,472	0,000	18,741	29,475
b	-136,782	46,932	-2,914	0,043	-267,087	-6,477
Берёза младшая уравнение $y = ax^b$ Birch of young generation equation $y = ax^b$						
a	1,558	0,095	16,424	0,000	1,363	1,752
b	0,688	0,047	14,796	0,000	0,593	0,784
Ель уравнение $y = ax^b$ Spruce equation $y = ax^b$						
a	0,805	0,1245	6,442	0,000	0,550	1,059
b	0,913	0,052	17,617	0,000	0,808	1,019
Пихта уравнение $y = ax^b$ Fir equation $y = ax^b$						
a	1,322	0,158	8,381	0,000	0,995	1,648
b	0,639	0,063	10,105	0,000	0,509	0,770
Кедр уравнение $y = ax^b$ Cedar equation $y = ax^b$						
a	1,189	0,208	5,724	0,000	0,754	1,623
b	0,599	0,088	6,829	0,000	0,415	0,782

Таблица 3

Table 3

Дисперсионный анализ адекватных уравнений кривых высот
Analysis of variance adequate of equations height diameter relations curves

Причина дисперсия Source of Variance	Сумма квадратов отклонений Sum Squares	Число степеней свободы Degree of freedom	Средний квадрат Mean Square	F-критерий F-ratio	Значимость Significant level
Берёза старшая уравнение $y = a + b/x$ Birch of old generation equation $y = a + b/x$					
Регрессия Regression	2113,069	2	1056,535	601,1073	0,000011
Отклонения Residual	7,031	4	1,758		
Общая Total	2120,100	6			
Correct total	21,960	5			
Regr. vc correct total	2113,069	2	1056,535	240,559	0,000011
Берёза младшая уравнение $y = ax^b$ Birch of young generation equation $y = ax^b$					
Регрессия Regression	362,667	2	181,333	2098,328	0,000
Отклонения Residual	2,333	27	0,086		
Общая Total	365,000	29			
Correct total	20,1724	28			
Regr. vc correct total	362,6667	2	181,333	251,697	0,000
Ель уравнение $y = ax^b$ Spruce equation $y = ax^b$					
Регрессия Regression	3117,144	2	1558,572	1176,933	0,000
Отклонения Residual	42,376	32	1,324		
Общая Total	3159,520	34			
Regr. vc correct total	817,260	33			
Regr. vc correct total	3117,144	2	1558,572	62,933	0,000
Пихта уравнение $y = ax^b$ Fir equation $y = ax^b$					
Регрессия Regression	385,944	2	192,972	639,712	0,000
Отклонения Residual	6,9381	23	0,302		
Общая Total	392,882	25			
Regr. vc correct total	38,3136	24			
Regr. vc correct total	385,9444	2	192,972	120,880	0,000

Окончание табл. 3
The end of table 3

Причина дисперсия Source of Variance	Сумма квадратов отклонений Sum Squares	Число степеней свободы Degree of freedom	Средний квадрат Mean Square	F-критерий F-ratio	Значимость Significant level
Кедр уравнение $y = ax^b$ Cedar equation $y = ax^b$					
Регрессия Regression	283,715	2	141,858	584,023	0,000
Отклонения Residual	4,615	19	0,243		
Общая Total	288,330	21			
Regr. vc correct total	18,326	20,000			
Regr. vc correct total	283,715	2,000	141,857	154,818	0,000

Таблица 4
Table 4

Общая характеристика уравнений кривых высот ППП-47
Common characteristics of equations height diameter relations curves

Порода Tree species	Уравнение Equation	Коэффициенты Indexes		R ²	Систем. ошибка, % System Error, %	Среднеквадр. откл., % Relative standard Error, %	Точность уравнения, % Accuracy of equations
		a	b				
Бст Birch old	$y = a + b/x$	24,1	-136,8	0,680	-0,3	6,3	2,6
Бмл Birch young	$y = axb$	1,558	0,688	0,884	+0,2	5,7	1,7
Е Spruce	$y = axb$	0,805	0,913	0,948	+0,9	14,7	2,5
П Fir	$y = axb$	1,322	0,639	0,819	-0,2	14,0	2,8
К Cedar	$y = axb$	1,189	0,599	0,748	+0,3	13,4	2,9

В табл. 5 приведены выравненные значения высот берёзы, ели, кедра и пихты. В ступенях толщины по 6 см включительно у пихты высота больше, чем у ели, а в более крупных (ступень с 7 по 12 см) наоборот. В ступенях толщины до 8 см наибольшие высоты характерны для младшего поколения берёзы, а наименьшие – для кедра. В ступенях тол-

щины с 8 по 12 см наибольшая высота среди тёмнохвойных характерна для ели. Кедр характеризуется наименьшими высотами по сравнению с елью и пихтой в ступенях толщины с 4 по 12 см.

Берёза старшего поколения характеризуется большими высотами по сравнению с елью в ступенях толщины с 16 по 32 см включительно, а ель – в более

крупных. Поэтому крупномерные деревья ели менее ветроустойчивые, чем берёза.

По сравнению с тонкомерной берёзой Среднего Урала по объёмным таблицам [13] берёза послеветровального поколения характеризуется меньшими высотами. Возобновление и её рост вначале были затруднены из-за сильного задернения почвы

вейником, следовательно, этими объёмными таблицами пользоваться на данной ППП нельзя.

Высоты старшего поколения берёзы при соответствующих диаметрах занимают промежу-

точное положение между высотами V и VI разрядов объёмных таблиц Н. А. Луганского и Л. А. Лысова [13].

Кедр характеризуется значительно меньшими высотами

по сравнению с таковым по объёмным таблицам Е. П. Смоляногова [18], используемым для лесов горного Урала и Западной Сибири.

Таблица 5

Table 5

Выравненная высота, м – числитель и отношение H/G – знаменатель
 Approximated height, m – is upper sign and H/G – ratio is lower sign

Д, см D, cm	Компонент насаждения Planting compo-nent				
	Берёза старшая Old birch	Берёза младшая Young birch	Ель Spruce	Кедр Cedar	Пихта Fir
2		$\frac{2,51}{0,80}$	$\frac{1,52}{0,48}$	$\frac{1,80}{0,57}$	$\frac{2,06}{0,66}$
3		$\frac{3,32}{0,47}$	$\frac{2,20}{0,31}$	$\frac{2,29}{0,32}$	$\frac{2,67}{0,38}$
4		$\frac{4,04}{0,32}$	$\frac{2,85}{0,23}$	$\frac{2,73}{0,22}$	$\frac{3,21}{0,26}$
5		$\frac{4,72}{0,24}$	$\frac{3,50}{0,18}$	$\frac{3,12}{0,16}$	$\frac{3,70}{0,19}$
6		$\frac{5,35}{0,19}$	$\frac{4,13}{0,15}$	$\frac{3,48}{0,12}$	$\frac{4,16}{0,15}$
7		$\frac{5,95}{0,15}$	$\frac{4,76}{0,12}$	$\frac{3,81}{0,10}$	$\frac{4,59}{0,12}$
8		$\frac{6,52}{0,13}$	$\frac{5,38}{0,11}$	$\frac{4,13}{0,08}$	$\frac{5,00}{0,10}$
10	–		$\frac{6,59}{0,08}$	$\frac{4,72}{0,06}$	$\frac{5,76}{0,07}$
12	–		$\frac{7,79}{0,07}$	$\frac{5,26}{0,05}$	$\frac{6,48}{0,06}$
16	$\frac{15,56}{0,08}$		$\frac{10,13}{0,05}$		
20	$\frac{17,27}{0,05}$		$\frac{12,42}{0,04}$		
24	$\frac{18,41}{0,04}$		$\frac{14,67}{0,03}$		
28	$\frac{19,22}{0,03}$		$\frac{16,89}{0,03}$		
32	$\frac{19,83}{0,02}$		$\frac{19,08}{0,02}$		
36	$\frac{20,31}{0,02}$		$\frac{21,25}{0,02}$		
40	$\frac{20,69}{0,02}$		$\frac{23,39}{0,02}$		
44	$\frac{21,00}{0,01}$		$\frac{25,52}{0,02}$		
48	$\frac{21,26}{0,01}$				

Заключение

У всех тёмнохвойных древесных пород и берёзы младшего поколения наиболее адекватным уравнением зависимости высот от диаметров оказалось аллометрическое (степенное) уравнение, а у берёзы пушистой старшего поколения – гипербола.

Анализ использованных уравнений показал, что они с необходимой точностью отображают зависимость высот от диаметров для компонентов насаждения. Вычисленные высоты можно адекватно использовать для определения запаса древостоя

по объёмным таблицам и по ним оценивать состояние конкурентных взаимоотношений видов-доминантов.

Наибольшие высоты в ступенях толщины до 8 см характерны для берёзы младшего поколения, а наименьшие – для кедра.

В ступенях толщины от 20 до 32 см берёза старшего поколения имеет большие высоты, а в более крупных – ель.

По сравнению с ранее полученными данными о высотах этого же типа леса послеветровального ельника хвощово-мелкотравного [12] для изучаемого

насаждения характерны меньшие высоты ели, пихты и кедра. В результате сильного разрушения (90 %) древостоя снижается относительная полнота и значительно увеличивается освещённость. Она обуславливает больший рост кроны по диаметру и соответствующий больший радиальный прирост, чем прирост в высоту.

Работа выполнена в рамках государственного задания Ботанического сада УрО РАН (номер гос. регистрации ААА-А-17-117072810009-8).

Библиографический список

1. Анучин, Н. П. Лесная таксация : учебник / Н. П. Анучин. Москва : Лесн. пром-сть, 1982. – 552 с.
2. Кофман, Г. Б. Рост и форма деревьев / Г. Б. Кофман. – Новосибирск : Наука, 1986. – 211 с.
3. Войнов, Г. С. Зависимость полнодревесности стволов от их диаметра и высоты / Г. С. Войнов // Лесное хозяйство. – 1975. – № 2. – С. 50–54.
4. Высоцкий, К. К. Закономерности строения смешанных древостоев / К. К. Высоцкий. – Москва : Гослесбумиздат, 1962. – 176 с.
5. Швиденко, А. И. Подрост и нижний ярус древостоя, их отличие и взаимосвязь / А. И. Швиденко // Лесной журнал. – Известия вузов. – 1993. – № 1. – С. 3–5.
6. Козин, Е. К. Что называть подростом / Е. К. Козин // Лесоведение. – 2011. – № 1. – С. 69–72.
7. Обеспеченность подростом кедра сибирского спелых насаждений различных формаций / С. В. Залесов, Л. А. Белов, С. Н. Гаврилов, А. В. Неволин, А. И. Черных // Леса России и хозяйство в них. – 2013. – № 1 (44). С. 17–20.
8. Wang, Y. Relationships between tree slenderness coefficients and tree or stand characteristics for major species in boreal mixedwood forests / Y. Wang, S. Titus, V. M. LeMay // Can. J. of Forest Res. – 1998. – Vol. 28. – № 8. – P. 1171–1183.
9. Демаков, Ю. П. Диагностика устойчивости экосистем : методические и методологические аспекты / Ю. П. Демаков. – Йошкар-Ола : МарГТУ, 2000. – 416 с.
10. Pretzsch, H. Forest dynamics, growth and yield / H. Pretzsch. – Springer-Verlag : Berlin ; Heidelberg, 2009. – 664 p.
11. Кузьмичёв, В. В. Закономерности динамики древостоев : принципы и модели / В. В. Кузьмичёв. – Новосибирск : Наука, 2013. – 208 с.
12. Соотношение высот и диаметров основных лесобразующих пород под воздействием ветровала в Висимском заповеднике / Ю. М. Алесенков, Г. В. Андреев, Е. Г. Поздеев, С. В. Иванчиков // Аграрный вестник Урала. – 2009. – № 2. – С. 75–77.
13. Луганский, Н. А. Березняки Среднего Урала / Н. А. Луганский, Л. А. Лысов. – Свердловск : Изд-во Уральского университета, 1991. – 100 с.

14. Колесников, Б. П. Лесорастительные условия и типы лесов Свердловской области : практическое руководство / Б. П. Колесников, Б. П. Зубарева, Е. П. Смолоногов. – Свердловск : УНЦ АН СССР, 1973. – 176 с.
15. Алесенков, Ю. М. Строение по диаметру длительно-производного березняка хвощово-вейникового после воздействия штормового ветра / Ю. М. Алесенков, Г. В. Андреев, С. В. Иванчиков // Лесная таксация и лесоустройство. – 2014. – № 1 (51). – С. 29–34.
16. Алесенков, Ю. М. Динамика и структура запаса послеветровального длительно-производного березняка хвощово-вейникового / Ю. М. Алесенков, Г. В. Андреев, С. В. Иванчиков // Лесное хозяйство. – 2015. – № 2. – С. 32–35.
17. Свалов, С. Н. Применение статистических методов в лесоводстве / С. Н. Свалов // Итоги науки и техники : Лесоведение и лесоводство. – Москва : ВИНТИ, 1985. – Т. 4. – С. 1–164.
18. Смолоногов, Е. П. Эколого-лесоводственные основы организации и ведения хозяйства в кедровых лесах Урала и Западно-Сибирской равнины / Е. П. Смолоногов, С. В. Залесов. – Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2002. – 186 с.

Bibliography

1. Anuchin, N. P. Forest mensurations : hand-book / N. P. Anuchin. – Moscow : Lesn. Prom-st'. – 1982. – 552 p.
2. Kofman, G. B. Growth and tree form / G. B. Kofman. – Novosibirsk : Nauka, 1986. – 211 p.
3. Voynov, G. S. Relation stem full timberless from their diameter and height / G. S. Voynov // Soviet Journal of Forestry. – 1975. – № 2. – P. 50–54.
4. Vysotsky, K. K. Regularity of structure of mixed stands / K. K. Vysotsky. – Moscow : Goslesbumizdat, 1962. – 176 p.
5. Shvidenko, A. I. Seedling and stand lower storey, their distinction and interrelation / A. I. Shvidenko // Forest journal. Bulletin of Universitets. – 1993. – № 1. P. 3–5.
6. Kozin, Ye. K. What call seedling? / Ye. K. Kozin // Russian journal of forest science. – 2011. – № 1. P. 69–72.
7. Supplying of mature growing stocks of aifferent formations nith pinus siberica undergrowth / S. V. Zalesov, L. A. Belov, S. N. Gavrilov, A. V. Nevolin, A. I. Cheremnikh // Forests of Russia and the economy in them. – 2013. – № 1 (44). – P. 17–20.
8. Wang, Y. Relationships between tree slenderness coefficients and tree or stand characteristics for major species in boreal mixedwood forests / Y. Wang, S. Titus, V. M. LeMay // Can. J. of Forest Res. – 1998. – Vol. 28. – № 8. – P. 1171–1183.
9. Demakov, Yu. P. Diagnostics of ecosystem stability: methodical and methodological aspects / Yu. P. Demakov. – Scientific publishing. – Yoshkar-Ola : Mary state technical university, 2000. – 416 p.
10. Pretzsch, H. Forest dynamics, growth and yield / H. Pretzsch. – Springer-Verlag : Berlin ; Heidelberg, 2009. – 664 p.
11. Kuz'michyov, V. V. Regularity of stand dynamics : principles and models / V. V. Kuz'michyov. – Novosibirsk : Science, 2013. – 208 p.
12. The correlation between heights and diameters main forest forming species under wind-throw in Visim reserve / Yu. M. Alesenkov, G. V. Andreev, Ye. G. Pozdeev, S. V. Ivanchikov // Ural agrarian bulletin. – 2009. – № 2. – P. 75–77.
13. Lugansky, N. A. Birch forests of Middle Ural / N. A. Lugansky, L. A. Lysov. – Sverdlovsk : Ural State publishing, 1991. – 100 p.
14. Kolesnikov, B. P. Forest site and forest types of Sverdlovsk region : manual book / B. P. Kolesnikov, R. S. Zubareva, Ye. P. Smolonogov. – Sverdlovsk : USTs. USSR, 1973. – 176 p.

15. Alesenkov, Yu. M. Diameter structure of long-term secondary horse-tail and reed grass birch stand after Storm Wind Influence / Yu. M. Alesenkov, G. V. Andreev, S. V. Ivanchikov // Forest inventory and forest planning. – 2014. – № 1 (51). P. 29–34.
16. Alesenkov, Yu. M. Dynamics and structure of yield of post wind-throw long-term secondary horse-tail and reed grass birch stand / Yu. M. Alesenkov, G. V. Andreev, S. V. Ivanchikov // Russian journal of forestry. – 2015. – № 2. – P. 32–35.
17. Svalov S. N. Using of statistical methods in forestry / S. N. Svalov // Results of science and techniques: forest science and forestry. – Moscow : VINITI, 1985. – Vol. 4. – P. 1–164.
18. Smolonogov, Ye. P. Ecological-forestry foundations of organization and conduction in Siberian pine forests at Ural and West-Siberian plane / Ye. P. Smolonogov, S. V. Zalesov. – Yekaterinburg : Ural state forest-engineering university, 2002. – 186 p.

