

**В.А. Усольцев, В.Ф. Ковязин, А.Ф. Уразова, А.В. Борников,  
В.П. Часовских**

## **СТРУКТУРА БИОМАССЫ ЕЛОВО-ПИХТОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ В ГРАДИЕНТЕ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ОТ СРЕДНЕУРАЛЬСКОГО МЕДЕПЛАВИЛЬНОГО ЗАВОДА**

*Введение.* Интегральным показателем, отражающим природное и антропогенное воздействия на лесные экосистемы, является их биологическая продуктивность, оценка которой имеет в настоящее время глобальный аспект и выступает в качестве одного из факторов смягчения климата, однако количественная оценка биомассы и ее текущие изменения пока связаны с множеством неопределенностей [Houghton et al., 2009].

Эти неопределенности усугубляются антропогенным фактором. Известно, что даже незначительное снижение биопродуктивности лесов, подверженных загрязнению, оказывает существенное отрицательное влияние на их углероддепонирующую функцию [Savva, Berlinger, 2010], что сокращает «ассимиляционный» ресурс лесного покрова и возможность получения выгод на рынке экологических услуг [Кожухова, 2001].

Изучение воздействия поллютантов на лесные экосистемы становится всё более актуальным. Его результаты важны с точки зрения теоретических и прикладных вопросов экологии, связанных с повышением устойчивости экосистем, а также при моделировании реакции растительных сообществ на внешние воздействия [Vorobeichik, Kozlov, 2012].

Необходимо изучение влияния атмосферного загрязнения на изменение структуры биомассы и чистой первичной продукции (ЧПП) древесного яруса лесных экосистем в градиентах промышленного загрязнения. Нехватка подобной информации – одна из проблем, затрудняющих анализ трансформации биоты под действием аэрозольного загрязнения [Zvereva, Kozlov, 2012].

При изучении биологического потенциала лесного покрова и разработке нормативов для учета всех компонентов биомассы необходимо исследование закономерностей их качественных характеристик, в частности содержания абсолютно сухого вещества (ССВ) в той или иной фракции биомассы. Процедура перевода компонентов биомассы с естественного на абсолютно сухое состояние очень трудоемка, и знание закономерностей их изменения в связи

с определяющими факторами будет способствовать прогрессу в оценке биомассы и ЧПП лесов. В литературе обычно даются либо локальные значения названного показателя, либо средние для некоторого региона (табл. 1).

Таблица 1

**Содержание сухого вещества (%) в фракциях биомассы основных лесообразующих древесных пород Северного Казахстана [Усольцев, 1985]**

**Dry matter content (%) in biomass components of main forest-forming wood species of Northern Kazakhstan**

| Фракция фитомассы | Береза    | Осина     | Сосна     |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|
| Древесина ветвей  | 56,6±0,46 | 59,4±0,26 | 49,1±0,27 |
| Кора ветвей       | 55,2±0,50 | 51,6±0,33 | 46,7±0,30 |
| Древесина ствола  | 56,2±0,66 | 55,3±0,65 | 52,1±0,45 |
| Кора ствола       | 57,5±1,19 | 48,9±0,31 | 50,8±0,59 |
| Хвоя (листва)     | 38,5±0,31 | 36,6±0,47 | 46,9±0,18 |
| Отмершие ветви    | 89,0±1,50 | 77,2±1,70 | 86,7±1,40 |

Наличие крупных загрязняющих производств дает возможность исследования целых экосистем. На Среднем Урале таким загрязняющим источником является медеплавильное производство, а именно – Среднеуральский медеплавильный завод (СУМЗ), функционирующий с 1940 г. Основные ингредиенты выбросов – сернистый ангидрид (98 % по массе среди газообразных поллютантов) и пылевые частицы с адсорбированными токсичными элементами (Cu, Pb, Zn, Cd, Fe, Ni и др.). Объем выбросов – около 140 тыс. т в год [Vorobeichik, Khantemirova, 1994]. Наше исследование проведено в лесных экосистемах, в западном направлении от СУМЗ.

*Методика исследования.* Цель исследования состояла в оценке биопродуктивности елово-пихтовых насаждений под влиянием выбросов от СУМЗ. Взяты модели, по 7 деревьев той и другой породы. Стволы деревьев делились на 10 частей, на середине каждой замеряли диаметры ствола в коре и без коры для определения объема. На расстояниях 20, 50 и 80 % общей длины ствола у выпиленных дисков взвешивали кору и древесину и термовесовым методом определяли ССВ в них.

Крону делили на три части, каждую расчленили с помощью секатора на охвоенные и неохвоенные части и взвешивали. Из охвоенной ветви отбирали пробу весом около 500 г, вручную ошипывали на ней хвою с по-

следующим взвешиванием ее и остальной скелетной части. Полученные результаты использованы для расчета биомассы хвои и скелета кроны всего дерева. Для оценки ССВ брали образцы хвои и скелета, их взвешивали, сушили и рассчитывали сухую массу хвои и ветвей всего дерева.

Наряду с биомассой деревьев определялся прирост её объема и массы с «расчехлением» ствола по десяти секциям и последующим пересчетом на сухую массу по базисной плотности, которая определялась по выпиленным дискам. Текущий прирост хвои определяли по тем же 500-граммовым пробам охвоенных побегов, у которых ошпывалась хвоя текущего года; результаты пересчитывались на всё дерево.

ЧПП ветвей оценена по методу А.И. Русаленко и Е.Г. Петрова (1975), согласно которому удвоенную массу ветвей делили на число годичных колец у основания кроны [Русаленко, Петров, 1975]. По фактическим значениям биомассы и ЧПП деревьев аллометрическим методом получены их запасы на 1 га (табл. 2). Биомасса и ЧПП деревьев березы, осины, сосны и лиственницы в градиенте загрязнений не определялись, использовались ранее опубликованные аллометрические уравнения [Усольцев, 2016].

Биологическая продуктивность подроста, подлеска и ЖНП оценена по методике БИН РАН [Ярмишко, Лянгузова, 2002]. Биомасса ЖНП оценена способом укосов на площадках 50×50 см по 15 шт. на каждой пробе. Биомасса подроста и подлеска определена на трёх мини-площадках размером 5×5 м на тех же пробных площадях.

