

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.

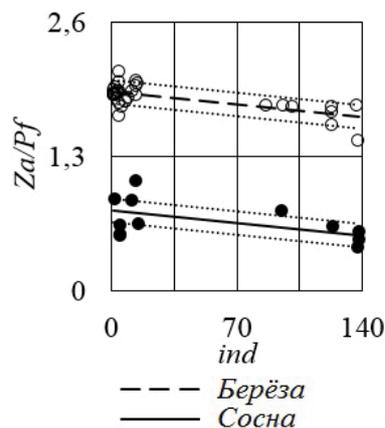


Рис. 2. Линейные тренды снижения ПАА сосновых и березовых древостоев в градиенте загрязнений от КМК. Пунктирными линиями показан диапазон стандартной ошибки уравнения

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](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. Torloпова, N. V. Influence of pollutants on coniferous phytocenoses (on the example of the Syktyvkar timber industry plant) / N. V. Torloпова, 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](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,