УДК 582.475.2: 581.522.68

РОСТ И РАЗВИТИЕ ВИДОВ ACER (ACERACEAE), ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ В ТАЕЖНУЮ ЗОНУ (КАРЕЛИЯ)

И.Т. КИЩЕНКО – доктор биологических наук,
профессор кафедры ботаники и физиологии растений,
Петрозаводский государственный университет
185640, Карелия, Петрозаводск, пр. Ленина 33,
тел.: (814 2) 78-51-40, факс: (814 2) 71-10-00,
e-mail: ivanki@karelia.ru

Ключевые слова: *рост, развитие, интродукция, Acer.*

Исследования проводили в 1978–2017 гг. в ботаническом саду Петрозаводского государственного университета (подзона средней тайги). Изучали рост и развитие 6 интродуцированных видов рода *Acer*: *A. ginnala* Maxim., *A. semenovii* Regel. et Herd., *A. negundo* L., *A. tataricum* L., *A. platanoides* L. и *A. pseudoplatanus* L. Исследованиями установлено, что рост листьев у изученных видов *Acer* начинается в конце мая, а побегов – в первой половине июня. При этом различия между видами не превышают 3–4 сут. Время прекращения роста побегов и листьев у разных видов *Acer* отличается не более чем на 3–7 сут и наблюдается во второй половине июля. Благодаря максимальной интенсивности ростовых процессов наибольшая площадь листовой пластинки формируется у *A. pseudoplatanus* и у *A. platanoides*. Сроки начала и кульминации прироста побегов и листьев определяются в основном температурой воздуха, в связи с чем они могут испытывать погодичную изменчивость в пределах 1–3 недель. Между интенсивностью прироста побегов и листьев, с одной стороны, и динамикой температуры и влажности воздуха, атмосферных осадков и солнечной радиации, с другой стороны, обычно прослеживается положительная и довольно заметная зависимость. Установлены группы растений в зависимости от сроков прохождения фенофаз: поздно начинающие и рано заканчивающие развитие (*A. platanoides*), рано начинающие и рано заканчивающие (*A. negundo*), поздно начинающие и поздно заканчивающие развитие (остальные 4 вида). Сроки наступления большей части фенофаз у изученных видов *Acer* в значительной мере зависят от температуры и влажности воздуха, а также солнечной радиации. Зависимость между сроками наступления фенофаз и изучаемыми климатическими факторами носит прямолинейный характер, а ее форма и сила определяются биологией

вида и спецификой самой фенофазы. К очень перспективным для интродукции в таежную зону относятся *A. platanoides*, *A. ginnala* и *A. tataricum*, а к довольно перспективным – *A. negundo*, *A. pseudoplatanus* и *A. semenovii*.

GROWTH AND DEVELOPMENT OF ACER SPECIES (ACERACEAE) INTRODUCED TO THE SECRET AREA (KARELIA)

I.T. KISHCHENKO – Doctor of Biological Sciences,
professor of chair «Department of botany and plant physiology»
Petrozavodsk State University 185640, Karelia, Petrozavodsk, 33 Lenin Ave.,
phone: (814 2) 78-51-40, fax: (814 2) 71-10-00,
e-mail: ivanki@karelia.ru

Keywords: growth, development, introduction, Acer.

The studies were conducted in 1978–2017 in the botanical garden of Petrozavodsk State University (subzone of the middle taiga). We studied the growth and development of 6 introduced species of the genus Acer: *A. ginnala* Maxim., *A. semenovii* Regel. et Herd., *A. negundo* L., *A. tataricum* L., *A. platanoides* L. and *A. pseudoplatanus* L. Studies have shown that leaf growth in the studied Acer species begins in late May, and shoots in the first half of June. Moreover, the differences between the species do not exceed 3–4 days / The time for the termination of the growth of shoots and leaves in different Acer species differs by no more than 3–7 days and is observed in the second half of July. Due to the maximum intensity of growth processes, the largest leaf blade area is formed in *A. pseudoplatanus* and *A. platanoides*. The timing of the onset and culmination of the growth of shoots and leaves is determined mainly by air temperature, in connection with which they can experience weather variability within 1–3 weeks. Between the growth rate of shoots and leaves, on the one hand, and the dynamics of temperature and humidity, precipitation and solar radiation, on the other hand, a positive and rather noticeable relationship is usually observed. Groups of plants were established depending on the timing of the passage of the phenophases: late-onset and early-termination of development (*A. platanoides*), early-onset and early-termination (*A. negundo*), late-onset and late-onset development (the remaining 4 species). The timing of the onset of most of the phenophases in the studied Acer species is largely dependent on temperature and humidity, as well as solar radiation. The relationship between the timing of the onset of phenophases and the studied climatic factors is straightforward, and its shape and strength are determined by the species biology and the specifics of the phenophase itself. *A. platanoides*, *A. ginnala*, and *A. tataricum* are very promising for introduction into the taiga zone, and *A. negundo*, *A. pseudoplatanus*, and *A. semenovii* are quite promising.

Введение

Загрязнение окружающей среды с каждым годом усиливается, в связи с чем возрастает необходимость увеличения объема озеленительных работ. Большинство аборигенных видов древесных растений российской тайги плохо переносят наличие поллютантов [1]. Между тем многие виды лиственных

древесных растений, в том числе и рода Асег (из других географических районов) обладают декоративностью и высокой устойчивостью к загрязнению окружающей среды [1, 2, 3]. Наряду с этим многие виды рода Асег отличаются и устойчивостью к суровым условиям и даже способны натурализоваться в таежной зоне [1, 4–6].

Поэтому их интродукция в таежную зону становится все более актуальной. Для правильного выбора и введения интродуцента в местную флору необходима всесторонняя и глубокая их оценка. Степень соответствия ритмики роста и развития растения динамике экологических факторов является одним из наиболее информативных критериев

интродукции [1, 7]. Именно сезонный ритм развития, являясь интегральным показателем, наиболее наглядно и точно характеризует адаптацию растений к условиям среды и соответствие последних биологии вида [8, 9, 10].

Выяснению вопросов особенностей сезонного развития листовых древесных растений в отечественной литературе посвящено сравнительно мало исследований. Цель настоящей работы – изучение особенностей сезонного роста и развития интродуцентов рода *Асег* в Карелии.

Материалы и методы

Исследования проводили в 1978–2017 гг. в ботаническом саду Петрозаводского государственного университета, расположенного на северном берегу Петрозаводской губы Онежского озера (подзона средней тайги). Объектами исследований служили 6 видов рода *Асег*: клен приречный *A. ginnala* Maxim., клен Семенова *A. semenovii* Regel. et Herd., клен ясенелистный *A. negundo* L., клен татарский *A. tataricum* L., клен остролистный *A. platanoides* L. и клен ложноплатановый *A. pseudoplatanus* L.*

Деревья высажены в возрасте 6–8 лет. Каждый вид представлен 15–30 особями. Возраст растений – 46–61 год. Деревья всех видов плодоносят. *A. ginnala* естественно произрастает в восточной Азии, *A. semenovii* – в Средней Азии, *A. tataricum*,

A. pseudoplatanus и *A. platanoides* – в Европе и Юго-Западной Азии. Родина *A. negundo* – Северная Америка.

Рост растений изучали в течение двух лет. С помощью линейки измеряли длину стеблей (далее просто «побегов» второго порядка ветвления) с юго-западной части кроны на высоте около 2 м с момента набухания почек до заложения зимующих почек через каждые 2–3 сут. Площадь листьев измеряли планиметром с момента фазы их обособления до полного прекращения роста через каждые 2–3 сут. Объем выборки по каждому объекту составлял 25 побегов и листьев. Значение суточного прироста рассчитывали как разницу в величине изучаемого признака между последующим и предшествующим наблюдениями данного периода, деленное на число суток этого периода [12].

Фенологические наблюдения проводили в течение 39 лет с мая по сентябрь каждые трое суток, используя методические указания Е. Н. Булыгина [13]. Фиксировали время прохождения таких фенофаз, как набухание и раскрытие вегетативных и генеративных почек, начало и окончание роста побегов, обособление, распускание, завершение роста, расцветивание и опадение листьев, опробковение побегов, бутонизация, цветение, заложение, созревание и опадение зрелых плодов. Фенофаза считалась наступившей, если она отмечалась не менее чем

у 30 % побегов всех особей исследуемого вида.

Визуальную оценку перспективности интродукции древесных растений проводили, используя методику П. И. Лапина и С. В. Сидневой [14].

Метеорологические данные были получены от Сулажгорской метеостанции (Карельская гидрометеобсерватория), расположенной в 3 км юго-западнее ботанического сада. Все выборки проверены на закон нормального распределения. Коэффициенты корреляции и различия между средними величинами оценены на достоверность. Из полученных элементарных статистик, в частности, следует, что показатель точности опыта довольно высок (4–5 %), а коэффициент вариации невелик (13–17 %).

Результаты и их обсуждение

Рост растений. Проведенные исследования позволили установить, что сроки начала роста побегов изучаемых видов *Асег* могут варьировать по годам в пределах двух недель и приходятся на первую половину июня. При этом различия между видами не превышают 3–4 сут (табл. 1). Изменчивость такого рода отмечал и Н. В. Шкутко [15].

Сроки окончания роста побегов варьируют по годам также в пределах двух недель. Время наступления этой фенофазы у разных видов *Асег* отличается не более чем на 3–7 сут и наблюдается во второй половине июля. По мнению Н. В. Шкутко [15],

* По С. К. Черепанову [11].

степень адаптации интродуцентов к новым климатическим условиям тем выше, чем менее изменчивы сроки начала и окончания их фенофаз. По нашим данным, наименьшая вариабель-

ность сроков прекращения роста побегов (в пределах 3 сут) характерна для *A. ginnala*, *A. negundo* и *A. platanoides*.

Значительные погодичные изменения в сроках начала и

окончания роста побегов соответственно отражаются на продолжительности их формирования. В зависимости от вида растения она варьирует от 34 до 56 сут (табл. 2).

Таблица 1

Table 1

Температурный режим в период роста побегов (над чертой) и листьев (под чертой) у различных видов *Acer*
Temperature conditions during the growth of shoots (above the line) and leaves (below the line) in various species of *Acer*

Вид Species	Годы наблюдений Years of monitoring	Начало роста The beginning of the growth			Кульминация прироста The culmination of the growth			Окончание роста End of growth		
		Дата Date	Среднесуточная температура воздуха, °C Daily air temperature, °C	Сумма положительных температур, °C The sum of positive temperatures, °C	Дата Date	Среднесуточная температура воздуха, °C Daily air temperature, °C	Сумма положительных температур, °C The sum of positive temperatures, °C	Дата Date	Среднесуточная температура воздуха, °C Daily air temperature, °C	Сумма положительных температур, °C The sum of positive temperatures, °C
<i>Acer ginnala</i>	2001	<u>12.VI</u> 01.VI	<u>10.8</u> 8.0	<u>550</u> 363	<u>3-6.VII</u> 05-08.VI	<u>20.5</u> 14.1	<u>889</u> 453	<u>19.VII</u> 16.VII	<u>23.6</u> 23.8	<u>1150</u> 1083
	2002	<u>01.VI</u> 24.V	<u>20.2</u> 2.5	<u>300</u> 215	<u>28.VI-02.VII</u> 12-16.VI	<u>15.0</u> 13.7	<u>770</u> 526	<u>22.VII</u> 18.VII	<u>17.8</u> 16.6	<u>1158</u> 1081
<i>A. negundo</i>	2001	<u>12.VI</u> 01.VI	<u>10.8</u> 8.0	<u>550</u> 363	<u>25-28.VI</u> 08-12.VI	<u>12.3</u> 12.8	<u>725</u> 503	<u>16.VII</u> 16.VII	<u>23.8</u> 23.8	<u>1083</u> 1083
	2002	<u>28.V</u> 24.V	<u>7.5</u> 2.5	<u>239</u> 363	<u>24-28.VI</u> 12-16.VI	<u>14.9</u> 13.7	<u>711</u> 526	<u>14.VII</u> 18.VII	<u>18.5</u> 16.6	<u>1015</u> 1081
<i>A. platanoides</i>	2001	<u>16.VI</u> 01.VI	<u>16.4</u> 8.0	<u>602</u> 363	<u>7-10.VII</u> 03-07.VII	<u>18.2</u> 19.6	<u>961</u> 905	<u>19.VII</u> 16.VII	<u>23.6</u> 23.8	<u>1150</u> 1083
	2002	<u>01.VI</u> 24.V	<u>20.2</u> 2.5	<u>300</u> 215	<u>28.VI-02.VII</u> 16-20.VI	<u>15.0</u> 19.0	<u>770</u> 600	<u>14.VII</u> 10.VII	<u>18.5</u> 21.1	<u>1015</u> 928
<i>A. pseudoplatanus</i>	2001	<u>12.VI</u> 01.VI	<u>10.8</u> 8.0	<u>550</u> 363	<u>3-6.VII</u> 01-05.VI	<u>20.5</u> 10.9	<u>889</u> 409	<u>16.VII</u> 16.VII	<u>23.8</u> 23.8	<u>1083</u> 1083
	2002	<u>01.VI</u> 28.V	<u>20.2</u> 7.5	<u>300</u> 239	<u>28.VI-02.VII</u> 28.VI-02.VII	<u>15.0</u> 15.0	<u>770</u> 771	<u>26.VII</u> 18.VII	<u>19.6</u> 16.6	<u>1236</u> 1081
<i>A. semenovii</i>	2001	<u>12.VI</u> 01.VI	<u>10.8</u> 8	<u>550</u> 215	<u>25-28.VI</u> 01-05.VI	<u>12.3</u> 10.9	<u>725</u> 409	<u>16.VII</u> 16.VII	<u>23.8</u> 23.8	<u>1083</u> 1083
	2002	<u>01.VI</u> 28.V	<u>20.2</u> 7.5	<u>300</u> 239	<u>20-24.VII</u> 12-16.VI	<u>13.4</u> 13.7	<u>656</u> 526	<u>26.VII</u> 22.VII	<u>19.6</u> 17.8	<u>1236</u> 1158
<i>A. tataricum</i>	2001	<u>12.VI</u> 01.VI	<u>10.8</u> 8	<u>550</u> 363	<u>29.VI-2.VII</u> 29.VI-03.VII	<u>20.4</u> 20.2	<u>807</u> 826	<u>16.VII</u> 16.VII	<u>23.8</u> 23.8	<u>1083</u> 1083
	2002	<u>04.VI</u> 01.VI	<u>9.1</u> 20.2	<u>341</u> 300	<u>24-28.VI</u> 20-24.VI	<u>14.9</u> 13.4	<u>711</u> 656	<u>30.VII</u> 22.VII	<u>21.5</u> 17.8	<u>1316</u> 1158

Таблица 2

Table 2

Некоторые характеристики прироста побегов (над чертой, мм)
и листьев (под чертой, мм²) у различных видов Асера
Some characteristics of the growth of shoots (above the line, mm)
and leaves (below the line, mm²) in different species of Acer

Вид Species	Годы наблюдений Years of Monitoring	Максимальный суточный прирост Maximum daily increase	Годичный прирост Annual growth	Продолжительность роста, сут Duration of growth, day
<i>Acer ginnala</i>	2001	$\frac{4,2}{123}$	$\frac{72}{3680}$	$\frac{37}{46}$
	2002	$\frac{2,2}{118}$	$\frac{58}{4020}$	$\frac{52}{55}$
<i>A. negundo</i>	2001	$\frac{12,7}{150}$	$\frac{215}{4950}$	$\frac{34}{46}$
	2002	$\frac{2,0}{112}$	$\frac{50}{5010}$	$\frac{52}{55}$
<i>A. platanoides</i>	2001	$\frac{1,2}{302}$	$\frac{29}{10670}$	$\frac{34}{46}$
	2002	$\frac{1,2}{305}$	$\frac{38}{10460}$	$\frac{44}{47}$
<i>A. pseudoplatanus</i>	2001	$\frac{8,2}{628}$	$\frac{179}{18540}$	$\frac{34}{46}$
	2002	$\frac{2,7}{542}$	$\frac{86}{18020}$	$\frac{56}{51}$
<i>A. semenovii</i>	2001	$\frac{11,2}{110}$	$\frac{174}{3720}$	$\frac{34}{46}$
	2002	$\frac{2,7}{102}$	$\frac{109}{4080}$	$\frac{56}{55}$
<i>A. tataricum</i>	2001	$\frac{3,2}{112}$	$\frac{65}{4270}$	$\frac{34}{46}$
	2002	$\frac{3,2}{145}$	$\frac{77}{5130}$	$\frac{56}{52}$

Установлено, что время кульминации прироста побегов Асера весьма существенно изменяется по годам. Раньше всех эта фаза наступает у *A. negundo* (20.VI–28.VI), а позднее – у *A. semenovii* (25.VI–24.VII). Таким образом, различия между видами по этому показателю достигают почти месяца. Величина максимального суточного прироста побегов у изученных видов клена также значительно различается. Его наибольшая величина (до 11–13 мм/сут) обнаружена у *A. negundo* и *A. semenovii*.