Высоты деревьев подроста и подлеска разбиты на три градации по каждому виду, и в пределах каждой проведен перечет с замером диаметров у основания деревьев. Взяты модельные растения каждого вида, по одному в ступени толщины. При высоте менее 50 см они разделены на ассимилирующие органы и скелетную часть и обработаны далее термовесовым способом. Замером годичных колец у основания стволиков определен возраст и делением массы скелетной части растения на возраст определен прирост. Прирост хвои оценен делением ее массы на возраст, установленный по трем-четырем мутовкам. При высоте растения более 50 см биомассу и ее прирост определяли по аналогии с деревьями основного яруса.

Рассчитанные показатели биомассы и прироста модельных растений по их сумме площадей сечений соотносили с тем же показателем, полученным перечетом на каждой из трех мини-площадок, и затем определяли биомассу хвои (листвы) и скелета на 1 га. Приросты скелета и хвои на 1 га получены аналогичным способом. Соотношение подроста, подлеска и ЖНП в общей массе и приросте нижнего яруса насаждений в разных зонах загрязнений показано в табл. 3.

Таблица 2

Таксационная характеристика и фактические данные\*\* надземной биомассы древостоев 43 пробных площадей, заложённых в елово-пихтовых древостоях в градиенте загрязнений от СУМЗ  
 Taxation characteristics and actual data\*\*\* of aboveground stand biomass of 43 sample plots established in spruce-fir stands in the gradient of pollution from CUCP

| Зона загрязнений | L, км | Породный состав* | A   | H <sub>ср</sub> | D <sub>ср</sub> | N    | G    | V   | P <sub>s</sub> | P <sub>b</sub> | P <sub>f</sub> | Pa    | Pu   | Z <sub>s</sub> | Z <sub>b</sub> | Z <sub>f</sub> | Z <sub>a</sub> | Z <sub>u</sub> |
|------------------|-------|------------------|-----|-----------------|-----------------|------|------|-----|----------------|----------------|----------------|-------|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1а               |       | 3Е1П2Б4С         | 82  | 15,6            | 16,6            | 768  | 16,7 | 121 | 34,5           | 9,6            | 6,5            | 50,7  | 1,45 | 1,39           | 0,34           | 1,38           | 3,11           | 0,484          |
|                  |       |                  | 74  | 13,6            | 13,9            | 1072 | 16,2 | 111 | 46,4           | 12,7           | 8,6            | 67,6  | 2,52 | 1,21           | 0,31           | 1,54           | 3,07           | 0,724          |
|                  |       |                  | 78  | 14,8            | 15,4            | 1104 | 20,6 | 147 | 60,4           | 16,9           | 11,1           | 88,4  | 2,06 | 1,52           | 0,41           | 1,92           | 3,85           | 0,574          |
|                  |       |                  | 76  | 14,2            | 15,2            | 1456 | 26,4 | 177 | 71,5           | 22,5           | 15,3           | 109,4 | 4,62 | 1,95           | 0,54           | 2,5            | 4,99           | 0,34           |
| 1б               |       | 7Е3П             | 85  | 16,3            | 17,0            | 976  | 22,2 | 163 | 68,2           | 22,5           | 14,0           | 104,4 | 1,59 | 1,7            | 0,46           | 2,26           | 4,42           | 0,158          |
|                  |       |                  | 61  | 10,5            | 10,7            | 1664 | 15,1 | 108 | 48,7           | 10,0           | 6,5            | 65,2  | 3,77 | 1,17           | 0,33           | 1,73           | 3,22           | 0,323          |
|                  |       |                  | 75  | 18,5            | 18,8            | 1152 | 31,8 | 258 | 108,6          | 19,2           | 12,5           | 140,3 | 2,72 | 2,75           | 0,64           | 2,0            | 5,39           | 0,182          |
|                  |       |                  | 81  | 16,7            | 16,0            | 1312 | 26,2 | 201 | 78,6           | 18,1           | 12,1           | 108,9 | 8,82 | 1,98           | 0,54           | 1,5            | 4,02           | 0,637          |
| Импактная        |       | 4Е2П3С1Б         | 81  | 18,1            | 15,5            | 1472 | 27,6 | 249 | 104,6          | 18,1           | 12,0           | 134,7 | 5,69 | 2,93           | 0,55           | 1,84           | 5,33           | 1,758          |
|                  |       |                  | 82  | 15,2            | 13,7            | 2080 | 30,6 | 220 | 95,3           | 19,2           | 11,4           | 126,0 | —    | 2,26           | 0,62           | 2,21           | 5,09           | —              |
|                  |       |                  | 84  | 17,3            | 16,9            | 1504 | 33,8 | 265 | 109,9          | 24,3           | 15,2           | 149,4 | —    | 3,07           | 0,77           | 2,44           | 6,28           | —              |
|                  |       |                  | 87  | 16,3            | 15,4            | 2160 | 40,0 | 307 | 122,4          | 28,9           | 19,4           | 170,6 | —    | 3,35           | 0,83           | 2,67           | 6,86           | —              |
| 2                |       | 4Е5П1Б           | 85  | 16,1            | 14,5            | 2272 | 37,5 | 294 | 116,8          | 26,4           | 17,1           | 160,4 | —    | 3,06           | 0,79           | 2,38           | 6,24           | —              |
|                  |       |                  | 90  | 15,3            | 14,3            | 1968 | 31,6 | 223 | 86,5           | 19,8           | 12,1           | 118,4 | —    | 2,16           | 0,71           | 1,61           | 4,48           | —              |
|                  |       |                  | 115 | 23,0            | 23,4            | 1104 | 47,3 | 448 | 175,3          | 26,9           | 19,1           | 221,3 | 5,57 | 3,62           | 0,65           | 4,44           | 8,72           | 0,5            |
|                  |       |                  | 100 | 18,8            | 15,6            | 2000 | 38,1 | 309 | 121,8          | 22,5           | 15,2           | 159,6 | 3,32 | 3,46           | 0,73           | 2,84           | 7,03           | 0,464          |
| 4                |       | 9Е1П             | 127 | 26,1            | 29,4            | 544  | 37,0 | 387 | 146,8          | 18,4           | 14             | 179,2 | 3,35 | 2,98           | 0,61           | 3,1            | 6,69           | 0,46           |
|                  |       |                  | 109 | 21,2            | 19,6            | 1504 | 45,3 | 405 | 145,1          | 24,1           | 15,7           | 184,9 | 3,35 | 2,58           | 0,38           | 3,34           | 6,3            | 0,46           |
|                  |       |                  | 119 | 23,9            | 26,9            | 752  | 42,8 | 401 | 158,8          | 23,6           | 16,2           | 198,6 | 3,35 | 3,18           | 0,52           | 3,9            | 7,6            | 0,46           |
|                  |       |                  | 86  | 20,1            | 20,7            | 1232 | 41,4 | 373 | 144,2          | 26,8           | 23,4           | 194,3 | 4,71 | 3,98           | 0,81           | 3,97           | 8,75           | 0,232          |
| Буферная         |       | 3Е6П1Б           | 85  | 19,7            | 20,3            | 1312 | 42,3 | 381 | 147,7          | 27,5           | 22,6           | 197,9 | 3,51 | 4,0            | 0,85           | 3,99           | 8,85           | 0,202          |
|                  |       |                  | 85  | 21,0            | 20,1            | 1504 | 47,8 | 471 | 195,1          | 33,2           | 28,4           | 256,7 | 3,4  | 4,95           | 1,02           | 5,05           | 11,0           | 0,166          |