У других изучаемых видов этот показатель меньше в 2–10 раз. Следует подчеркнуть, что погодичная изменчивость величины максимального прироста у побегов может достигать 50–400 % (см. табл. 2).

Обнаруженная изменчивость в продолжительности и интенсивности роста побегов обуславливает и соответствующее различие в величине их годового прироста. При этом погодичная вариабельность длины побегов у всех изучаемых видов Асера весьма значительна и достига-

ет 30–400 %. Из данных табл. 2 следует, что в 2001 г. самые длинные побеги сформировались у *A. negundo* (215 мм). На следующий год самые короткие побеги были характерны для этого вида, а также для *A. platanoides* (29–50 мм). Вероятно, сочетание погодных условий конкретного года специфически сказывается на интенсивности деятельности апикальных меристем того или иного вида. Анализ результатов исследований свидетельствует о том, что величина годового прироста побегов обусловлена

соответствующими различиями в интенсивности роста, а не в его продолжительности. Так, длина стебля у *A. semenovii* в 1,5–2 раза больше, чем у *A. tataricum*, а продолжительность роста у них одинакова.

Физиологические реакции растений, в том числе и ростовые, определяются состоянием среды и диапазоном толерантности вида к экологическим факторам (закон Шелфорда). Следовательно, установив значение факторов среды в ключевые периоды роста, а также форму и силу связи между динамикой прироста и изменчивостью этих факторов, можно судить о степени их соответствия требованиям организма.

Результаты исследований показали, рост побегов у изучаемых видов Асег может начаться при повышении среднесуточной температуры воздуха до +9...+11 °С (см. табл. 1). Кроме того, начало этой фенофазы зависит и от температуры воздуха предшествующего периода. К этому времени сумма положительных температур достигает 239–241 °С.

Во время прекращения роста побегов среднесуточная температура воздуха и сумма положительных температур варьируют в довольно широких пределах: +17,8...+23,8 °С и 1015–1316 °С соответственно. Эти данные свидетельствуют о том, что сроки прекращения этой фенофазы у представителей рода *Acer* не связаны с температурным режимом, а, скорее всего, обусловлены генотипом вида. Следовательно, тепла вполне достаточно для завершения годового

цикла развития вегетативных почек для всех изучаемых интродуцентов.

Требовательность растения к температуре воздуха в период максимального прироста побегов у различных видов Асег почти не различается. Кульминация прироста побегов может наступить уже при повышении среднесуточной температуры воздуха до +13...+15 °С. Между тем сумма положительных температур в этот период варьирует в широких пределах (656–965 °С), что указывает на отсутствие заметного влияния данного параметра на интенсивность прироста побегов изучаемых видов.

Между интенсивностью роста побегов и температурой воздуха, как правило, прослеживается достоверная положительная и довольно слабая корреляция ($r = +0,3$). Наиболее сильная подобная связь характерна для *A. negundo* ($r = +0,6...+0,7$).

Между динамикой суточного прироста побегов и изменчивостью относительной влажности воздуха также обычно прослеживается положительная корреляция слабой и средней силы ($r = +0,2...+0,5$). Примерно такой же характер корреляции выявлен и между динамикой прироста побегов изучаемых видов и выпадением атмосферных осадков.

Зависимость интенсивности роста побегов от солнечной радиации выражена еще менее заметно ($r = +0,2...+0,3$).

Проведенные исследования позволили установить, что сроки начала роста листьев (фено-

фаза «обособление листьев на побегах») изучаемых видов Асег могут варьировать в пределах 3–7 сут (см. табл. 1). Наступление этой фенофазы за годы исследований наблюдалось 24.V–1.VI. Погодичная изменчивость в сроках прекращения роста листьев составляет не более 3–6 сут. Наблюдается эта фенофаза 10–22.VII, причем у *A. platanoides* на несколько суток раньше, чем у других видов. Незначительные погодичные различия в сроках начала и окончания роста листьев обуславливают и небольшие изменения в продолжительности их формирования у тех или иных видов Асег. В зависимости от года исследования продолжительность роста листьев может изменяться от 46 до 55 сут (см. табл. 2).

Установлено, что время интенсивного прироста листьев довольно сильно связано с видовыми особенностями и из года в год может существенно варьировать. В первую половину июня эта фаза уже наступает у *A. ginnala*, *A. semenovii* и *A. negundo*, а у других видов – во вторую половину июня и начале июля. Величина максимального прироста листьев у разных видов Асег существенно различается. Его наибольшее значение (в среднем 570 мм/сут) обнаружено у *A. ginnala*; у других видов этот показатель в 1,5–5 раз меньше. Следует отметить, что величина максимального прироста листьев у изучаемых видов Асег за годы исследований оставалась постоянной (см. табл. 2).

Значительная изменчивость интенсивности роста листьев обуславливает соответствующие различия в величине их годового прироста. Площадь листовой пластинки у *A. ginnala*, *A. semenovii* и *A. tataricum*, сформированной в разные вегетационные периоды, различалась не более чем на 8–16 %, а у других видов оставалась практически без изменений. Из данных табл. 2 следует, что наибольшая площадь листа (в среднем 1,8 дм²) формируется у *A. pseudoplatanus*, у *A. platanoides* она почти в 2 раза меньше, а у остальных видов она достигает всего 0,4–0,5 дм². Различия в величине данного показателя обуславливаются интенсивностью, а не продолжительностью роста листьев. Так, площадь листа у *A. pseudoplatanus* в 4,5 раза больше, чем у *A. semenovii*, а продолжительность роста примерно такая же.

По данным трехлетних наблюдений, начало роста листьев при самой низкой среднесуточной температуре воздуха (+2,5 °С) отмечается у *A. ginnala* и *A. negundo* (см. табл. 1). Между тем начало данной фенофазы у других видов может отмечаться только при повышении температуры до +8 °С. Рост листьев по площади заканчивается в самый теплый за вегетацию период (+17...+24 °С), когда сумма положительных температур достигает 928–1158 °С.

Требовательность растений к температуре воздуха в период максимального прироста листьев

в значительной степени определяется биологией вида. Так, его наступление у *A. platanoides* отмечено при температуре воздуха около 19 °С, а для других видов – всего при 13–14 °С. Между тем сумма положительных температур в этот период варьирует в широких пределах (409–905 °С), что указывает на отсутствие явного влияния данного параметра на интенсивности прироста у всех изучаемых видов.

Проведение корреляционного анализа позволило установить, что так же, как и в отношении стеблей, между интенсивностью роста листьев, с одной стороны, и динамикой температуры и влажности воздуха, атмосферных осадков и солнечной радиации, с другой стороны, обычно прослеживается положительная и довольно заметная зависимость.

Развитие растений

Анализ данных статистической обработки фенодат изученных видов рода *Acer* за период наблюдений (1978–2003 гг.) показал, что ошибка среднемноголетней величины фенодат весьма незначительна, составляя всего 0,1–1,5 сут. Вариабельность фенодат большей части фенофаз также невелика: среднеквадратическое отклонение при этом достигает 5–7 сут. Очень редко величина этого показателя возрастает до 12–18 сут. Изучая развитие различных видов древесных растений в Белоруссии, Н. В. Шкутко [15] обнаружил, что погодичная изменчивость

сроков начала тех или иных фенофаз может варьировать даже в гораздо больших пределах – от 12 до 27 сут.

Проведенные исследования показали, что ритмика сезонного развития изучаемых видов *Acer* имеет свои специфические особенности (см. табл. 3). По среднемноголетним данным, быстрее всего (1–2.V) набухание почек начинается у *A. negundo* и *A. tataricum*, а у других видов – на 3–5 сут позже. Раньше всех (9–12.V) разрывание почек происходит у этих же видов, а позже (15–21.V) – у *A. platanoides* и *A. pseudoplatanus*.

Линейный рост побегов (27–31.V) отмечается через 3–4 недели после начала набухания почек, причем у *A. pseudoplatanus* значительно позже остальных видов – 9.V. Заканчивается этот процесс позднее всего (25–28.VII) также у этого вида и *A. semenovii*, а у других видов – на декаду раньше.

Наиболее ранние сроки (3–4.VII) опробковения оснований побегов отмечены у *A. ginnala* и *A. platanoides*, у других видов – на 5–11 сут позже. Процесс опробковения побегов по всей длине у *A. negundo* заканчивается 22.VIII, у других видов – на 11 сут раньше.

В наиболее поздние сроки (30.V) обособление листьев происходит у *A. pseudoplatanus*, а у других видов – на 7–12 сут раньше. Аналогичная тенденция отмечена и для фазы распускания листьев, которая у *A. pseudoplatanus* наблюдается только 6.V. Скорее всего рост

листьев завершается у *A. platanoides* (6.VII), а позже всего (20.VII) – у *A. ginnala*.

Первыми в фазу расцветивания отмирающих листьев вступает *A. negundo* и *A. platanoides* (12–14.IX), другие виды – спустя декаду. Быстрее всего (4–5.IX) начинают опадать листья у вышеупомянутых двух видов. У остальных видов эта фенофаза отмечается примерно на неделю позже.

В связи с особенностями развития генеративной сферы изучаемые виды можно разделить на две группы: рано начинающие (*A. negundo* и *A. platanoides*) и поздно начинающие (остальные виды) фенофазы. У растений первой группы по сравнению со второй набухание и разverzание генеративных почек происходит раньше соответственно на 7–17 и 6–18 сут, бутонизация – на 15–26 сут, начало цветения – на 22–31 сут, окончание цветения – на 30–44 сут, завязывание плодов – на 5–33 сут. Быстрее всего (в конце августа) плоды созревают у *A. semenovii*, *A. platanoides* и *A. ginnala*, а у остальных видов – в первой декаде октября. Позже всего (2–16.X) плоды опадают у *A. tataricum* и *A. platanoides*, у остальных видов – в третьей декаде сентября.

Авторы многочисленных исследований [16, 17, 18] убедительно показали, что особенности развития различных видов растений обусловлены их неодинаковой требовательностью к экологическим факторам. Поэтому, определив диапазон то-

лерантности основных фенофаз к экологическим факторам, можно судить о степени адаптации данного вида растений к условиям местообитания.

При анализе состояния среды во время начала фенофаз обнаружена очень сильная погодичная вариабельность значений относительной влажности воздуха, атмосферных осадков и суммарной солнечной радиации. Между тем температурный режим воздуха в момент наступления очередной фенофазы за исследуемый период оставался довольно стабильным и заметно отличался у разных видов растений.

Исследования показали, что набухание и разverzание вегетативных почек у *A. negundo* и *A. tataricum* начинается при среднесуточной температуре воздуха соответственно около +6 и +8 °C, а у других видов – при температуре на +2...+4 °C выше. Начало линейного роста побегов при самых низких показателях теплообеспеченности (+10.8 °C) отмечается у *A. pseudoplatanus*. У остальных видов для начала данной фенофазы температура воздуха должна быть на +2...+3 °C выше. Во время прекращения роста побегов у всех изучаемых видов растений температура воздуха примерно одинакова и составляет около +16...+17 °C.

Опробковение оснований побегов у видов Асег начинается при температуре около +16...+17 °C. Опробковение побегов по всей длине при самой низкой температуре (+11,8 °C) за-

канчивается у *A. negundo*, у других видов – при +14...+15 °C.

Обособление и распускание листьев у разных видов Асег начинается при повышении среднесуточной температуры до +11...+13 °C. Рост листьев так же, как и побегов, заканчивается при температуре около +16 °C. Расцветивание отмирающей хвои у *A. negundo* и *A. pseudoplatanus* начинается уже при температуре +9...+10 °C. У других видов данная фенофаза отмечается при понижении температуры до +6 °C, а у *A. tataricum* – даже до +3,5 °C. Опадение листьев начинается у *A. negundo* и *A. platanoides* при температуре около 0 °C, у остальных видов – при заморозках (–5...–8 °C).

Набухание и разverzание генеративных почек, а также бутонизация у видов Асег идет при температуре +10...+13 °C. Начало и окончание цветения при наиболее прохладной погоде наблюдается у *A. negundo* и *A. platanoides* (+11...+14 °C). Для прохождения этих фенофаз у других видов требуется температура на +3...+4 °C выше. Аналогичная тенденция наблюдается и в сроках завязывания плодов. Созревание плодов у всех изучаемых видов заканчивается при одинаковом температурном режиме (около +11 °C). Опадение плодов при наступлении морозов происходит лишь у *A. platanoides*. Все остальные виды вступают в эту фенофазу уже при +5...+8 °C. Зависимость сроков начала и окончания фенологических фаз у древесных растений от температурного

режима окружающей среды обнаружили ранее И. Н. Елагин [19] и И. Т. Кищенко [18].

Таким образом, приведенные данные показывают, что изучаемые виды Асег по особенностям ритмики сезонного развития можно разделить на 3 группы: рано начинающие и рано заканчивающие, поздно начинающие и рано заканчивающие, поздно начинающие и поздно заканчивающие фенологические фазы. Естественно, что поздно начинающие и рано заканчивающие развитие растения проходят фенофазы при наиболее теплой погоде. Именно эту группу образуют особи *A. platanoides* – вида, естественный ареал которого заканчивается на самом юге Карелии. В несколько худших условиях оказываются рано начинающие и рано заканчивающие развитие растения (*A. negundo*). Виды, поздно начинающие и поздно заканчивающие развитие (остальные 4 вида), нередко оказываются в крайне неблагоприятных погодных условиях. При этом очередность прохождения фенофаз у изучаемых видов из года в год остается неизменной. Этот вывод согласуется с мнением Н. В. Трулевич [20].

Для того чтобы судить о направлении, форме и силе связи между экологическими факторами и сроками наступления фенофаз, был проведен корреляционный анализ. Оказалось, что данные характеристики могут существенно меняться в зависимости от биологии вида и специфики конкретной фенофазы.

Результаты корреляционного анализа свидетельствуют о том, что повышение температуры воздуха ускоряет наступление следующих фенофаз: набухание и разverzание вегетативных и генеративных почек, опробковение ростовых побегов по всей длине, начало бутонизации и цветения ($r = +0,2 \dots +0,6$). Наоборот, пониженные температуры способствуют более раннему прохождению растениями фенофаз, характеризующих этапы развития листьев ($r = -0,3 \dots -0,8$).

Исследования показали, что повышение относительной влажности воздуха благоприятствует более раннему наступлению первых четырех фаз развития листьев, опробковению ростовых побегов по всей длине и опадению зрелых плодов ($r = +0,2 \dots +0,7$). Отрицательное влияние этого фактора установлено в отношении сроков набухания вегетативных и генеративных почек, опробковения основания побегов и опадения листьев ($r = -0,2 \dots -0,5$).

Усиление солнечной радиация ускоряет прохождение растениями фаз листьев, разverzания генеративных почек, бутонизации и опадения зрелых плодов ($r = +0,2 \dots +0,6$). Достоверное влияние атмосферных осадков на ритмику развития вегетативной и генеративной сфер видов Асег не установлено.

Перспективность интродукции

Перспективность интродукции растений оценивали по методике П. И. Лапина и С. В. Сид-

невой [14]. По данной методике наивысшие показатели оценок для степени ежегодного вызревания побегов – 20 баллов, для зимостойкости – 25 баллов, для сохранения габитуса – 10 баллов, для побегообразовательной способности – 5 баллов, для регулярности прироста побегов – 5 баллов, для способности к генеративному размножению – 25 баллов, для доступности способов размножения – 10 баллов.

Исследованиями установлено, что по 5 показателям оценки интродукции различия между изученными видами незначительны. Так, побеги вызревают не полностью (15 баллов) у *A. negundo*, *A. pseudoplatanus* и *A. semenovii*. У всех других видов они вызревают полностью – 20 баллов (табл. 3). Максимальная зимостойкость, оцениваемая в 25 баллов, присуща лишь *A. platanoides* и *A. tataricum*. У других видов она на 5 баллов ниже. Высокая зимостойкость у изученных видов обнаружена и в таежной зоне Сибири [21, 22]. Установлена следующая зависимость: чем быстрее начинаются и заканчиваются такие фенофазы, как опробковение побегов и листопад, тем выше зимостойкость растений.

Максимальное сохранение габитуса (10 баллов) отмечено у всех видов. Высокая побегообразовательная способность (5 баллов) – у *A. platanoides* и *A. ginnala*. У других видов она была низкой – 1 балл. Регулярность прироста осевых побегов у всех видов оценивается как максимальная – 5 баллов.

Таблица 3

Table 3

Оценка перспективности интродукции видов *Acer* L., баллы
Assessment of the prospects of introducing *Acer* L. species, points

Вид Species	Степень ежегодного вызревания побегов aging of shoots	Зимостойкость Winter hardiness	Сохранение габитуса Saving the habit	Побегообразовательная способность Ability to produce shoots	Регулярность прироста осевых побегов Regularity of growth of axial shoots	Способность к генеративному развитию Ability to grow generatively	Возможность размножения в культуре Ability to reproduce in culture	Общая оценка перспективности Overall assessment
<i>Acer ginnala</i> Maxim.	20	23	10	5	5	10	10	83
<i>A. negundo</i> L.	16	21	10	3	5	5	5	65
<i>A. platanoides</i> L.	20	25	10	5	5	20	10	95
<i>A. pseudoplatanus</i> L.	17	22	10	3	5	5	5	67
<i>A. semenovii</i> Rgl. et Herd.	16	21	10	3	5	5	5	65
<i>A. tataricum</i> L.	20	23	10	4	5	10	5	77

Самые большие различия между видами имеют место по показателям, связанным с развитием репродуктивной сферы. Так, семена вызревают только у *A. platanoides* (20 баллов). У *A. ginnala* и *A. tataricum* плоды не вызревают. Но растения цветут – 15 баллов. Остальные виды вообще не цветут. Возможность размножения интродуцента в культуре обнаружена у *A. platanoides*, *A. ginnala* и *A. tataricum* (10 баллов). У остальных видов такая возможность совершенно отсутствует.

На основании вышеприведенных данных получена общая оценка перспективности изучаемых интродуцентов. К очень перспективным относятся *A. platanoides*, *A. ginnala* и *A. tataricum* (более 77 баллов), а к доволь-

но перспективным – остальные виды. Высокая перспективность изученных видов *Acer* установлена и в таежной зоне Сибири [5, 23].

Выводы

1. Рост листьев у изученных видов *Acer* начинается в конце мая, а побегов – в первой половине июня. При этом различия между видами не превышают 3–4 сут.

2. Время прекращения роста побегов и листьев у разных видов *Acer* отличается не более чем на 3–7 сут и наблюдается во второй половине июля.

3. Благодаря максимальной интенсивности ростовых процессов наибольшая площадь листовых пластинок формируется у *A. pseudoplatanus* и у *A. platanoides*. Величина годового при-

роста побегов у изученных видов претерпевает значительные изменения.

4. Сроки начала и кульминации прироста побегов и листьев определяются в основном температурой воздуха, в связи с чем они могут испытывать погодичную изменчивость в пределах 1–3 недель.

5. Между интенсивностью прироста побегов и листьев, с одной стороны, и динамикой температуры и влажности воздуха, атмосферных осадков и солнечной радиации, с другой стороны, обычно прослеживается положительная и довольно заметная зависимость.

6. Установлены группы растений в зависимости от сроков прохождения фенофаз: поздно начинающие и рано заканчивающие развитие (*A. platanoides*), рано

начинающие и рано заканчивающиеся (*A. negundo*), поздно начинающие и поздно заканчивающиеся развитие (остальные 4 вида).

7. Сроки наступления большей части фенофаз у изученных видов Асег в значительной

мере зависят от температуры и влажности воздуха, а также солнечной радиации. Зависимость между сроками наступления фенофаз и изучаемыми климатическими факторами носит прямолинейный характер, а ее форма и сила определяются биологией

вида и спецификой самой фенофазы.

8. К очень перспективным для интродукции в таежную зону относятся *A. platanoides*, *A. ginnala* и *A. tataricum*, а к довольно перспективным – *A. negundo*, *A. pseudoplatanus* и *A. semenovii*.

Библиографический список

1. Колесниченко, А. Н. Сезонные ритмы развития древесных интродуцентов / А. Н. Колесниченко // Охрана, изучение и обогащение растительного мира. – Киев, 1985. – С. 21–32.
2. Плотникова, Л. С. Рост и развитие древесных растений в культуре / Л. С. Плотникова, Е. М. Губина // Сезонный ритм интродуцированных древесных растений флоры СССР в ГБС АН СССР. – Москва, 1986. – С. 127–149.
3. Беланова, А. П. Интродукция представителей рода Асег в Новосибирске / А. П. Беланова, Л. Н. Чиндяева, Е. М. Лях // Растительный мир Азиатской России. – 2019. – № 4 (36). – С. 43–47.
4. Калущий К. К. Биоэкологические особенности лесной интродукции / К. К. Калущий, Н. А. Болотов // Лесная интродукция. – Воронеж, 1983. – С. 4–14.
5. Шестак, К. В. Оценка состояния интродуцентов рода Асег L. в дендрарии СИБГТУ / К. В. Шестак // Вестник КрасГАУ. – 2013. – № 10 (85). – С. 153–157.
6. Мартынов, Л. Г. Интродукция видов клена в республике Коми / Л. Г. Мартынов // Известия Коми научного центра УрО РАН. – 2017. – № 4 (32). – С. 25–32.
7. Bradshaw, W. R. H. The origins and dynamics of native forest ecosystems: Backerounyd tho the use of exotic species in forestry / W. R. H. Bradshaw // Pap. 9th Annu. Meet. Nord. Group Forest Genet. and Free Breed., Hallormsstadur (June 12–16, 1996). – Buvisindi, 1995. – № 4. – P. 7–115.
8. Лапин, П. И. Сезонный ритм развития древесных растений и его значение для интродукции / П. И. Лапин // Бюл. ГБС АН СССР. – 1967. – Вып. 65. – С. 12–18.
9. Hatch, L. C. Cultivars of Woody Plants. / L. C. Hatch. – Vol. 1, A–G. – TCR Press, 2007. – URL: <http://books.google.ru/books?id=a-jo55L6LMUC> printsec=frontcover&dq=Cultivars+of+Woody+Plants.+Hatch&source#v
10. Schmidt J. F. & son CO. New Trees. 2008–2009. – Oregon. – URL: http://www.jfschmidt.com/pdfs/JFS_New.2009.pdf
11. Черепанов, С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР) / С. К. Черепанов. – Санкт-Петербург, 1995. – 992 с.
12. Молчанов, А. А. Методика изучения прироста древесных растений / А. А. Молчанов, В. В. Смирнов. – Москва : Наука, 1967. – 95 с.
13. Булыгин, Н. Е. Фенологические наблюдения над древесными растениями / Н. Е. Булыгин. – Ленинград : ЛТА, 1979. – 123 с.
14. Лапин, П. И. Оценка перспективности интродукции древесных растений по данным визуальных наблюдений / П. И. Лапин, С. В. Сиднева // Опыт интродукции древесных растений. – Москва, 1973. – С. 7–68.
15. Шкутко, Н. В. Хвойные Белоруссии / Н. В. Шкутко. – Москва : Наука, 1991. – 263 с.
16. Ворошилов, В. Н. Ритм развития у растений / В. Н. Ворошилов. – Москва : Наука, 1960. – 312 с.
17. Сабинин, Д. А. Физиология развития растений / Д. А. Сабинин. – Москва : Наука, 1966. – 233 с.
18. Кищенко, И. Т. Рост и развитие аборигенных и интродуцированных видов семейства Pinaceae Lindl. в условиях Карелии / И. Т. Кищенко. – Петрозаводск : ПетрГУ, 2000. – 211 с.

19. Елагин, И. Н. Связь между фенологическим состоянием и степенью сформированности годичного слоя у древесных пород Сибири / И. Н. Елагин // Возобновление и формирование лесов Сибири. – Красноярск, 1969. – С. 136–142.
20. Трулевич Н. В. Эколого-фитоценологические основы интродукции растения / Н. В. Трулевич. – Москва : Наука, 1991. – 214 с.
21. Кааль, Е. С. Интродукция видов рода *Acer* L. в Ботаническом саду им. С. М. Крутовского / Е. С. Кааль, В. Е. Максименко // Лесной и химический комплексы – проблемы и решения : сборник статей по материалам Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции, посвященной 85-летию СибГТУ – Красноярск, 2015. – С. 7–9.
22. Шестак, К. В. Изучение особенностей адаптации интродуцетов рода *Acer* L. в ЦСБС СО РАН / К. В. Шестак, И. А. Алехин // Лесной и химический комплексы – проблемы и решения : сборник статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции: в 2 томах. – 2016. – С. 30–32.
23. Дорофеева, Л. М. Результаты интродукции рода *Acer* L. на Среднем Урале / Л. М. Дорофеева // Вестник ИрГСХА. – 2011. – № 44–1. – С. 33–42.

Bibliography

1. Kolesnichenko, A.N. Seasonal rhythms of development of wood ntroducers / Protection, study and enrichment of the plant world. / A.N. Kolesnichenko. – Kiev, 1985. – P. 21–32.
2. Plotnikova, L. S. Growth and development of woody plants in culture / L. S. Plotnikova, E. M. Gubina // Seasonal rhythm of introduced woody plants of the USSR flora in GBS AN USSR. – Moscow, 1986. – P. 127–149.
3. Belanova, A. P. Introduction of representatives of the genus *Acer* in Novosibirsk / A. P. Belanova, L. N. Chindyaeva, E. M. Lyakh // Plant World of Asian Russia. – 2019. – № 4 (36). – P. 43–47.
4. Kalutsky, K. K. Bioecological features of forest introduction / K. K. Kalutsky, N. A. Bolotov // Forest introduction. – Voronezh, 1983. – P. 4–14.
5. Shestak, K. V. Assessment of the state of introducers of the genus *Acer* L. in the arboretum of SIBGTU / K. V. Shestak // Bulletin of the Krasnodar State Agrarian University. – 2013. – № 10 (85). – P. 153–157.
6. Martynov, L. G. Introduction of Maple Species in the Republic of Komi / L. G. Martynov // Bulletin of the Komi Scientific Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. – 2017. – № 4 (32). – P. 25–32.
7. Bradshaw, W. R. H. The origins and dynamics of native forest ecosystems: Backerounyd tho the use of exotic species in forestry / W. R. H. Bradshaw // Pap. 9th Annu. Meet. Nord. Group Forest Genet. and Free Breed., Hallormstadar (June 12–16, 1996). – Buvisindi, 1995. – № 4. – P. 7–115.
8. Lapin, P. I. Seasonal rhythm of the development of woody plants and its significance for introduction / P. I. Lapin // Bull. GBS AN USSR. – 1967. – Issue 65. – P. 12–18.
9. Hatch, L. C. Cultivars of Woody Plants. / L. C. Hatch. – Vol. 1, A–G. – TCR Press, 2007. – URL: <http://books.google.ru/books?id=a-jo55L6LMUC> printsec=frontcover&dq=Cultivars+of+Woody+Plants.+Hatch&source#v
10. Schmidt J. F. & son CO. New Trees. 2008–2009. – Oregon. – URL: http://www.jfschmidt.com/pdfs/JFS_New.2009.pdf
11. Cherepanov, S. K. Vascular plants of Russia and neighboring states (within the former USSR) / S.K. Cherepanov. – St. Petersburg, 1995. – 992 p.
12. Molchanov, A. A. Methodology for studying the growth of woody plants / A. A. Molchanov, V. V. Smirnov. – Moscow : Publishing house Science, 1967. – 95 p.
13. Bulygin, N. E. Phenological observations of woody plants / N. E. Bulygin. – Leningrad : Publishing House of LTA, 1979. – 123 p.
14. Lapin, P. I. Assessment of the prospects of introducing woody plants according to visual observations / P. I. Lapin, S. V. Sidneva // Experience in introducing woody plants. – Moscow, 1973. – P. 7–68.

15. Shkutko, N. V. Coniferous Belarus / N. V. Shkutko. – Moscow : Nauka, 1991. – 263 p.
 16. Voroshilov, V. N. The rhythm of development in plants / V. N. Voroshilov. – Moscow : Nauka, 1960. – 312 p.
 17. Sabinin, D. A. Physiology of plant development / D. A. Sabinin. – Moscow : Science, 1966. – 233 p.
 18. Kishchenko, I. T. Growth and development of native and introduced species of the Pinaceae Lindl. in the conditions of Karelia / I. T. Kishchenko. – Petrozavodsk : Publishing House of PetrSU, 2000. – 221 p.
 19. Elagin, I. N. The relationship between the phenological state and the degree of formation of the annual layer in Siberian wood species / I. N. Elagin // Renewal and formation of Siberian forests. – Krasnoyarsk, 1969. – P. 136–142.
 20. Trulevich, N. V. Ecological and phytocenotic basis of plant introduction / N. V. Trulevich. – Moscow : Science, 1991. – 214 p.
 21. Kaal, E. S. Introduction of species of the genus Acer L. in the Botanical Garden. СМ. Krutovsky / E. S. Kaal, V. E. Maksimenko // Forest and chemical complexes – problems and solutions : Collection of articles on the materials of the All-Russian (with international participation) scientific-practical conference. The conference is dedicated to the 85th anniversary of SibGTU. – Krasnoyarsk, 2015. – P. 7–9.
 22. Shestak, K. V. Studying the peculiarities of the introduction of introducers of the Acer L. genus at the Central Scientific and Biological Center SB RAS / K. V. Shestak, I. A. Alekhine // Forest and Chemical Complexes. – Problems and Solutions : Collection of articles on the materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference : In 2 volumes. – Krasnoyarsk, 2016. – P. 30–32.
 23. Dorofeeva, L. M. The results of the introduction of the genus Acer L. in the Middle Urals / L. M. Dorofeeva // Bulletin of the Irkutsk State Agricultural Academy. – 2011. – № 1–44. – P. 33–42.
-

УДК 630*1

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ФЕРРОСПЛАВНОГО ЗАВОДА НА ЛЕСНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ МЕТОДАМИ БИОИНДИКАЦИИ

А. Ф. МУРАШОВ – магистрант кафедры лесных культур и биофизики*,
e-mail: afmurashov@gmail.com

А. В. КАПРАЛОВ – кандидат сельскохозяйственных наук,
доцент кафедры лесных культур и биофизики*,
e-mail: dekanat_zf@inbox.ru *

* ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»
620100, Россия, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37

Ключевые слова: биоиндикация, промышленные поллютанты, ферросплавный завод, санитарное состояние древостоев, оценка фитотоксичности, лишеноиндикация, возраст хвои.

Большинство металлургических предприятий оказывает негативное воздействие на лесные насаждения прилегающих к нему территорий. Одним из таких участков являются лесные насаждения вблизи п. Двуреченск Свердловской области, окружающие ферросплавный завод ПАО «КЗФ». Известно, что поллютанты металлургических предприятий оказывают влияние на все компоненты биогеоценоза, в частности на лесную растительность. Завод в последние десятилетия не работает на полную мощность и в значительной степени отвечает современным экологическим требованиям. Однако так было не всегда: очистные сооружения завода не обеспечивали задержание вредных выбросов, в результате чего накопление поллютантов на прилегающих территориях проводилось более полувека. Цель настоящей работы – оценка воздействия

ферросплавного завода на лесные экосистемы зоны влияния, определение их состояния и выявление значимости индикаторов оценки.

В работе проведены исследования по определению состояния лесных насаждений с использованием методов биоиндикации. Исследования проводились на временных пробных площадях (ВПП), заложенных на трансектах, которые располагаются в северном, восточном, южном и западном направлениях. На ВПП было определено санитарное состояние древостоев, средний возраст хвои сосны обыкновенной, произведен анализ на фитотоксичность проб почвы и талой снеговой воды. С целью оценки экологической ситуации от возможного воздействия завода определялось количество лишайников в лесном насаждении (метод лишеноиндикации). Оценка воздействия ферросплавного завода на лесные экосистемы выявила, что насаждения находятся в ослабленном состоянии. Достаточно четко прослеживается связь санитарного состояния древостоев с фитотоксичностью почв и талой снеговой воды, данными лишеноиндикации. В наибольшей степени влияние завода на состояние древостоя прослеживается в северной и восточной частях зоны.

EVALUATION OF THE EXPOSURE TO A FERROALLOY PLANT FOR FOREST ECOSYSTEMS BY BIOINDICATION METHODS

A. F. MURASHOV – graduate student of the department forest crops and biophysics*,
e-mail: afmurashov@gmail.com

A. V. KAPRALOV – Candidate of Agricultural Sciences
Associate Professor of the Department of Forest Cultures and Biophysics*,
e-mail: dekanat_zf@inbox.ru

* FSBEI HE «Ural State Forestry University»
620100, Russia, Yekaterinburg, Siberian Tract, 37

Keywords: *bioindication, industrial pollutants, ferroalloy plant, PJSC «KZF», sanitary condition of forest stands.*

Most metallurgical enterprises have a negative impact on forest stands adjacent to it. One of these sites is forest plantations near the village of Dvurechensk, Sverdlovsk Region, surrounding the ferroalloy plant of PJSC «KZF». It is known that pollutants of metallurgical enterprises influence all components of the biogeocenosis, in particular, forest vegetation. Over the past decade, the plant has not been operating at full capacity and largely meets modern environmental requirements. However, this was not always the case — the treatment facilities of the plant did not provide for the containment of harmful emissions; as a result of the accumulation of pollutants in the adjacent territories, more than half a century was spent. The purpose of this work: to assess the impact of the ferroalloy plant on the forest ecosystems of the zone of influence, determine their condition and identify the significance of the assessment indicators.