Окончание табл. 2

| Зона<br>загрязнений | L, км  | Породный<br>состав* | A    | H <sub>ср</sub> | D <sub>ср</sub> | N    | G    | V     | Ps    | Pb   | Pf    | Pa    | Pu   | Zs   | Zb   | Zf   | Za    | Zu    |
|---------------------|--------|---------------------|------|-----------------|-----------------|------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|
| Буферная            |        | 2Е6П2Б              | 89   | 21,3            | 21,6            | 1200 | 43,8 | 405   | 159,4 | 28,6 | 23,2  | 211,3 | 1,41 | 4,01 | 0,8  | 4,24 | 9,05  | 0,319 |
|                     |        | 2Е6П2Б              | 90   | 21,5            | 22,7            | 1088 | 44,0 | 405   | 160   | 27,3 | 20,4  | 207,7 | 4,48 | 3,71 | 0,75 | 3,91 | 8,37  | 0,733 |
|                     |        | 4Е3П3Б              | 94   | 23,1            | 26,3            | 944  | 51,4 | 476   | 199,2 | 37,3 | 31,1  | 267,6 | 1,38 | 5,46 | 1,05 | 6,28 | 12,8  | 0,24  |
|                     |        | 1Е5П3БЮс            | 91   | 22              | 21,9            | 1184 | 44,5 | 398   | 166,2 | 27,0 | 19,6  | 212,7 | 1,38 | 3,77 | 0,77 | 4,34 | 8,87  | 0,24  |
|                     |        | 7П3Б                | 90   | 21,5            | 22,5            | 1360 | 54,0 | 478   | 196,3 | 30,6 | 20,2  | 247,1 | 1,38 | 4,0  | 0,82 | 4,55 | 9,38  | 0,24  |
|                     |        | 4Е3П3Б              | 89   | 21,4            | 21,1            | 1152 | 40,2 | 352   | 148,9 | 27,1 | 22,4  | 198,4 | 1,32 | 4,13 | 0,84 | 4,6  | 9,57  | 0,274 |
| 20                  |        | 5Е4П1Б              | 87   | 20,3            | 20,5            | 992  | 32,7 | 288   | 111,1 | 24,2 | 22,0  | 157,2 | 1,53 | 3,56 | 0,75 | 3,71 | 8,02  | 0,446 |
|                     |        | 4Е3П2БЮс            | 87   | 20,4            | 22,1            | 896  | 34,3 | 291   | 120,0 | 23,8 | 18,8  | 162,6 | 2,6  | 3,43 | 0,76 | 3,82 | 8,0   | 0,37  |
|                     |        | 2Е5П2Ос1Б           | 99   | 23,6            | 24,0            | 912  | 41,3 | 401   | 152,7 | 23,0 | 12,4  | 188,1 | 2,23 | 2,42 | 0,78 | 3,0  | 6,19  | 0,346 |
|                     |        | 2Е4П2Ос1Б1С         | 100  | 22,8            | 23,7            | 1040 | 45,8 | 408   | 167,2 | 24,9 | 12,6  | 204,7 | 2,86 | 3,12 | 0,93 | 3,43 | 7,48  | 0,482 |
| Фоновая             |        | 2Е8П                | 102  | 22,8            | 22,7            | 1120 | 45,2 | 420   | 155,2 | 30,3 | 17,7  | 203,3 | 3,68 | 2,29 | 0,87 | 3,39 | 7,48  | 0,551 |
|                     |        | 4Е6П                | 98   | 20,8            | 21,0            | 1024 | 35,4 | 305   | 113,4 | 21,6 | 13,3  | 148,3 | 2,98 | 2,2  | 0,69 | 2,17 | 5,06  | 0,481 |
|                     |        | 2Е6П2Б              | 101  | 22,4            | 22,3            | 1328 | 51,9 | 465   | 182,8 | 31,1 | 17,8  | 231,7 | 1,36 | 2,67 | 0,83 | 4,08 | 7,59  | 0,407 |
|                     |        | 4Е6П                | 102  | 22,5            | 24,9            | 704  | 34,3 | 319   | 117,2 | 21,7 | 13,4  | 152,3 | 1,36 | 2,06 | 0,66 | 2,24 | 4,96  | 0,407 |
|                     |        | 7П1Е2Б              | 102  | 22,7            | 23,8            | 1344 | 59,9 | 530   | 213,5 | 37,5 | 20,8  | 271,7 | 1,36 | 3,13 | 0,99 | 5,06 | 9,18  | 0,407 |
|                     |        | 3Е5П2Б              | 99   | 21,6            | 23,4            | 880  | 37,8 | 334   | 133,8 | 23,7 | 13,9  | 171,4 | 1,55 | 2,46 | 0,69 | 2,87 | 6,03  | 0,413 |
| 34                  | 5Е3П2Б | 102                 | 23,7 | 23,7            | 1088            | 48,2 | 466  | 180,1 | 27,7  | 17,5 | 225,3 | 3,72  | 3,56 | 0,87 | 3,18 | 7,62 | 0,598 |       |
|                     | 4Е4П2Б | 100                 | 22   | 21,4            | 960             | 34,5 | 317  | 122,3 | 20,4  | 12,5 | 155,2 | 1,2   | 2,25 | 0,6  | 2,37 | 5,22 | 0,469 |       |

\* Обозначения пород: Е – *Picea obovata* L., П – *Abies sibirica*, С – *Pinus sylvestris* L., Б – *Betula pendula* Roth., Ос – *Populus tremula* L., Лщ – *Larix sibirica* L.

\*\* Обозначения характеристик: L – расстояние от источника загрязнения, км; A – возраст древостоя, лет; H<sub>ср</sub> и D<sub>ср</sub> – соответственно средняя высота и диаметр ствола, м, см; N – число деревьев на 1 га; G – площадь сечений, м<sup>2</sup>/га; M – запас древостоя, м<sup>3</sup>/га; P и Z – фитомасса и годичная ЧПП, т/га; i – индекс фракции биомассы: надземная (d), хвоя / листва (l), ветви (b), ствол в коре (s), нижний ярус (u).

Таблица 3

**Изменение соотношения долевого участия подроста, подлеска и ЖНП в общей массе и ЧПП нижнего яруса насаждений в разных зонах загрязнений**

**Change in the ratio of ingrowth, undergrowth and grasses to the total biomass and NPP of the forest understory in different pollution zones**

| Зона за-<br>грязнений | Фитомасса, % |          |     |       | Годичная продукция, % |          |     |       |
|-----------------------|--------------|----------|-----|-------|-----------------------|----------|-----|-------|
|                       | Подрост      | Подлесок | ЖНП | Итого | Подрост               | Подлесок | ЖНП | Итого |
| Импактная             | 58           | 30       | 12  | 100   | 17                    | 29       | 53  | 100   |
| Буферная              | 85           | 8        | 7   | 100   | 34                    | 20       | 48  | 100   |
| Фоновая               | 79           | 15       | 6   | 100   | 41                    | 26       | 30  | 100   |

Всего взято 33 модельных дерева ели и 32 пихты. Количество дисков, выпиленных из стволов для оценки плотности и ССВ древесины и коры: 85 ели и 87 пихты; количество пробных навесок для оценки ССВ в компонентах кроны: 83 ели и 80 пихты.

Для анализа реакции экосистемы на загрязнители необходимо знание зависимостей «доза – эффект» [Степанов, 1988; Арманд и др., 1991; Vorobeichik, Khantemirova, 1994; Mikhailova, Vorobeichik, 1995]. В нашем исследовании насаждений вблизи СУМЗ в качестве «эффекта» регистрируются показатели биологической продуктивности (биомассы и ЧПП) насаждений в градиенте загрязнений, полученные нами на пробных площадях и приведенные в табл. 2. В качестве поллютантов выбраны «техногенные» тяжелые металлы (табл. 4). В отличие от серы, они прочнее сорбируются депонирующими средами, и их проще измерять на полигоне большой площади [Mikhailova, Vorobeichik, 1995]. В качестве показателя «дозы» взят индекс токсичности (index2) по трем металлам, которые на трех самых грязных участках имеют наибольшие превышения над минимальным уровнем, а на трех самых дальних от источника выбросов участках – наименьшие превышения. В данном случае index2 рассчитан для концентраций подвижных форм Cu, Pb и Fe в лесной подстилке (табл. 4) по следующей формуле [Vorobeichik, Khantemirova, 1994]:

$$\text{index2} = \frac{1}{k} \cdot \sum \frac{X_{ij}}{X_{i \min}}, \quad (1)$$

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.