The study conducted studies to determine the state of forest stands using bioindication methods. The studies were carried out on temporary trial plots (TTP) laid on transects located in the north, east, south and west. The TTP determined the sanitary condition of the stands, the average age of pine needles, and analyzed the phytotoxicity of soil and snowmelt samples. In order to assess the environmental situation from the possible impact of the plant, the number of lichens in the forest stands was determined (lichenindication method). An assessment of the impact of the ferroalloy plant on forest ecosystems revealed that the stands are in a weakened state. The relationship between the sanitary state of the stands and the phytotoxicity of soils and melt snow water, lichenindication, is quite clearly traced. The influence of the plant on the state of the stand is most pronounced in the northern and eastern parts of the zone.

Введение

Известно, что на долю предприятий черной металлургии приходится около 15 % общих вредных выбросов в атмосферу, а в районах расположения крупных металлургических заводов и подобных комбинатов – более 50 % всего количества загрязнений, большую часть из которых принимают на себя леса [1, 2]. Территория загрязнения вокруг крупных промышленных предприятий в Российской Федерации занимает 1,3 млн га лесных экосистем [3]. Загрязнения оказывают как прямое (в газопылевой форме) воздействие фитотоксичных веществ на растительность, так и косвенное влияние на насаждения через загрязненные осадки, почвы или грунтовые воды [4–6]. Известно, что первые исследования изменений биоты вблизи точечных источников выбросов были выполнены еще в конце XIX в. [7].

Объектом нашего исследования является завод ПАО «КЗФ», который был основан во время Великой Отечественной войны на основе обогатительной фабрики по добыче хрома. Он является единственным в России и странах бывшего Советского Союза предприятием, выпускающим гамму (более 30 наименований) уникальных ферросплавов и лигатур, получаемых методом восстановления металлов из их кислородных и иных соединений [8]. Завод производит выбросы кальция оксида, пыли неорганической, диалюминия триоксида, дижелеза триоксида, хрома шестивалент-

ного, хрома трехвалентного, азота оксида и др.

Материал и методы

С целью оценки воздействия ферросплавного завода на насаждения был заложен ряд ВПП. Размещаются они на трансектах в северном, восточном, южном и западном направлениях. Центром отсчета трансект был выбран ферросплавный завод. Первые две площади закладывались через 300 м, затем следовала пробная площадь на расстоянии в 1 км от завода, последующие за ней – через километр (рис. 1). В западном направлении, в 8 км от завода заложена условно-контрольная пробная площадь. Объектом исследования

являются сосняки черничного и разнотравного типов леса IV–V класса возраста. Доля преобладающей породы (сосны) – 9–10 единиц, сопутствующей (береза) – 1 единица.

На пробных площадях была проведена оценка санитарного состояния древостоев. Для этого использовалась шкала санитарного состояния древостоев из правил санитарной безопасности 2017 г. [9]. Проводилось определение возраста хвои сосны обыкновенной на основе 20–30 деревьев на каждой ВПП. На пробных площадях проводилось взятие почвенных образцов методом конверта. В начале марта на этих же площадях отбирались пробы снега для

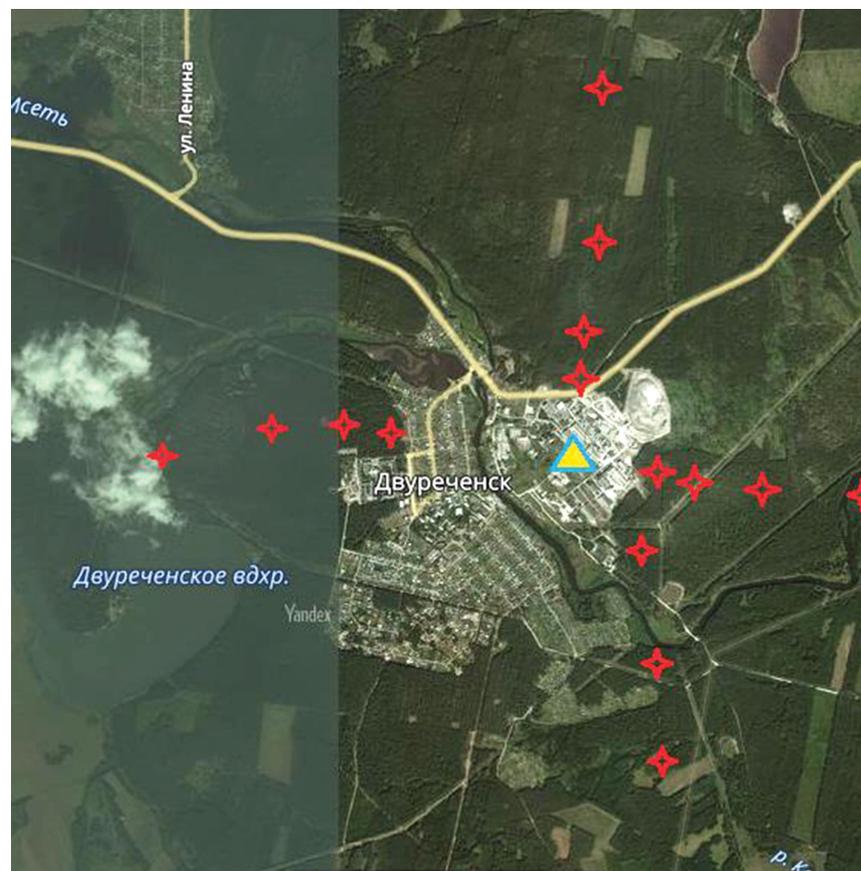


Рис. 1. Схема размещения временных пробных площадей
Fig. 1. Layout of temporary trial plots

анализа талой снеговой воды на фитотоксичность. В основу определения фитотоксичности положено сравнение суточного прироста клеток зеленой одноклеточной водоросли *Chlorella vulgaris* Beijer в контрольном и опытном вариантах. Изменение численности клеток определяется посредством измерения оптической плотности суспензии водоросли при длине волны 670 нм. По гибели, агрегации и изменению суточного прироста численности клеток определяли качество исследуемого объекта. Расчет показателя коэффициента токсичности проводили по формуле

$$K_m = \frac{A_k - A_m}{A_k},$$

где A_k и A_m – величины оптической плотности контрольного и тестируемого образца.

Критерием токсичности тестируемого образца является снижение коэффициента токсичности на 20 % и более (подавление роста) или увеличение на 30 % и более (стимуляция роста величины оптической плотности культуры водоросли, выращиваемой в течение 24 ч на тестируемой воде, по сравнению с ее ростом на контрольной среде, приготовленной на дистиллированной воде) [10].

Степень токсичности образца устанавливается на основе токсикологических характеристик через величину биологически безопасного разбавления. Для этого из результатов биотестирования разведений пробы воды, кратных трем, выбирают то разбавление,

для которого рассчитанный коэффициент токсичности превысил значение 0,2 (подавление роста) или 0,3 (стимуляция роста).

Дополнительно исследовалось наличие лишайников на пробных площадях. Лихеноиндикация, как и все методы биотестирования, опирается на закон экологической индивидуальности видов. Виды реагируют на определенные факторы внешней среды по-разному [11]. Из всех экологических групп лишайников наибольшей чувствительностью обладают эпифитные лишайники (или эпифиты), т. е. лишайники, растущие на коре деревьев. Известно, что при повышении степени загрязнения воздуха первыми исчезают кустистые, затем листоватые и последними накипные (корковые) формы лишайников [12]. В учет брались три основные разновидности лишайников исходя из внешнего вида слоевища: накипные, листоватые и кустистые. Для проведения лехеноиндикации было взято 5 деревьев на каждой временной пробной площади путем слу-

чайного отбора. Замер и расчет площади покрытия лишайниками проводился согласно методическому пособию Боголюбова «Оценка загрязнения воздуха методом лишеноиндикации» [12].

Результаты исследований и их обсуждение

Поученные данные указывают на то, что наихудшее санитарное состояние древостоя – на первой пробной площади северной трансекты (рис. 2.). Чуть более высокий балл имеет древостой на первой пробной площади восточной трансекты. На вторых пробных площадях, северной и восточной трансект, баллы санитарного состояния близки между собой. На южной трансекте древостои характеризуются относительно хорошим санитарным состоянием, которое не изменяется от самого источника загрязнения.

Возраст хвои на первых пробных площадях северной и восточной трансект составляет в среднем 1,5–2 года. С удалением от источника продолжительность жизни хвои повышается.

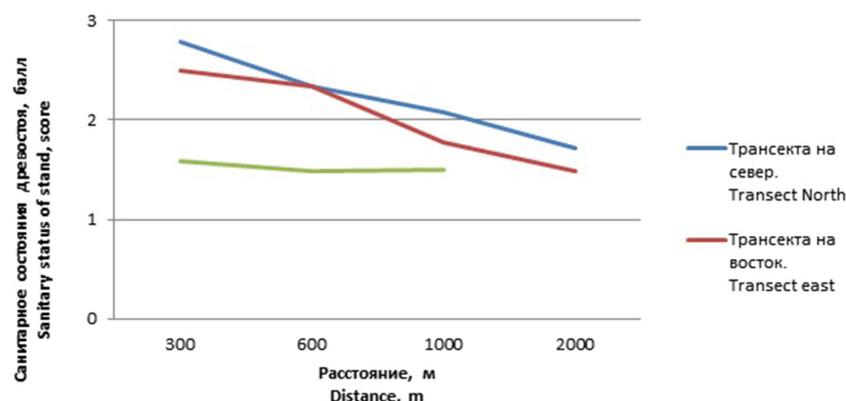


Рис. 2. Санитарное состояние древостоя относительно расстояния от источника загрязнения

Fig. 2. The sanitary state of the stand relative to the distance from the source of pollution

На западной трансекте и на условно-контрольной пробной площади возраст хвои в среднем составляет 3 года (рис. 3).

Оценка фитотоксичности водной вытяжки из почв показала, что на первых пробных площадях северной и восточной трансект почвы токсичные и среднетоксичные. На этих же трансектах с удалением от источника почвы остаются среднетоксичными. На третьей пробной

площади восточной трансекты почвы токсичные.

На западной трансекте слабо-токсичные и нетоксичные почвы, что вполне очевидно, так как данные ВПП находятся с наветренной стороны от источника выбросов. На условно-контрольной пробной площади почвы оказались токсичными, что сложно объяснить, так как поблизости не имеется факторов, способных оказать негативное

влияние, поэтому для выявления причин могут потребоваться дополнительные исследования. Таким образом, просматривается связь степени фитотоксичности почв со значениями среднего санитарного состояния древостоя.

Известно, что содержание поллютантов в снежном покрове, как правило, в 2–3 раза выше чем в атмосферном воздухе [13]. На первой и второй пробной площадях северной трансекты талая снеговая вода токсичная. Из всех проб талой снеговой воды выделяется проба, взятая вблизи отвала, – она гипертоксичная. Возможно, в зимний период за счет сильных ветров и снега пылевые частицы более активно распространяются с заводского отвала. Все данные по степени фитотоксичности почв и талой снеговой воды занесены в таблицу.

В качестве дополнительного показателя экологического состояния зоны действия выбросов изучались состав и распространение лишайников. На пробных площадях были представлены следующие виды лишайников: леканора разнообразная *Lecanora allophana* Nul, цетрария сосновая *Cetraria pinastri* (Scop.) Gray, гипогимния вздутая *Hypogymnia physodes* (L.) Nul, эверния мезоморфная *Evernia mesomorpha* Nul. Наиболее наглядные данные анализа методом лихеноиндикации представлены в виде гистограммы по северной трансекте на рис. 4.

На первых пробных площадях полностью отсутствует какой-либо видовой состав лишайников. Исключение составила первая

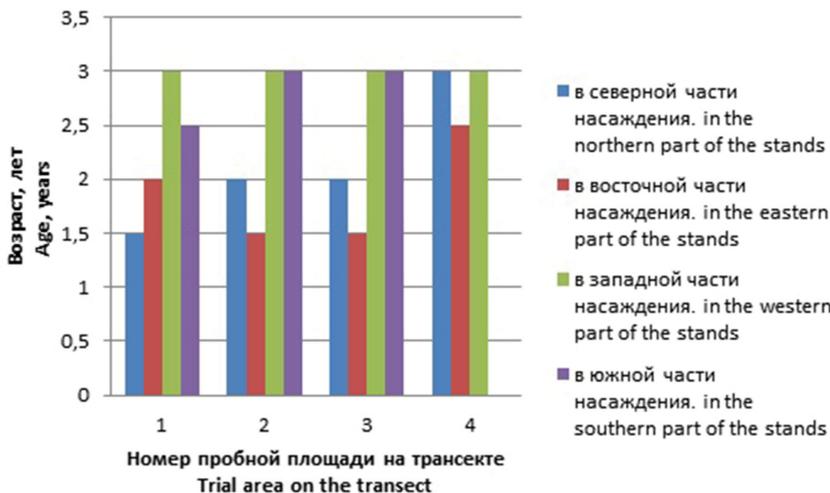


Рис. 3. Средний возраст хвои сосны обыкновенной на ВПП
Fig. 3. The average age of pine needles on the TTP

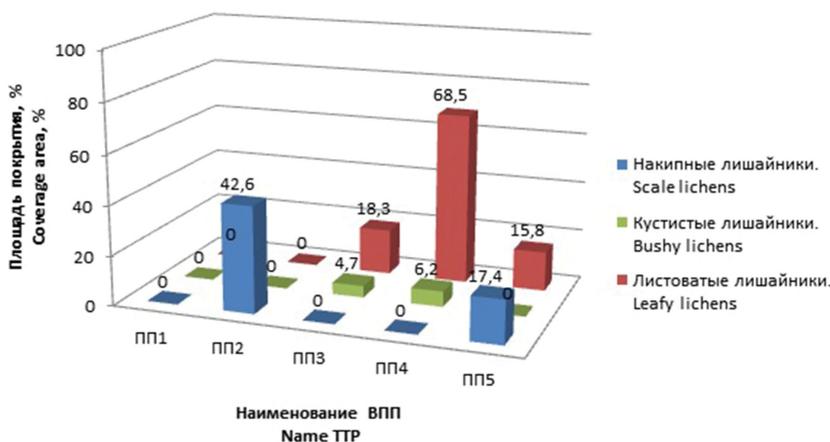


Рис. 4. Площадь покрытия ствола дерева лишайниками на высоте до 1 м (трансекта на север)
Fig. 4. The area of the tree trunk with lichens at a height up to 1 meter (transect to the north)

Токсичность почв и талой снеговой воды на ВПП
Toxicity of soil and snow melt on the TTP

Трансекта на север Transect North		
Номер пробы Sample Number	Степень токсичности почвенной вытяжки The degree of toxicity of soil extract	Степень токсичности талой снеговой воды Toxic snowmelt toxicity
1	Токсичная Toxic	Токсичная Toxic
2	Токсичная Toxic	Токсичная Toxic
3	Среднетоксичная Medium toxic	Слаботоксичная Slightly toxic
4	Слаботоксичная Slightly toxic	Слаботоксичная Slightly toxic
Трансекта на восток Transect east		
1	Среднетоксичная Medium toxic	Слаботоксичная Slightly toxic
2	Среднетоксичная Medium toxic	Слаботоксичная Slightly toxic
3	Токсичная Toxic	Среднетоксичная Medium toxic
4	Среднетоксичная Medium toxic	Слаботоксичная Slightly toxic
Трансекта на запад Transect west		
1	Слаботоксичная Slightly toxic	Нетоксичная Non toxic
2	Слаботоксичная Slightly toxic	Нетоксичная Non toxic
3	Нетоксичная Non toxic	Нетоксичная Non toxic
4	Нетоксичная Non toxic	Нетоксичная Non toxic
Трансекта на юг Transect South		
1	Среднетоксичная Medium toxic	Среднетоксичная Medium toxic
2	Токсичная Toxic	Нетоксичная Non toxic
3	Сильно токсичная Highly toxic	Нетоксичная Non toxic
Контрольная ВПП TTP control		
1	Токсичная Toxic	Слаботоксичная Slightly toxic
Отвал Dump		
1	Слаботоксичная Slightly toxic	Гепертоксичная Hypertoxic

пробная площадь на западной трансекте, где присутствуют в небольшом количестве листоватые лишайники и единично кустистые. На всех трансектах преобладают листоватые лишайники – гипогимния вздутая.

Наблюдается тенденция в увеличении площади покрытия стволов деревьев лишайником относительно удаления их от источника загрязнения. Особенно это ярко выражено на северной и западной трансектах. Возрастает площадь покрытия не только листоватых лишайников, но и кустистых, которые более требовательны к чистоте воздуха. Однако имеются пробные площади, где количество лишай-

ников снижается по сравнению с таковым на предыдущей пробной площади, а где-то вовсе лишайники отсутствуют. Основной причиной тому являются низовые лесные пожары.

Выводы

1. Лесные экосистемы, прилегающие к п. Двуреченск, находятся в ослабленном состоянии:

а) средняя категория санитарного состояния – от 1,34 до 2,78 балла;

б) продолжительность жизни хвои сосны обыкновенной – от 1,5 до 3 лет;

в) степень фитотоксичности почв: от нетоксичных до токсичных;

г) степень фитотоксичности талой снеговой воды: от нетоксичной до гипертоксичной).

2. Прослеживается связь санитарного состояния древостоев с фитотоксичностью почв и талой снеговой воды и данными лишеноиндикации.

3. В наибольшей степени влияние завода на состояние древостоя прослеживается в северной и восточной частях зоны. На северной и восточной трансектах отмечается наихудшее санитарное состояние древостоев, наименьший возраст хвои, пробы почвы и талой снеговой воды токсичные и среднетоксичные, площадь покрытия лишайниками наименьшая.

Библиографический список

1. Воскобойников, В. Г. Общая металлургия : учебник для вузов / В. Г. Воскобойников, В. А. Кудрин, А. М. Якушев. – 6 изд., перераб. и доп. – Москва : Академкнига, 2011. – 773 с.
2. Цветков, В. Ф. Промышленное загрязнение окружающей среды и леса / В. Ф. Цветков, И. В. Цветков. – Архангельск : САФУ, 2012. – 312 с.
3. Гитарский, М. Л. Эмиссия и поглощение парниковых газов антропогенного происхождения лесами России : диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук / М. Л. Гитарский. – Москва, 2007. – 44 с.
4. Юсупов, И. А. Состояние искусственных сосновых молодняков в условиях аэропромвыбросов / И. А. Юсупов, Н. А. Луганский, С. В. Залесов. – Екатеринбург, 1999. – 195 с.
5. Залесов, С. В. Основные факторы поражённости сосны корневыми и стволовыми гнилями в городских лесопарках / С. В. Залесов, Е. В. Колтунов, Р. Н. Лаишевцев // Защита и карантин растений. – 2008. – № 2. – С. 56–58.
6. Залесов, С. В. Состояние лесных насаждений, подверженных влиянию промышленных поллютантов ЗАО «Карабашмедь» и реакция их компонентов на проведение рубок обновления / С. В. Залесов, А. В. Бачурина, С. В. Бачурина. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2017. – URL: <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/6620>
7. Haselhoff, E. Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch. Handbuch zur Erkennung und Beurteilung von Rauchschäden / E. Haselhoff, G. Lindau. – Leipzig : Gebrüder Borntraeger, 1903. – 412 s.
8. Ключевский завод ферросплавов // Группа МидЮрал : [сайт]. – Екатеринбург, 2018. – URL: <http://www.miduralgroup.ru/kzf.htm> (дата обращения: 17.11.2018).
9. Постановление Правительства Российской Федерации от 20 мая 2017 года № 607 «О Правилах санитарной безопасности в лесах». – URL: <http://www.consultant.ru>

10. Григорьев, Ю. С. Методика определения токсичности проб поверхностных пресных, грунтовых, питьевых, сточных вод, водных вытяжек из почвы, осадков сточных вод и отходов по изменению оптической плотности культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer) / Ю. С. Григорьев. – Москва : МПР России, 2004. – 25 с.
11. Чеснокова, С. М. Лихеноиндикация загрязнения окружающей среды : практикум / С. М. Чеснокова. – Владимирский государственный университет. – Владимир, 1999. – 38 с.
12. Боголюбов, А. С. Оценка загрязнения воздуха методом лишеноиндикации : методическое пособие / А. С. Боголюбов, М. В. Кравченко. – Москва : Экосистема, 2001. – 15 с.
13. Систер, В. Г. Инженерно-экологическая защита водной системы северного мегаполиса в зимний период / В. Г. Систер, В. Е. Корецкий. – Москва : МГУЭИ, 2004. – 159 с.

Bibliography

1. Voskoboinikov, V. G. General metallurgy : Textbook for universities / V. G. Voskoboinikov, V. A. Kudrin, A. M. Yakushev. – 6th ed., Rev. and add. – Moscow : Akademkniga, 2011. – 773 p.
 2. Tsvetkov, V. F. Industrial pollution of the environment and forests / V. F. Tsvetkov, I. V. Tsvetkov. – Arkhangel'sk : NArFU, 2012. – 312 p.
 3. Guitar, M. L. Emission and absorption of greenhouse gases of anthropogenic origin by the forests of Russia : dis. ... Dr. Biol. Sciences / M. L. Guitar. – Moscow, 2007. – 44 p.
 4. Yusupov, I. State of artificial pine young stands in terms of Agroprombiznes / I. Yusupov, N. Lugansky, S. Zalesov. – Yekaterinburg, 1999. – 195 p.
 5. Zalesov, S. Main factors of pine root and stem rot infestation in urban forest parks / S. Zalesov, E. Koltunov, R. Laishevtsev // Plant protection and quarantine. – 2008. – № 2. – P. 56–58.
 6. Zalesov, S. State of forest plantations affected by industrial pollutants of ZAO «Karabash copper» and the reaction of their components to logging / S. Zalesov, A. Bachurina, S. Bachurina. – Yekaterinburg : Ural. state forest engineering. un-t, 2017. – URL: [http:// elar.usfeu.ru/handle/123456789/6620](http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/6620)
 7. Haselhoff, E. Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch. Handbuch zur Erkennung und Beurteilung von Rauchschäden / E. Haselhoff, G. Lindau. – Leipzig : Gebrüder Borntraeger, 1903. – 412 s.
 8. Kluchevsky ferroalloy plant // MidUral Group : website. Yekaterinburg, 2018. – URL: <http://www.miduralgroup.ru/kzf.htm> (Date of access: 11/17/2018)
 9. Decree of the Government of the Russian Federation of May 20, 2017 N 607 «On the Rules of sanitary safety in forests». – URL: <http://www.consultant.ru>
 10. Grigoryev Yu.S. The methodology for determining the toxicity of samples of surface fresh, ground, drinking, wastewater, water extracts from the soil, sewage sludge and waste by changing the optical density of the culture of Chlorell algae (*Chlorellavulgaris* Beijer). – Moscow : MPR of Russia, 2004. – 25 p.
 11. Chesnokova, S. M. Lichen Indication of Environmental Pollution : Workshop / S. M. Chesnokova. – Vladim. state un-t. – Vladimir, 1999. – 38 p.
 12. Bogolyubov, A. S. Assessment of air pollution by the method of lichen indication : method. manual / A. S. Bogolyubov, M. V. Kravchenko. – Moscow : Ecosystem, 2001. – 15 p.
 13. Sister, V. G. Environmental engineering protection of the water system of the northern metropolis in winter / V. G. Sister, V. E. Koretsky. – Moscow : Publishing house of Moscow State University of Economics and Economics, 2004. – 159 p.
-

УДК 630*161:662.71

ТЕПЛОГЕНЕРАЦИЯ НА ОСНОВЕ ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА КАК БАЗА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

А. В. МЕХРЕНЦЕВ – кандидат технических наук, доцент,
профессор кафедры технологии и оборудования лесопромышленного производства*;
тел.: +7 912-622-72-10; e-mail: mehrentsev@yandex.ru

М. А. КОРЖ – студентка*

* ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»;
г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37;
тел.: +7 950-541-34-88; e-mail: korzhm@list.ru

Ключевые слова: теплогенерация, древесное топливо, энергосбережение, биоэнергетика, топливно-технологические терминалы, топливная щепка, нормированное топливо, пеллеты, лесное хозяйство, экспорт щепы.

Теплогенерация на основе древесного топлива повышает энергоэффективность в лесопромышленном производстве. Древесное топливо является возобновимым и экологичным ресурсом и рассматривается как эффективная замена топливу из ископаемых ресурсов. Применение нормированных видов древесного топлива позволяет снизить затраты на теплогенерацию. Древесное топливо имеет самые низкие показатели выделения углекислого газа, а также отсутствие серы при сгорании, что обеспечивает экологичность применения данного вида топлива. Важными организационными мероприятиями по переходу на древесные виды топлива являются создание унифицированных муниципальных топливно-технологических терминалов, расширение производства топливной щепы при рубках ухода, а также экспорт избыточной топливной щепы. Эти мероприятия позволяют увеличить количество высокопроизводительных рабочих мест.

HEAT GENERATION BASED ON WOOD FUEL AS A BASIS FOR IMPROVING ENERGY EFFICIENCY IN THE TIMBER INDUSTRY

A. V. MEKHRENTSEV – candidate of technical Sciences, associate Professor,
Professor of the Department of Technology and equipment of forest industry production*,
phone: +7 912-622-72-10; e-mail: mehrentsev@yandex.ru

M. A. KORZH – student*

* FSBEE HE «Ural State Forest Engineering University»,
Yekaterinburg, Sibirian trakt, 37,
phone: +7 950-541-34-88; e-mail: korzhm@list.ru

Keywords: heat generation, wood fuel, energy saving, bioenergy, fuel and technological terminals, fuel chips, standardized fuel, pellets, forestry, export of chips.

Heat generation based on wood fuel increases energy efficiency in the timber industry. Wood fuel is a renewable and environmentally friendly resource and is seen as an effective substitute for fossil fuels. The use of standardized types of wood fuel can reduce the cost of heat generation. Wood fuel has the lowest rates of carbon dioxide emissions, as well as the absence of sulfur during combustion, which ensures environmental friendliness of this

type of fuel. Important organizational measures for the transition to wood fuels are the creation of unified municipal fuel technology terminals, the expansion of the production of fuel chips during logging operations, as well as the export of excess fuel chips. These activities increase the number of high-performance jobs.

Введение

Переход на экологически чистое топливо и безотходное производство – два направления, определяющие статус развития стран в современных условиях.

С каждым годом всё больше стран отказывается от использования ископаемого топлива в пользу древесного, так как оно является практически безвредным для окружающей среды. Древесина – это возобновляемый и контролируемый ресурс, который способен заменить ископаемые виды топлива.

Использование древесного топлива для выработки энергии является не только безвредным для окружающей среды, но и зачастую более экономически оправданным решением. Оно позволяет сэкономить средства, необходимые на транспортировку ископаемых энергоресурсов, а также решить проблему эффективной утилизации отходов местных лесопромышленных производств. Опыт отечественной биоэнергетики на древесном топливе, а также зарубежных стран показывает, что развитие биоэнергетических предприятий положительно влияет на эффективность лесопромышленного производства в целом, а также становится определенным драйвером на пути формирования низкоуглеродной экономики страны [1].

Цель, задача, методика и объекты исследования

Целью данного исследования является анализ существующих процессов теплогенерации на основе нормированных видов древесного топлива. Задачей данного исследования стало определение на базе проведенного анализа технологических и организационных компонентов эффективного теплогенерирующего производства энергии на древесном топливе.

Теплогенерация (heat generation) – это получение теплоты из разных видов энергии. В топливной печи источником теплоты может быть химическая энергия топлива. Теплогенерация при сжигании топлива характеризуется количеством теплоты, выделенной при полном сгорании единицы топлива. При сжигании топлива, изменяя расход воздуха, можно регулировать температуру горения, количество и химический состав продуктов сгорания, устойчивость процесса горения и теплогенерации. При недостатке воздуха происходит неполное сгорание топлива с выделением из топлива горючих веществ в газообразном состоянии. Применение дутья, обогащенного кислородом, позволяет повысить полноту сгорания топлива. Эффективность теплогенерации в различных топливосжигательных устройствах оценивается долей теплоты, передаваемой в рабочее пространство печи,

что определяется коэффициентом использования топлива [2]. Особенностью теплогенератора на основе древесного топлива является его неприхотливость к качеству и влажности сжигаемой древесной массы (допустима абсолютная влажность до 110 % и относительная влажность до 60 %). Действие теплогенератора, использующего при работе переходные процессы пиролиза древесной массы, построено на бездымном горении неразрушаемого слоя топлива. Конструкция теплогенератора позволяет развивать рабочие температуры до 1250 °С. При этом энергоэффективность теплогенератора на древесном топливе может быть существенно повышена за счет снижения энтропии при использовании нормированных видов топлива.

К нормированным видам топлива относят топливную щепу, опил, топливные брикеты и гранулы из древесины или древесного угля, т.е. упорядоченные древесные элементы, однородные по своим размерам, полученные в результате целенаправленного измельчения древесины или прессования древесной или древесно-угольной пыли. В настоящее время в России получила развитие генерация тепла на нормированном топливе – древесных гранулах или пеллетах – главным образом для отопления частных домов, производственных или складских помещений.

Теплотворная способность гранул не уступает таковой бурого угля (около 18 МДж/кг), но стоимость тонны ископаемого топлива более чем в 3 раза ниже, чем у древесных гранул. Однако в отличие от продуктов сгорания древесных топливных гранул продукты сгорания угля совсем не безобидны в плане экологии. Содержание серы в золе гранул меньше в 20 раз, чем в угольном шлаке, которого к тому же образуется в 20 раз больше, чем золы. При сжигании древесных гранул по сравнению с углем почти в 2 раза меньше выделяется диоксида углерода. В то же время тонна древесных топливных пеллет обладает такой же теплотворной способностью, как 1,72 т сухой древесины, 614 кг каменного угля или 423 кг дизельного топлива [3].

По сравнению с жидкотопливными пеллетные котлы более экологичны и дешевле в эксплуатации. При сжигании ископаемых видов твердого и жидкого топлива на поверхность земли оседает огромное количество вредных для организма человека веществ (в том числе канцерогенов). Отметим, что и сжигание природного газа совсем не безобидно и также оставляет в воздухе канцерогены, превышающие предельно допустимые концентрации в 100 и более раз. В табл. 1 приведены сравнительные характеристики основных видов топлива по выбросам в атмосферу.

Древесные гранулы стоят здесь лишь на 5-м месте по удельной теплоте сгорания, но эта величина теоретическая, без учета КПД сгорания топлива

(КПД нетто) и КПД тепловой установки (оба КПД вместе дают КПД брутто).

Необходимо отметить, что большинство котлов для нормированного топлива имеют невысокий КПД брутто, так как используется обычно кучевой способ сжигания, дающий минимальные температуры горения (650–700 °С). При этом теплообменные поверхности сильно засоряются дымовыми газами, что со временем снижает КПД котлов и требует частой чистки поверхностей теплообмена. Применение вместо котельных установок теплогенераторов позволяет не менее чем в 2 раза повысить КПД при производстве тепла брутто.

Наибольшей теплотворной способностью обладает дизельное топливо (10200 ккал/кг;

Таблица 1
Table 1

Сравнительные характеристики основных видов топлива
Comparative characteristics of the main types of fuel

Вид топлива Type of fuel	Теплота сгорания, МДж/кг Heat of combustion, MJ/kg	% серы % sulfur	% золы % ashes	Углекислый газ, кг/ГДж Carbon dioxide, kg/GJ
Дизельное топливо Diesel fuel	42,5	0,2	1	78
Мазут Masut	42	1,2	1,5	78
Природный газ Natural gas	35–38	0,06	0	57
Каменный уголь Coal	15–25	1–3	10–35	60
Гранулы древесные Wood pellets	17,5	0	1	23
Гранулы торфяные Peat pellets	11	0,12	4–20	70
Щепа древесная Wood chips	13	0	1	31
Опилки древесные Sawdust wood	10	0	1	40

42,6 МДж/кг; 11,8 кВт·ч), наименьший показатель теплотворной способности имеет древесина при относительной влажности, равной 40 % (2210 ккал/кг; 9,2 МДж/кг; 2,6 кВт·ч). В то же время следует отметить, что дизельное топливо характеризуется самым высоким показателем выделения углекислого газа – 78 кг/ГДж, который представляет антропогенный загрязнитель, так как не является частью есте-

ственного углеродного цикла. Древесное топливо, в свою очередь, имеет самые низкие показатели выделения углекислого газа, а также отсутствие серы при сгорании, что обеспечивает экологичность применения данного вида топлива. Если древесина будет иметь влажность ниже 20 %, то её эффективность в качестве топлива возрастает в 2 раза, что повысит ее конкурентоспособность.

Существенный фактор успешного развития теплогенерации на древесном топливе – наличие древесных ресурсов на территории. Свердловская область имеет огромные резервы для развития биоэнергетики, которая может рассматриваться как важная отрасль по утилизации, рециклингу низкокачественной древесины и древесных отходов (табл. 2).

Таблица 2

Table 2

Запасы низкокачественной древесины и отходов лесопользования в Свердловской области
Stocks of low-quality wood and forest management waste in Sverdlovsk region

Показатели Indicators	Значение Value
Фактическая среднегодовая рубка за последние 10 лет, млн м ³ Actual average Forest cutting over the past 10 years, million m ³	7,1
Ежегодный прирост низкокачественной древесины, млн м ³ Annual growth of low-quality wood	13,11
в т.ч. древесного сырья на топливо, млн м ³ wood raw materials for fuel	3,90
в тоннах условного топлива in tons of conventional fuel	1213
На котельную 100 кВт в год (250 дней), м ³ On boiler room 100 kW per year (250 days), m ³	3000
На котельную 500 кВт в год, м ³ On boiler room 500 kW per year, m ³	15 000

С учетом наличия ресурсов и возможностей освоения расчетной лесосеки (рис. 1), а также особенностей развития транспортных путей в Свердловской области предлагается реализация проекта создания и размещения специализированных топливно-технологических терминалов на территории муниципалитетов в границах следующих лесничеств: Талицкого, Режевского, Туринского, Камышловского, Билимбаевского, Шалинского, Невьянского, Алапаевского, Куш-

винского, Серовского и Карпинского. Наличие на территории региона топливно-технологических терминалов позволит повысить эффективность работы биоэнергетических объектов за счет снижения затрат на доставку топлива, а также за счет формирования резервов биотоплива.