Таблица 4

**Характеристика поллютантов в лесной подстилке в градиенте загрязнений  
в районе СУМЗ**

**Characteristics of pollutants in the forest litter in the gradient  
of pollution near the CUCP**

| Зона за-<br>грязнений | D,<br>см | Вари-<br>ант | Концентрации металлов, мкг/г |        |      |        |         |      | pH  | Index<br>1 | Index<br>2 |
|-----------------------|----------|--------------|------------------------------|--------|------|--------|---------|------|-----|------------|------------|
|                       |          |              | Cu                           | Pb     | Cd   | Zn     | Fe      | Ni   |     |            |            |
| Импактная             | 1a       | 1            | 3294,2                       | 2843,1 | 44,1 | 1882,6 | 5134,2  | 20,0 | 4,5 | 34,6       | 58,0       |
|                       |          | 2            | 2645,5                       | 2898,4 | 41,1 | 1653,3 | 4321,6  | 18,0 | 4,7 | 30,0       | 50,0       |
|                       |          | 3            | 3790,4                       | 3465,5 | 31,0 | 1236,4 | 10711,1 | 18,9 | 4,4 | 39,9       | 71,9       |
|                       | 1b       | 1            | 5362,1                       | 2589,3 | 26,7 | 1045,4 | 10271,8 | 9,1  | 4,0 | 46,0       | 85,6       |
|                       |          | 2            | 5968,9                       | 2599,6 | 22,5 | 915,0  | 17322,0 | 8,7  | 4,0 | 52,2       | 98,9       |
|                       |          | 3            | 5260,2                       | 3153,9 | 35,0 | 1373,7 | 9682,7  | 16,5 | 4,2 | 47,7       | 86,8       |
|                       | 1,5      | 1            | 3761,1                       | 2970,8 | 31,6 | 1374,3 | 5362,7  | 33,0 | 4,4 | 36,6       | 64,4       |
|                       |          | 2            | 3336,9                       | 2485,9 | 32,9 | 1305,9 | 5538,6  | 17,4 | 4,3 | 32,6       | 57,0       |
|                       |          | 3            | 3007,1                       | 2576,5 | 34,4 | 1586,2 | 3734,9  | 45,8 | 4,7 | 31,1       | 52,1       |
| Буферная              | 4        | 1            | 999,6                        | 993,0  | 10,2 | 438,6  | 1911,7  | 24,3 | 4,5 | 11,0       | 18,6       |
|                       |          | 2            | 977,3                        | 991,1  | 10,5 | 455,5  | 2172,9  | 18,6 | 4,2 | 10,9       | 18,5       |
|                       |          | 3            | 1085,6                       | 1422,9 | 15,4 | 710,3  | 1828,9  | 28,0 | 4,5 | 13,3       | 21,8       |
|                       | 6        | 1            | 509,2                        | 863,3  | 13,1 | 645,0  | 793,8   | 9,0  | 4,5 | 7,4        | 11,2       |
|                       |          | 2            | 649,7                        | 758,0  | 17,0 | 867,1  | 885,7   | 9,5  | 4,8 | 8,5        | 12,4       |
|                       |          | 3            | 985,5                        | 836,4  | 15,9 | 638,5  | 1424,8  | 7,9  | 4,6 | 10,6       | 17,2       |
|                       | 7        | 1            | 389,8                        | 510,3  | 13,3 | 670,5  | 991,6   | 20,1 | 5,0 | 6,1        | 8,1        |
|                       |          | 2            | 332,8                        | 461,7  | 11,1 | 623,8  | 753,6   | 21,1 | 5,2 | 5,4        | 7,0        |
|                       |          | 3            | 390,2                        | 611,7  | 12,4 | 657,6  | 784,7   | 14,5 | 4,8 | 6,1        | 8,4        |
|                       | 10       | 1            | 183,3                        | 324,6  | 8,4  | 592,4  | 651,1   | 13,1 | 5,0 | 3,7        | 4,4        |
|                       |          | 2            | 184,4                        | 337,9  | 6,7  | 369,0  | 753,1   | 16,0 | 4,8 | 3,5        | 4,6        |
|                       |          | 3            | 325,9                        | 373,1  | 7,6  | 354,8  | 1202,2  | 23,2 | 4,6 | 4,8        | 6,8        |
| Фоновая               | 20       | 1            | 28,9                         | 65,7   | 2,8  | 273,1  | 728,3   | 13,7 | 5,6 | 1,4        | 1,3        |
|                       |          | 2            | 57,0                         | 96,7   | 3,5  | 231,4  | 886,2   | 29,6 | 5,3 | 2,1        | 1,9        |
|                       |          | 3            | 31,1                         | 65,7   | 3,1  | 305,3  | 630,2   | 16,9 | 5,6 | 1,5        | 1,2        |
|                       | 30       | 1            | 30,0                         | 64,6   | 2,5  | 211,3  | 539,6   | 17,3 | 5,3 | 1,3        | 1,2        |
|                       |          | 2            | 29,6                         | 68,4   | 2,9  | 229,9  | 695,7   | 18,1 | 5,4 | 1,5        | 1,3        |
|                       |          | 3            | 31,4                         | 81,0   | 2,3  | 163,5  | 835,8   | 14,2 | 4,8 | 1,4        | 1,5        |
|                       | 34       | 1            | 36,1                         | 76,1   | 3,1  | 215,6  | 624,8   | 18,6 | 4,9 | 1,5        | 1,4        |
|                       |          | 2            | 30,5                         | 67,3   | 2,5  | 217,4  | 562,2   | 16,9 | 4,7 | 1,4        | 1,2        |
|                       |          | 3            | 28,2                         | 76,0   | 2,9  | 254,9  | 387,0   | 16,6 | 4,7 | 1,4        | 1,1        |

*Результаты исследования.* Для оценки влияния загрязнений на структуру биомассы деревьев рассчитаны аллометрические уравнения вида

$$p_i = \exp [a_0 + a_1 \ln(D) + a_2(I) + a_3(I \times X)], \quad (2)$$

где  $p_i$  – биомасса  $i$ -й фракции, кг;  $D$  – диаметр на высоте груди, см;  $I$  – индекс токсичности (index2);  $X$  – бинарная переменная (1 для ели и 0 для пихты). Расчет уравнений показал следующие показатели детерминации для надземной биомассы, стволов, хвои и ветвей: 0,986, 0,983, 0,909, 0,924. Уровень значимости по критерию Стьюдента для константы  $a_2$  составил соответственно 1,5, 0,9, 0,8, 0,7, для константы  $a_3$  соответственно 3,8, 1,0, 4,2, 3,6.

Отсутствие статистической значимости константы  $a_2$  означает, что аллометрическая зависимость биомассы дерева от диаметра ствола в градиенте загрязнений остается стабильной, т. е. величина загрязнения в исследованном градиенте не влияет на биомассу равновеликих деревьев. Это означает также, что игнорирование ранее полученных экспериментальных данных о биомассе деревьев и стремление к получению новых экспериментальных данных с целью расчета «современных» аллометрических уравнений, якобы в большей степени соответствующих изменившимся условиям среды [Xing et al., 2005], ничем не обосновано. Наличие статистической значимости константы  $a_3$  означает, что зависимости биомассы дерева от диаметра ствола у ели и пихты различаются (за исключением биомассы стволов). Аналогичные уравнения рассчитаны для годовичного прироста биомассы деревьев.

Полученные уравнения для каждой пробной площади использованы далее для расчета биомассы и ЧПП на 1 га, которые проанализированы затем в связи с индексом токсичности.

Для аппроксимации зависимостей «доза – эффект» использована стандартная процедура регрессионного анализа. Исследованы зависимости

$$P_i = a_0 + a_1(I), \quad (3)$$

$$Z_i = a_0 + a_1(I). \quad (4)$$

Все регрессионные коэффициенты независимых переменных рассчитанных уравнений здесь и далее значимы на уровне вероятности 0,95 и выше. При расчете уравнений (3) и (4) последовательно включались таксационные характеристики елово-пихтовых древостоев в качестве дополнительных независимых переменных. Однако в большинстве случаев их влияние на биомассу и ЧПП древостоев в градиенте загрязнений оказалось статистически не достоверным, что является свидетельством относительной однородности морфоструктуры древостоев в исследованном градиенте. Характеристика окончательных уравнений дана в табл. 5.