В состав унифицированного муниципального топливно-технологического терминала (УМТТТ) входят: железнодорожный тупик либо автодорога, склад хранения, разгрузочная и загруз-

очная эстакады с комплексом подъемно-транспортного оборудования. Основная задача – прием, хранение и отгрузка различных видов древесного топлива, а также возможность размещения технологического оборудования для доработки биотоплива (разделка, сортировка, раскалывание, сушка, упаковка) в интересах потребителя. В перспективе УМТТТ можно использовать как площадку для формирования экспортных партий лесных грузов, поступающих от предприятий

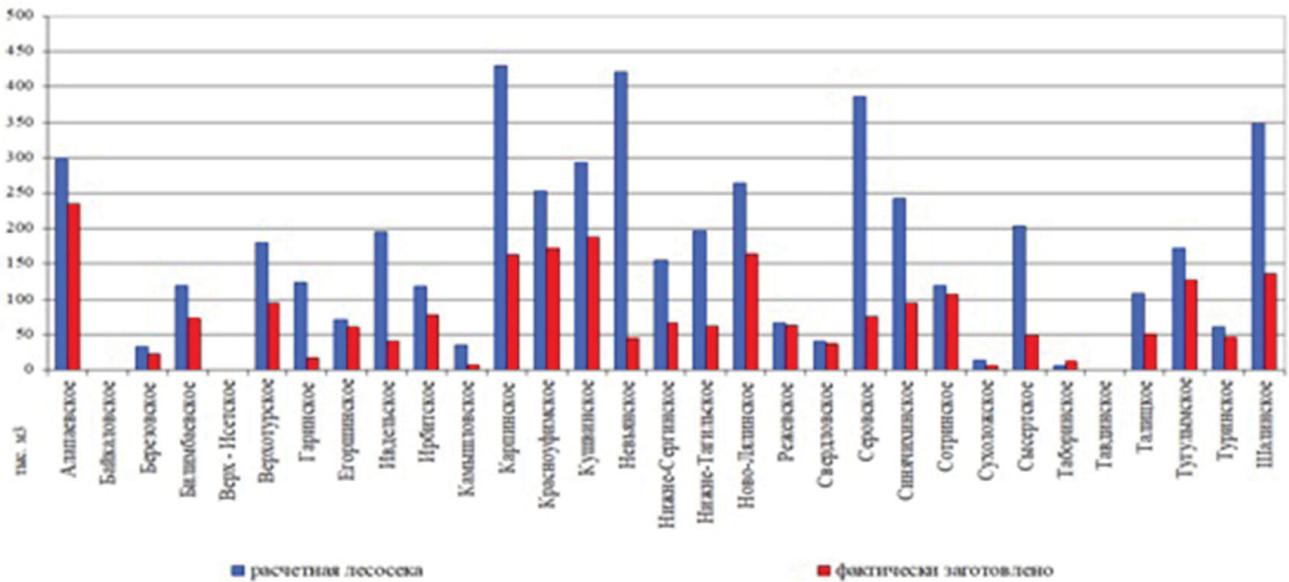


Рис.1. Возможные и фактические объемы заготовки древесины по лесничествам Свердловской области
 Fig. 1. Potential and actual volumes of wood harvesting in the forest areas of the Sverdlovsk region

малого предпринимательства, а также для реализации проектов по обеспечению строительными материалами объектов ЖКХ, оказания услуг местному населению по коворкингу. Такой подход позволит не только обеспечить устойчивость поставок древесного топлива муниципальным энергоснабжающим предприятиям, но и создать на территории дополнительные рабочие места. Наличие производственных мощностей по лесопереработке на территории Свердловской

области в границах создаваемых УМТТТ или других лесопромышленных предприятий позволяет дополнительно производить биотопливную массу. Потенциальные объемы отходов лесопромышленного производства на территории Свердловской области: по лесосечным работам – 1647,8 тыс. м³, по лесоскладским работам – 2948,9 тыс. м³, по лесопилению и деревообработке – 959,4 тыс. м³, всего – 8556,7 тыс. м³. При весе сухой древесины обезличенной

656 кг/м³, коэффициенте перевода в тонны условного топлива $C = 0,31$ получим:

- потенциальных отходов на топливо 3901,9 тыс. т., или 1213,4 тыс. т.у.т.;
- возможных – 1782,1 тыс. т., или 554,2 тыс. т.у.т.;
- реальных – 1107,6 тыс. т., или 344,5 тыс. т.у.т.

Таким образом, реальные ресурсы 1107 тыс. т древесных отходов позволят получить 2880 МВт·ч, или 2447,8 тыс. Гкал тепловой энергии, что даст потенциальную возможность практически полностью отказаться от использования привозного ископаемого топлива в виде каменного угля в котельных области. Для примера, на графике (рис. 2) показано распределение котельных в муниципальных образованиях Свердловской области по видам топлива: количество угольных котельных составляет 43,28 % от общего числа, котельных на древесном сырье – 7,6 % [4].

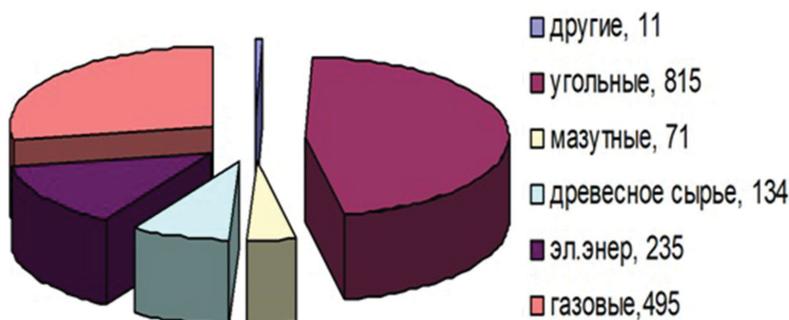


Рис. 2. Распределение котельных в муниципальных образованиях Свердловской области по видам топлива, ед.
 Fig. 2. Distribution of boiler houses in municipalities of the Sverdlovsk region by fuel type, pieces

Достоинством использования древесины как топлива во многих регионах является то, что на доставку её уходит гораздо меньше финансовых средств, решается проблема использования древесных отходов. Наиболее эффективны в настоящее время в качестве теплогенераторов пиролизные котлы, работающие в двухстадийном режиме с включенной газификацией древесного топлива.

Состав газов и тепловой баланс при пиролизе древесины [5]:

$$C + O_2 = CO_2 + 7940 \text{ ккал/кг } C,$$

или 33190 кДж/кг;

$$H_2 + 1/2O_2 = H_2O + 2579 \text{ ккал/нм}^3$$

H_2 , или 10780 кДж/кг;

$$CO + 1/2O_2 = CO_2 + 3018 \text{ ккал/нм}^3$$

CO , или 12615 кДж/кг;

$$CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O +$$

+ 8555 ккал/нм³ CH_4 (метан),

или 35760 кДж/кг;

$$C_2H_4 + 3O_2 = 2CO_2 + 2H_2O +$$

+ 14107 ккал/нм³ C_2H_4 (этилен),

или 58967 кДж/кг.

Количество тепла, выделяемого при сгорании газов, определяется умножением теплового эквивалента на процентное содержание соответствующего газа:

$$QГ = 14107 \cdot 3,65 + 3018 \cdot 32,55 +$$

$$+ 2579 \cdot 28 + 8555 \cdot 22,65 =$$

$$= 4157,1 \text{ ккал/кг.}$$

Теплотворная способность древесины влажностью 30 % составляет:

$$Qд = 12600 \text{ кДж/кг} =$$

$$= 12,6 \text{ МДж/кг} = 3011 \text{ ккал/кг.}$$

Таким образом, при теплогенерации пиролизных котлов дополнительный выход угля составит до 28 % от веса древесины, следовательно, пиролиз дает выход

тепловой энергии на 30 % больше, чем при сжигании древесины в классических слоевых топках.

В качестве эффективного топлива в пиролизных котлах можно успешно применять как щепу, так и древесные гранулы (pellets). Пеллеты – это топливные гранулы цилиндрической формы, спрессованные под большим давлением без добавления каких-либо органических связующих элементов. Иногда для повышения прочности пеллет в древесную массу добавляют кукурузный крахмал. Топливные гранулы имеют высокие показатели теплотворности, они эффективно заменяют жидкие виды топлива и газ (2,5 кг пеллет = 1 л жидкого топлива) [5]. Именно производство такого вида нормированного топлива в настоящее время набирает большую популярность во всём мире, в том числе и в России. По количеству производств в Свердловской области, потребляющих низкокачественное древесное сырье и отходы деревообработки, производство пеллет занимает второе место (табл. 3).

За рубежом, на примере Финляндии, наряду с пеллетами наиболее востребованным топливом для тепло- и электростанций является древесная щепа. В контексте данного исследования производство и экспорт щепы могут рассматриваться как промежуточный или сопутствующий технологический элемент лесопромышленного производства. В целом в Финляндии существует несколько крупных фирм по производству щепы, несколько

фирм, торгующих биотопливом, в том числе щепой, и много небольших хозяйств, занимающихся заготовкой щепы как для собственных нужд, так и на продажу. Стоимость щепы для конечного потребителя за 1 МВт·ч ниже стоимости на жидкое топливо и древесные пеллеты. С учетом растущих потребностей Финляндии в объемах поставки топливной щепы целесообразным является рассмотрение перспектив развития экспорта этой продукции, что может увеличить объемы утилизации низкосортной древесины на территории Свердловской области. Для этого следует рассмотреть структуру себестоимости производства щепы на примере финских компаний (рис. 3).

Хотелось бы особое внимание обратить на наличие в структуре себестоимости субсидирования производства щепы в Финляндии, что существенно стимулирует этот процесс, особенно при проведении рубок ухода в тонкомерных насаждениях.

Ключевыми потребителями этого продукта являются, кроме Финляндии, и другие страны Евросоюза, активно развивающие «зелёную» генерацию энергии. Нехватка собственных возобновляемых энергоносителей в странах ЕС покрывается экспортом из третьих стран.

Топливная щепа имеет ряд недостатков, ограничивающих её экспорт. Прежде всего это низкая насыпная плотность и низкая теплотворная способность (вкуче с высокой влажностью), из-за чего её экономически

Таблица 3

Table 3

Производства, перерабатывающие низкосортную древесину на территории Свердловской области
Production facilities that process low-grade wood in the Sverdlovsk region

Наименование производств Name of productions	Кол-во производств в области Number of productions in the region	Годовая потребность в сырье, тыс. м ³ Annual demand for raw materials, thousand m ³
Производство ДСП Production chipboard	2	160,0
Производство бумаги и картона Production paper and cardboard	2	210,0
Производство ДВП Production fibreboard	1	40,0
Производство древесного угля Production charcoal	4	72,4
Производство топливных брикетов Production of fuel briquettes	3	24,0
Производство пеллет Production pellets	12	81,0
Теплогенерация на предприятиях Heat generation in enterprises	81	920,0
Итого Total		1507,4

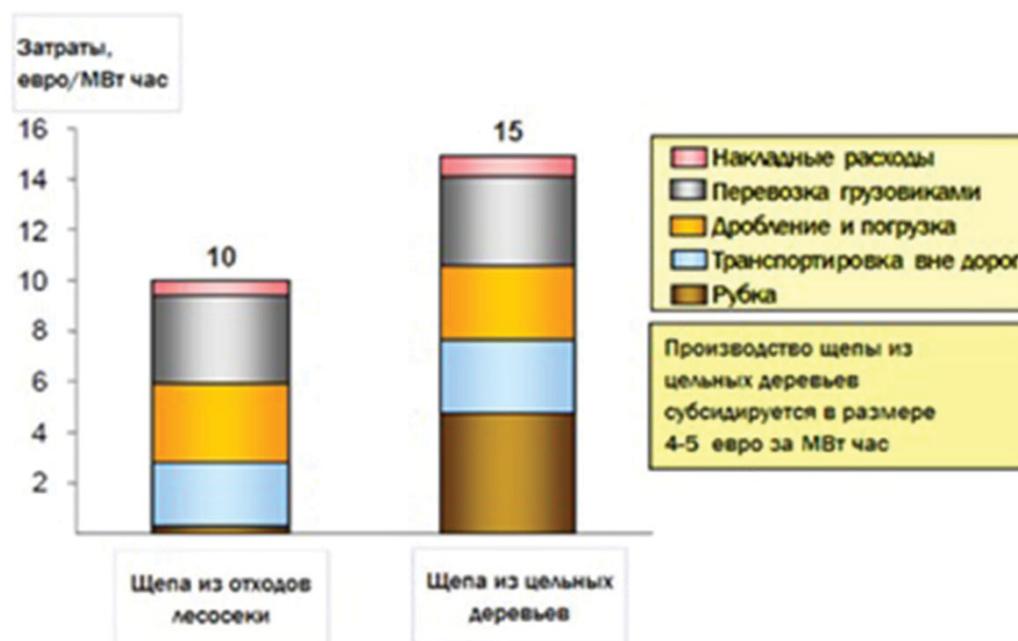


Рис. 3. Структура себестоимости производства щепы в Финляндии

Fig. 3. Structure of the cost of wood chips production in Finland

эффективно транспортировать на относительно небольшие расстояния. Нужны щеповозы, количество которых в настоящее время на рынке ограничено.

До 78 % всего экспорта приходится на автоперевозки: 181 100 т транспортируют в Финляндию. Рост экспорта в европейские страны требует дополнительного

парка лесовозов, который в России сейчас развит слабо из-за недостаточного внутреннего потребления и ориентации на перевозку технологической щепы.

Эти факторы существенно удорожают перевозку. В направлении Финляндии, Швеции и балтийских стран зачастую используются лесовозы покупателей или привлечённые ими транспортные компании. Для снижения затрат на перевозку топливной щепы рекомендуется применять лесовозный подвижной состав, оснащенный газодизельными силовыми установками.

Экспорт морским транспортом осуществляется в Финляндию в объёме 3300 т, поставки железнодорожным транспортом – 6900 т.

Можно сделать вывод, что поставки на коротком плече от российских границ осуществляются автомобильным и железнодорожным транспортом, а дальше – по морскому пути, комбинирующему и два предыдущих. Поэтому, несмотря на то, что морской транспорт считается самым дешёвым, наличие перевалки и затрат на доставку до порта существенно снижает экономическую привлекательность такой логистической схемы [6].

Анализ представленных в данном исследовании источников информации позволяет сформировать все необходимые технологические и организационные компоненты, обеспечивающие эффективное теплогенерирующее производство энергии на древесном топливе.

Результаты исследования и их обсуждение

Создание теплогенерирующих производств является в настоящее время неотъемлемым

элементом региональной системы утилизации древесных отходов и низкокачественной древесины, гарантирующей не менее чем тридцатипроцентное увеличение объемов заготовки деловой древесины. Современные теплогенераторы позволяют развивать рабочие температуры до 1250 °С. Вместе с тем такой уровень энергоэффективности предполагает целесообразность применения нормированного топлива в виде сухой древесной щепы, брикетов или гранул из древесной или угольной пыли. Теплотворная способность гранул не уступает таковой бурого угля, и в то же время при сжигании древесных гранул по сравнению с углем почти в 2 раза меньше выделяется диоксида углерода [7]. Важными организационными компонентами теплогенерации должны стать производство экспортной щепы и создание унифицированных муниципальных топливно-технологических терминалов. Последние создают предпосылки для организации высокотехнологичных рабочих мест, в том числе за счет продажи услуг.

Выводы

1. Топливную щепу можно эффективно использовать в качестве универсального сырья для прямого сжигания, газогенерации, а также для производства брикетов и пеллет.

2. Для увеличения объемов производства топливной щепы рекомендуется измельчение лесосечных отходов на верхнем складе после их предваритель-

ной атмосферной просушки в штабелях.

3. Технологический процесс заготовки топливной щепы обеспечивает выполнение преимущественно рубок ухода в молодняках и является основным элементом перехода отечественных предприятий на интенсивную модель ведения лесного хозяйства.

4. Использование в качестве сырья для производства топливной щепы лесосечных отходов и тонкомерной древесины от рубок ухода создает потенциальную возможность практически полностью отказаться от использования привозного ископаемого топлива в виде каменного угля в котельных лесопромышленных предприятий Свердловской области, а также в более 30 % котельных бюджетной сферы, всех индивидуальных хозяйствах, не подключенных к сетевому газу.

5. Тепловой баланс при теплогенерации древесного топлива показывает эффективность процесса двухстадийного горения, который обеспечивает увеличение теплоотдачи за счет пиролиза древесины.

6. Топливная щепка может стать эффективным экспортным продуктом для предприятий Свердловской области при формировании рациональной комбинированной транспортно-логистической схемы, предусматривающей наличие региональных топливно-технологических терминалов, а также возможность ее доставки потребителям морским транспортом.

Библиографический список

1. Шпак, Н. А. Перспективы развития «зеленой» экономики в регионах России : монография / Н. А. Шпак – Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2014. – 126 с.
2. Энциклопедический словарь по металлургии // Академик : сайт. – URL: <https://metallurgicheskiy.academic.ru>
3. Технология производства пеллет // ALB Group : сайт. – URL: <https://albnn.com/production/technologies/pellets>
4. Добрачев, А. А. Ресурсы биотоплива Свердловской области и их использование / А. А. Добрачев, А. В. Мехренцев, Н. А. Шпак. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2015. – 285 с.
5. Гинзбург Д. Б. Газификация низкосортного топлива / Д. Б. Гинзбург. – Москва : Госстройиздат, 1952. – 111 с.
6. Все о заготовке и переработке древесины. Экспорт топливной щепы: состояние рынка и ключевые тенденции // Лесной комплекс Российской Федерации : сайт. – URL: <https://forestcomplex.ru/2018/08/eksport-toplivnoy-shhepyi-sostoyanie-ryinka-i-klyuchevyie-tendentsii>
7. Шумейка Е. Чем порадовала «деревообработка и биоэнергетика» в Ювяскюля / Е. Шумейко // Лес-проминформ : журнал для профессионалов ЛПК. – 2013. – № 7 (97). – URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=3365>

Bibliography

1. Shpak, N. A. Prospects of development of «green» economy in regions of Russia : monograph / N. A. Shpak. – Yekaterinburg : Ural.state forestry.eng.univ., 2014. – 126 p.
 2. Encyclopedic dictionary of metallurgy / academic: web site. – URL: <https://metallurgicheskiy.academic.ru>
 3. Pellet production technology // ALB Group : web site. – URL: <https://albnn.com/production/technologies/pellets/>
 4. Dobrachev, A. A. Resources of biofuel of Sverdlovsk region and their use / A. A. Dobrachev, A. V. Mekhrentsev, N. A. Shpak. – Yekaterinburg : USFEU, 2015. – 285 p.
 5. Ginzburg, D. B. Gasification of low-grade fuel / D. B. Ginzburg. – Moscow : Gosstroizdat, 1952. – 111 p.
 6. All about the harvesting and processing of timber. Fuel chip exports: market conditions and key trends // Forest complex of the Russian Federation : web site. – URL: <https://forestcomplex.ru/2018/08/eksport-toplivnoy-shhepyi-sostoyanie-ryinka-i-klyuchevyie-tendentsii/>
 7. Shumeiko, E. Than pleased «wood and bioenergy» in Jyvaskyla / E. Shumeiko // Lesprominform : Magazine for professionals of the wood industry. – 2013. – № 7 (97). – URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=3365>
-
-

Выдающийся геоботаник и фитогеограф (к 100-летию со дня рождения П. Л. Горчаковского)



3 января 2020 г. исполняется 100 лет со дня рождения академика РАН, доктора биологических наук, профессора, заслуженного деятеля науки РСФСР Павла Леонидовича Горчаковского.

Павел Леонидович Горчаковский родился в г. Красноярске и в 1940 г. окончил с отличием лесохозяйственный факультет Сибирского лесотехнического института по специальности лесное хозяйство. Молодой инженер работал до января 1943 г. научным сотрудником Сибирского научно-исследовательского института лесного хозяйства и лесозаготовки НКЛ СССР. С 1943 по 1944 гг. он работает старшим инженером государственного лесопромышленного треста Иркутсклес, а с января 1945 по август 1945 гг. научным сотрудником Биолого-географического института Иркутского государственного университета.

Еще обучаясь в Сибирском лесотехническом институте, Павел Леонидович работал научно-техническим сотрудником Сибирского

научно-исследовательского института лесного хозяйства и лесозаготовки НКЛ СССР. Он участвовал в ряде научных экспедиций в различные районы Западной Сибири. Позднее он продолжил свои работы по научным темам «Исследование ассоциаций сосновых лесов Приобья», «Геоботаническое изучение березовых лесов бассейна р. Чулыма», «Изучение ассоциаций, флористических особенностей и плодоношения пихтовых лесов Восточного Саяна» и др. Проведенные исследования позволили 29 июня 1945 г. в Иркутском государственном университете им. А. А. Жданова успешно защитить диссертацию на соискание ученой степени кандидата биологических наук на тему «Фитоценотический строй и флористические особенности пихтовых лесов Восточного Саяна».

В связи с защитой кандидатской диссертации П. Л. Горчаковский 23 августа 1945 г. был командирован Главным управлением учебных заведений Наркомлеса СССР на работу в Уральский лесотехнический институт (УЛТИ) и с сентября того же года приступил к работе в должности временно исполняющего обязанности заведующего кафедрой биологических наук. Именно с Уральским лесотехническим институтом связана наиболее важная в творческом плане часть жизни Павла Леонидовича. Он организует экспедиционные исследования на Приполярный, Северный, Средний и Южный Урал, активно привлекая к участию в научных экспедициях наиболее талантливых студентов. При этом в качестве основного направления исследований им выбирается изучение высокогорной растительности Урала.

Кроме того, П. Л. Горчаковский совершает ряд научных экспедиций в Западную Сибирь (Нарым, Приобье, Кулундинская степь) и другие малоизученные в ботаническом отношении регионы СССР. За первые 5 лет работы в УЛТИ им подготовлено 17 научно-исследовательских работ, 14 из которых опубликовано в изданиях Академии наук и местных изданиях. Среди опубликованных работ можно назвать монографию «История развития растительности Урала» (1949), доработанную и переизданную в 1952 г. Указанная работа является результатом исследований П. Л. Горчаковского по изучению истории формирования растительного покрова Урала.

24 января 1948 г. ВАК при Министерстве высшего образования СССР утвердила П. Л. Горчаковского в ученом звании доцента по кафедре «Биологические науки».

Помимо основной работы, Павел Леонидович активно участвует в общественной жизни. Так, в 1950 г. он являлся заместителем председателя УрО Всероссийского географического общества, членом президиума Свердловского отделения Всероссийского общества охраны природы, заместителем председателя президиума Свердловского отделения Всероссийского ботанического общества.

Однако основное внимание П. Л. Горчаковский уделяет научной работе. Он устанавливает состав высокогорной флоры, прослеживает основные закономерности распределения растительных сообществ, их динамику, разрабатывает классификации высокогорных лесов, лугов, тундр, гольцовых пустынь, показателей водоохранной и почвозащитной роли лесов на их верхнем пределе, намечает пути рационального использования растительных ресурсов.

В 1949 г. Павел Леонидович прослушал цикл лекций на Всесоюзных курсах по переподготовке преподавателей дарвинизма и генетики при Московском государственном университете, а в сентябре 1950 г. зачислен в докторантуру Института леса Академии наук СССР без отрыва от производства. Научным консультантом по диссертационной работе Павла Леонидовича назначается академик В. Н. Сукачев.

31 октября 1953 г. по итогам защиты в Институте леса АН СССР (Москва) диссертации на тему «Растительность верхних поясов гор Урала», представленной на соискание ученой степени доктора биологических наук, П. Л. Горчаковскому ВАК Министерства культуры СССР была присуждена искомая ученой степени.

3 апреля 1954 г. решением ВАК при Министерстве высшего образования П. Л. Горчаковский был утвержден в ученом звании профессора по кафедре «Ботаника и дендрология».

Характерной чертой П. Л. Горчаковского являлась целеустремленность, нежелание заниматься несвойственной ему деятельностью и сопротивление всякого вида насилию. В качестве примера последнего можно привести один эпизод из периода его работы в УЛТИ. 1 апреля 1953 г. приказом директора института П. Л. Горчаковский до конца учебного года был назначен временно исполняющим обязанности декана факультета лесного хозяйства. Однако уже 1 июня 1953 г. Павел Леонидович в своей служебной записке директору УЛТИ Г. Ф. Рыжкову отмечает, что он был назначен исполняющим обязанности декана лесохозяйственного факультета, несмотря на его возражения и протесты, временно до конца учебного года.

Руководство института заверяло его, что по окончании учебного года он будет беспрепятственно освобожден от временно возложенных обязательств декана и заменен другим работником.

Далее П. Л. Горчаковский пишет: «Приступив в порядке выполнения приказа директора института к работе в деканате, я вскоре убедился, что не могу должным образом обеспечивать руководство факультетом. В свое время я заявлял дирекции, что считаю себя неспособным к административной работе, да и не желаю заниматься ею по совместительству, в ущерб моей основной работе и.о. заведующего кафедрой.

Во избежание развала работы на факультете прошу как можно скорее освободить меня от обязанностей врио декана и заменить более подходящим работником. Ставлю Вас в известность, что в случае, если Вы не сочтете возможным досрочно освободить меня, я считаю себя с 30 июня 1953 г., в соответствии с приказом по УЛТИ от 1 апреля 1953 г., освобожденным от временного исполнения обязанностей декана.

Я не даю согласия выполнять в институте административную работу по совместительству и решительно заявляю, что не буду заниматься ею и впредь. Если дирекцию института не устраивает такое мое законное требование, прошу освободить меня от работы в УЛТИ».

Вряд ли следует комментировать данную служебную записку. Сколько вакансий образовалось бы в высших учебных заведениях, если бы чиновники уровня декана и выше столь требовательно относились к себе при назначении на должность. А если бы примеру П. Л. Горчаковского последовали чиновники ведомств, министерств и т. д... Но, полагаю, это уже из серии фантастики.

От себя добавлю только одно. Служебная записка была написана не сегодня, когда каждый может писать и говорить, что думает, а в 1953 г., когда последствия могли быть самыми различными.

Работая в УЛТИ, Павел Леонидович Горчаковский был примером организатора учебного процесса в сочетании с научными исследова-

ниями. При возглавляемой им кафедре было создано и активно функционировало студенческое научное общество. Члены общества участвовали в научных экспедициях, собирали гербарии, анализировали полевые материалы, готовили публикации и доклады. Так, в частности, студент лесохозяйственного факультета, ныне доктор биологических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации Степан Григорьевич Шиятов принял участие в научных экспедициях на гору Сабая в 1954 г., на горы Манарага и Народная в 1955 г., на гору Конжаковский Камень в 1956 г. Участие в экспедициях способствовало развитию интереса у студентов к изучению высокогорной растительности. С. Г. Шиятов по итогам исследований подготовил дипломную работу, посвященную анализу состава и структуры редколесий и криволесий, а также закономерностям их высотного распространения в пределах Кытлымского горного узла. Позднее, в 1959 г., С. Г. Шиятов поступил в очную аспирантуру, где под руководством П. Л. Горчаковского защитил кандидатскую диссертацию на тему «Динамика верхней границы леса на восточном склоне Полярного Урала (бассейн реки Соби)».

С. Г. Шиятов является лишь одним из многих примеров реальной педагогической работы П. Л. Горчаковского в УЛТИ.

Успехи, достигнутые П. Л. Горчаковским в период работы в УЛТИ, не могли быть незамеченными научным сообществом. В результате 3 апреля 1959 г. Павел Леонидович на заседании ученого совета Института биологии Уральского филиала Академии наук СССР был избран по конкурсу на должность заведующего лабораторией ботаники Института биологии Уральского филиала Академии наук.

25 мая 1959 г. приказом директора УЛТИ № 110 заведующий кафедрой ботаники и дендрологии Горчаковский П. Л. был освобожден от занимаемой должности в связи с переходом на другую работу.

Таким образом, за период работы в УЛТИ П. Л. Горчаковский сформировался как выдающийся ученый-геоботаник.

Им написаны и опубликованы крупные работы по истории развития растительности Урала и растительности верхних поясов гор Урала. В период работы в УЛТИ он защитил докторскую диссертацию и был утвержден в ученых званиях доцента по кафедре «Биологические науки» и профессором по кафедре «Ботаника и дендрология». В научных экспедициях собран уникальный материал, который лег в основу капитальных трудов П. Л. Горчаковского, опубликованных в период работы его в Институте биологии УФ АН СССР и Институте экологии растений и животных.

С 1959 по 1987 гг. П. Л. Горчаковский заведует лабораторией ботаники Института биологии УФ АН СССР (с 1964 г. – лаборатория экологии растений и геоботаники Института экологии растений и животных), а с 1987 г. до конца своих дней работает главным научным сотрудником указанного института.

Работая в УФ АН СССР, а затем в Институте экологии растений и животных, Павел Леонидович публикует фундаментальные работы по закономерностям распределения и экологическим особенностям древесных и травянистых растений широколиственно-лесного (неморального) комплекса на Урале и прилегающих равнинах. В 1968 г. выходит в свет его монография «Растения европейских широколиственных лесов на восточном пределе их ареала», а в 1972 г. – «Широколиственные леса и их место в растительном покрове Южного Урала».

В 1969 г. Павел Леонидович издает монографию «Основные проблемы исторической фитогеографии Урала», где показывает значение Уральской горной страны как центра флористического эндемизма.

Совместно с С. Г. Шиятовым в 1985 г. им опубликована монография «Фитоиндикация условий среды и природных процессов в высокогорьях».

Помимо указанных работ, в 1987 г. Павлом Леонидовичем опубликована представляющая огромный научный и практический интерес

монография «Лесные оазисы Казахского мелкосопочника». В 1982 г. совместно с Е. А. Шуровой выходит монография «Редкие и исчезающие растения Урала и Предуралья».

Результаты исследований П. Л. Горчаковского были использованы при подготовке проектов создания степного заповедника в Оренбургской области и при составлении технико-экономического обоснования Баянаульского и Каркаралинского национальных парков в Казахстане. Он активно участвовал в создании «Красной книги РСФСР» (1988), «Красной книги Среднего Урала» (1996), «Красной книги Ямало-Ненецкого автономного округа» (1996).

Павел Леонидович находил время для участия в международных проектах, в частности по программе ЮНЕСКО «Человек и биосфера». Он участвует в работе многочисленных всесоюзных и международных съездов, конгрессов, экспедиций как на территории нашей страны, так и далеко за ее пределами; выполняет обязанности заместителя главного редактора журнала «Экология» (1970–1988 гг.), члена редколлегии международных журналов «Environmental Conservation», «Folia geobotanica et phytotaxonomica», члена редколлегии журнала «Экология» (с 1988 г.) и «Ботанического журнала» (с 1995 г.).

П. Л. Горчаковский принимал активное участие в составлении многочисленных карт растительности. Особое внимание при этом уделялось проблеме экологического картографирования. Результаты исследований позволили П. Л. Горчаковскому подготовить и опубликовать в 1999 г. монографию «Антропогенная трансформация и восстановление продуктивности луговых фитоценозов».

Павел Леонидович активно участвует в подготовке специалистов и научных кадров. Помимо указанной ранее педагогической работы в Уральском лесотехническом институте, с 1956 по 1977 гг. и с 1988 по 1992 гг. он работал профессором кафедры ботаники Уральского государственного университета. В числе его непосредственных учеников 14 докторов наук и около 50 кандидатов наук.

За достигнутые успехи в научной и образовательной деятельности П. Л. Горчаковский неоднократно награждался грамотами, медалями ВДНХ. В 1990 г. он избран членом-корреспондентом АН СССР, а в 1994 г. – действительным членом (академиком) Российской академии наук.

П. Л. Горчаковский награжден орденом Почета, медалями «За доблестный труд в ознаменование 100-летия со дня рождения В. И. Ленина», «Ветеран труда», премией им. В. Н. Татищева и Г. В. Геннина, премией РАН имени В. Н. Сукачева.

Заслуги Павла Леонидовича высоко оценены коллегами по работе. В его честь названы растения: *Alchemilla gortschakowskii* Juz., *Hieracium krylovii* Novsky f. *gorczakovskianum* Juksip., *Astragalus gorczakovskii* L. Vassil., *Hieracium gorczakovskii* Schljak., а также его имя присвоено одной из вершин Полярного Урала – Гора Горчаковского». Он избран почетным членом Всесоюзного ботанического

общества, Чехословацкого ботанического общества, членом Международного союза фитоценологов (International Association for Vegetation Science).

Павел Леонидович Горчаковский прожил длинную творческую жизнь. Его работы давно считаются классическими и составляют золотой фонд работ Уральской школы геоботаников. Он дал путевку в жизнь многим молодым специалистам и ученым. Неслучайно в знак уважения и благодарности выдающемуся ученому ученый совет Уральского государственного лесотехнического университета на своем заседании, состоявшемся 17 марта 2005 г., присвоил Павлу Леонидовичу Горчаковскому звание почетного профессора УГЛТУ.

*Зав. кафедрой лесоводства
ФГБОУ ВО «Уральский государственный
лесотехнический университет» д-р с.-х. наук,
проф., заслуженный лесовод РФ
С. В. Залесов*