Таблица 5

**Характеристика уравнений (3) и (4) для елово-пихтовых древостоев  
в градиенте загрязнений от СУМЗ**

**Characteristic of equations (3) and (4) for spruce-fir stands  
in the pollution gradient near the CUCP**

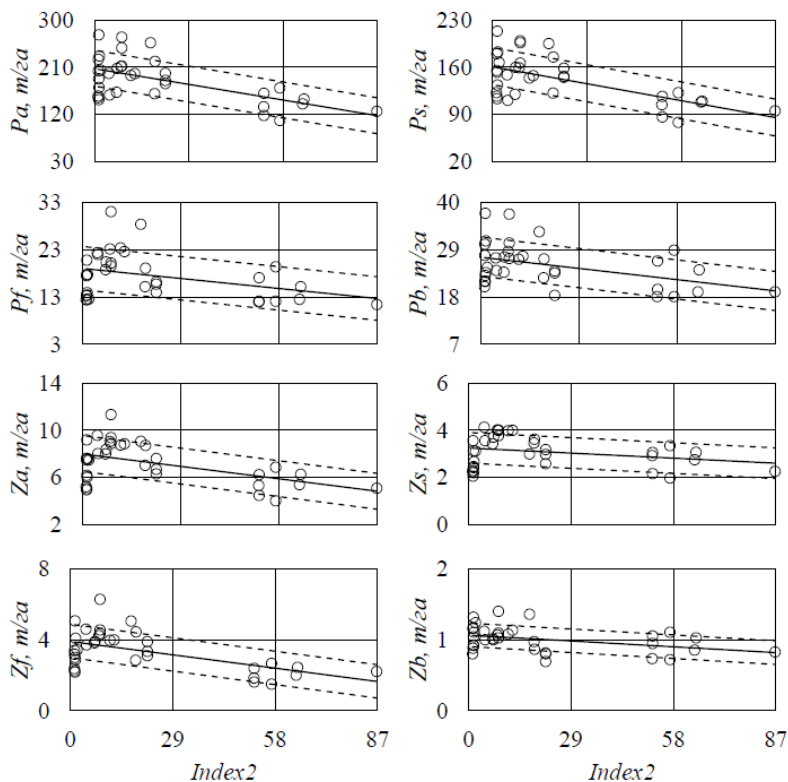
| Характеристики уравнений | $P_a$  | $P_s$  | $P_f$   | $P_b$   | $Z_a$   | $Z_s$   | $Z_f$   | $Z_b$   |
|--------------------------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| $a_0$                    | 206,9  | 160,6  | 19,03   | 27,3    | 7,98    | 3,24    | 3,90    | 0,80    |
| $a_1$                    | -1,029 | -0,866 | -0,0732 | -0,0905 | -0,0364 | -0,0074 | -0,0259 | -0,0021 |
| $adjR^2$                 | 0,333  | 0,354  | 0,105   | 0,166   | 0,232   | 0,044   | 0,291   | 0,123   |
| $SE$                     | 34,1   | 27,4   | 4,6     | 4,6     | 1,5     | 0,65    | 0,94    | 0,12    |

Для нижнего яруса какой-либо достоверной зависимости биомассы и годичной ЧПП от индекса токсичности мы не смогли выявить. Средние величины  $P_u$  и  $Z_u$  составили соответственно  $2,95 \pm 1,7$  и  $0,45 \pm 0,29$  т/га.

Если при анализе деревьев ели и пихты, подверженных загрязнениям от СУМЗ, не обнаружено значимого их влияния на биомассу и годичную ЧПП, то при анализе древостоев такое влияние становится очевидным. Это означает, что на изменение биопродуктивности древостоев вследствие загрязнений влияет не структура биомассы и ЧПП деревьев, а морфоструктура древостоев.

Ранее исследовались зависимости биомассы и ЧПП в этом же градиенте загрязнений, но показателем загрязнения было расстояние от СУМЗ [Усольцев и др., 2012]. Полученный прежде вывод аналогичен выше приведенному: если на уровне деревьев в градиенте загрязнений не выявлено значимого их влияния на биомассу и годичную ЧПП, то при анализе древостоев такое влияние существенно.

Однако есть и различия: если степень загрязнения выражена индексом токсичности, то показатели биомассы и ЧПП елово-пихтовых древостоев возрастают по линейной траектории (см. рисунок), тогда как при выражении градиента удалением от СУМЗ закономерности имеют нелинейный характер, а именно: биомасса и ЧПП древостоев вначале резко возрастают в диапазоне от 1 до 4 км, а затем выходят на плато. От выбранного показателя загрязнения зависит и характер изменения продукции нижнего яруса. Если в первом случае никакой закономерности не выявлено, то во втором случае после резкого увеличения продуктивности на первых двух километрах удаления происходит постепенное ее снижение.



Линейные тренды изменения биомассы и ЧПП елово-пихтовых древостоев в градиенте загрязнений от СУМЗ. Пунктирными линиями показан диапазон стандартной ошибки уравнений

Linear trends of changes in biomass and NPP of spruce-fir stands in the gradient of pollution near the CUCP. The dotted lines show the range of the standard error of the equations

Поскольку наши объекты исследования характеризуются относительной однородностью морфологической структуры древостоев, структура уравнений, связывающих содержание сухого вещества в компонентах биомассы с определяющими факторами, относительно проста, т. е. уравнения содержат небольшое количество независимых переменных. Рассчитаны уравнения для содержания сухого вещества:

– в компонентах ствола

$$S_w \text{ и } S_b = a_0 + a_1A + a_2h + a_3I + a_4X; \quad (5)$$

– в листве

$$S_f = a_0 + a_1D + a_2U + a_3X, \quad (6)$$

где  $S_f$ ,  $S_w$  и  $S_b$  – содержание сухого вещества соответственно в хвое, древесине и коре ствола, %;  $A$  – возраст дерева, лет;  $h$  – положение выпиленного диска вдоль по стволу, в долях от высоты ствола, т. е. 0,2, 0,5 и 0,8 $H$  (нумерация снизу вверх), где  $H$  высота ствола, м;  $D$  – диаметр ствола на высоте груди, см;  $U$  – положение образца в каждой трети кроны, т. е. 1, 2 и 3 (нумерация сверху вниз);  $I$  – индекс токсичности (index2);  $X$  – бинарная переменная, равная 1 для ели и 0 для пихты. Характеристика уравнений (5) и (6) дана в табл. 6.

Таблица 6

**Характеристика уравнений (5) и (6)**

**Characteristic of equations (5) and (6)**

| Характеристика уравнений | $S_w$  | $S_b$  | $S_f$  |
|--------------------------|--------|--------|--------|
| $a_0$                    | 38,49  | 41,10  | 37,64  |
| $a_1$                    | 0,1026 | 0,0615 | 0,1217 |
| $a_2$                    | -12,03 | -6,938 | 0,2063 |
| $a_3$                    | 0,0348 | 0,0344 | 7,432  |
| $a_4$                    | 4,652  | -      | -      |
| $adjR^2$                 | 0,400  | 0,305  | 0,546  |
| $SE$                     | 5,03   | 3,33   | 3,54   |

Судя по характеристике уравнений (5) и (6), содержание сухого вещества в древесине и коре ствола имеет положительную связь с возрастом дерева и индексом токсичности и отрицательную – с положением диска вдоль ствола (снизу вверх). Аналогичный показатель листвы имеет положительную связь с толщиной ствола и с положением образца вдоль по кроне (сверху вниз), но не имеет связи с индексом токсичности (соответствующий критерий Стьюдента равен 0,81<2,0). Содержание сухого вещества в древесине и хвое у ели выше, чем у пихты, а в коре различие не достоверное (критерий Стьюдента равен 0,97<2,0).

Для предварительных (ориентировочных) расчетов или в случаях, когда нет возможности для определения содержания сухого вещества в фракциях биомассы термовесовым методом при ее оценке на пробных площадях в древостоях ели и пихты, могут быть использованы его средние значения (табл. 7).

Таблица 7

**Среднее содержание абсолютно сухого вещества (%)  
в фракциях биомассы ели и пихты в градиенте загрязнений от СУМЗ**

**Average of dry matter content ( % ) in components of spruce  
and fir biomass in the gradient of pollution near the CUCP**

| Фракция биомассы | Ель       | Пихта     |
|------------------|-----------|-----------|
| Древесина ствола | 46,2±0,84 | 42,7±0,48 |
| Кора ствола      | 43,9±0,51 | 44,4±0,41 |
| Ветви с корой    | 58,0±0,70 | 49,0±0,43 |
| Хвоя             | 48,0±0,32 | 44,0±0,19 |

*Выводы.* Таким образом, установлена линейная закономерность снижения биомассы и годичной ЧПП елово-пихтовых древостоев по мере повышения индекса токсичности в направлении к источнику загрязнения, а по биомассе деревьев в том же градиенте никакой закономерности не выявлено. Также не выявлено какой-либо закономерности изменения биомассы и ЧПП нижнего яруса по мере повышения индекса токсичности. Содержание сухого вещества в древесине и коре у разновозрастных деревьев увеличивается по мере приближения к источнику загрязнения, и у ели этот показатель выше, чем у пихты. Содержание сухого вещества в хвое у разновеликих деревьев ели выше, чем у пихты, но в градиенте загрязнения оно имеет постоянную величину.

Использование индекса токсичности в градиенте загрязнения вместо показателя удаленности от его источника дает возможность сравнительного анализа ситуаций загрязнения на разных объектах и некоторых физиологически обусловленных интерпретаций выявленных трендов.

Авторы признательны своим коллегам Е.Л. Воробейчику, И.Е. Бергману, М.Р. Трубиной, С.Ю. Кайгородовой, П.Г. Пищулину, А.В. Щепеткину, А.С. Касаткину и И. Биктимирову, принимавшим участие в получении исходных материалов, и И.С. Цепордею, участвовавшему в оформлении статьи.

**Библиографический список**

Арманд А.Д., Кайдакова В.В., Кушнарёва Г.В., Добродеев В.Г. Определение пределов устойчивости геосистем на примере окрестностей Мончегорского металлургического комбината // Изв. АН СССР. Сер. географич., 1991. № 1. С. 93–104.

Кожухова Л.И. Ассимиляционный ресурс России и его место среди приоритетов национальной лесной политики // Национальная лесная политика России / Тр. Междунар. науч.-практ. конф. М.: МГУЛ, 2001. С. 154–156.

Русаленко А.И., Петров Е.Г. Определение прироста фитомассы в сосновых насаждениях // Текущий прирост древостоев: материалы научной конференции. Минск: Ураджай, 1975. С. 139–140.

Степанов А.М. Методология биоиндикации и фоновое мониторинга экосистем суши // Экотоксикология и охрана природы. М.: Наука, 1988. С. 28–108.

Усольцев В.А. Моделирование структуры и динамики фитомассы древостоев. Красноярск: Изд-во Красноярского ун-та, 1985. 191 с. URL: <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3353>

Усольцев В.А. Фитомасса модельных деревьев лесообразующих пород Евразии: база данных, климатически обусловленная география, таксационные нормативы. Екатеринбург: УГЛТУ, 2016. 336 с. URL: <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/5696>

Усольцев В.А., Воробейчик Е.Л., Бергман И.Е. Биологическая продуктивность лесов Урала в условиях техногенного загрязнения: Исследование системы связей и закономерностей. Екатеринбург: УГЛТУ, 2012. 365 с. URL: <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/458>

Ярмишко В.Т., Лянгузова И.В. (ред.). Методы изучения лесных сообществ. СПб.: НИИхимии СПбГУ, 2002. 240 с.

Houghton R.A., Hall F., Goetz S.J. Importance of biomass in the global carbon cycle // Journal of Geophysical Research. 2009. Vol. 114. P. 1–13 (G00E03. DOI: 10.1029/2009JG000935).

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

Savva Y., Berlinger F. Sulphur deposition causes a large-scale growth decline in boreal forests in Eurasia // Global Biogeochemical Cycles. 2010. Vol. 24 (GB3002, DOI: 10.1029/2009GB003749).

Vorobeichik E.L., Khantemirova E.V. Reaction of forest phytocenoses to technogenic pollution: dose-effect dependencies // Russian Journal of Ecology. 1994. Vol. 25, is. 3. P. 171–180.

Vorobeichik E.L., Kozlov M.V. Impact of point pollutants on terrestrial ecosystems: methodology of research, experimental design, and typical errors // Russian Journal of Ecology. 2012. Vol. 43, is. 2. P. 89–96.

Xing Z., Bourque C.P.-A., Swift D.E., Clowater C.W., Krasowski M., Meng F.-R. Carbon and biomass partitioning in balsam fir (*Abies balsamea*) // Tree Physiology. 2005. Vol. 25. P. 1207–1217.

Zvereva E.L., Kozlov M.V. Changes in the abundance of vascular plants under the impact of industrial air pollution: a meta-analysis // Water Air and Soil Pollution. 2012. Vol. 223, is. 5. P. 2589–2599. DOI: 10.1007/s11270-011-1050-z.

## References

Armand A.D., Kaydakova V.V., Kushnareva G.V., Dobrodeev V.G. Determination of the limits of geosystems' stability on the example of the vicinity of the Monchegorsk metallurgical works. *Izv. Akad. Nauk SSSR, Ser. Geografich*, 1991, no. 1, pp. 93–104. (In Russ.)

Kozhukhova L.I. Assimilative resource of Russia and its place among the priorities of national forest policy. *National forest policy of Russia*. Proc. of the intern. scient.-practical conf. M., MGUL, 2001, pp. 154–156. (In Russ.)

Rusalenko A.I., Petrov E.G. Estimating of biomass increment in pine forests. *Current growth of stands (Proceedings of the scientific conference)*. Minsk: Uradzhyay, 1975, pp. 139–140. (In Russ.)

Stepanov A.M. Methodology of bioindication and background monitoring of terrestrial ecosystems. *Ecotoxicology and Environmental Protection*. M., 1988, pp. 28–108. (In Russ.)

Usoltsev V.A. Modeling of the structure and dynamics of forest biomass. Krasnoyarsk: Publishing house of Krasnoyarsk University, 1985. 191 p. URL: <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3353>

Usoltsev V.A. Single-tree biomass of forest-forming species in Eurasia: database, climate-related geography, weight tables. Yekaterinburg: Ural State Forest Engineering University, 2016. 336 p. URL: <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/5696>

Usoltsev V.A., Vorobeichik E.L., Bergman I.E. Biological productivity of Ural forests under conditions of air pollutions: studying a system of regularities. Yekaterinburg: Ural State Forest Engineering University, 2012. 366 p. URL: <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/458> (In Russ.)

Yarmishko V.T., Lyanguzova I.V. (eds.). Methods for forest community study. St.-Petersburg University, 2002. 240 p. (In Russ.)

Houghton R.A., Hall F., Goetz S.J. Importance of biomass in the global carbon cycle. *Journal of Geophysical Research*, 2009, vol. 114, pp. 1–13 (G00E03, DOI: 10.1029/2009JG000935).

Mikhailova I.N., Vorobeichik E.L. Epiphytic lichenosynusia under conditions of chemical pollution: dose-effect dependencies. *Russian Journal of Ecology*, 1995, vol. 26, is. 6, pp. 425–431.

Savva Y., Berlinger F. Sulphur deposition causes a large-scale growth decline in boreal forests in Eurasia. *Global Biogeochemical Cycles*, 2010, vol. 24 (GB3002. DOI: 10.1029/2009GB003749).

Vorobeichik E.L., Khantemirova E.V. Reaction of forest phytocenoses to technogenic pollution: dose-effect dependencies. *Russian Journal of Ecology*, 1994, vol. 25, is. 3, pp. 171–180.

Vorobeichik E.L., Kozlov M.V. Impact of point polluters on terrestrial ecosystems: methodology of research, experimental design, and typical errors. *Russian Journal of Ecology*, 2012, vol. 43, is. 2, pp. 89–96.

Xing Z., Bourque C.P.-A., Swift D.E., Clowater C.W., Krasowski M., Meng F.-R. Carbon and biomass partitioning in balsam fir (*Abies balsamea*). *Tree Physiology*, 2005, vol. 25, pp. 1207–1217.

Zvereva E.L., Kozlov M.V. Changes in the abundance of vascular plants under the impact of industrial air pollution: a meta-analysis. *Water Air and Soil Pollution*, 2012, vol. 223, is. 5, pp. 2589–2599. DOI 10.1007/s11270-011-1050-z.

Материал поступил в редакцию 01.11.2019

**Усольцев В.А., Ковязин В.Ф., Уразова А.Ф., Борников А.В., Часовских В.П.** Структура биомассы елово-пихтовых насаждений в градиенте загрязнений от Среднеуральского медеплавильного завода // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2020. Вып. 230. С. 19–35. DOI: 10.21266/2079-4304.2020.230.19-35

В градиенте загрязнений от медеплавильного завода на Среднем Урале (56° 50' с.ш., 59° 56' в.д.) в смешанных елово-пихтовых древостоях заложены 43 пробные площади, на которых по ступеням толщины для определения биомассы взято 65 модельных деревьев, в том числе 33 и 32 ели и пихты соответственно. Градиент загрязнений выражен индексом токсичности – относительным показателем содержания в подстилке трёх «техногенных» металлов – Cu, Pb и Fe. Выполнен регрессионный анализ биомассы и ЧПП деревьев и древостоев от индекса токсичности. Установлена линейная закономерность снижения биомассы и годичной ЧПП елово-пихтовых древостоев по мере повышения индекса токсичности в направлении к источнику загрязнения, а по биомассе деревьев в том же градиенте никакой закономерности не выявлено. Также не выявлено какой-либо закономерности изменения фитомассы и ЧПП нижнего яруса по мере повышения индекса токсичности. Содержание сухого вещества в древесине и коре у равновозрастных деревьев увеличивается по мере приближения к источнику загрязнения, и у ели этот показатель выше, чем у пихты. Содержание сухого вещества в хвое у равновеликих деревьев ели выше, чем у пихты, но в градиенте загрязнения оно имеет постоянную величину.

Ключевые слова: елово-пихтовые древостой, модельные деревья, пробные площади, медеплавильный завод, индекс токсичности, регрессионный анализ.

**Usoltsev V.A., Kovyazin V.F., Urazova A.F., Bornikov A.V., Chasovskikh V.P.** Biomass structure of *Picea-Abies* forest ecosystems in pollution gradient near copper plant on the Central Ural. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnikeskoj Akademii*, 2020, is. 230, pp. 19–35 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2020.230.19-35

In the gradient of pollution from the copper smelter in the Middle Urals (56°50' N., 59°56' E.) in mixed spruce-fir stands 43 sample plots are established, in which by stem diameter 65 sample trees for biomass structure estimating are taken, including 33 and 32 spruce and fir, respectively. The pollution gradient is expressed by the toxicity index suggested with a relative index of the content in the litter of three «technogenic» metals Cu, Pb и Fe. Regression analysis of the dependence of biomass and NPP of trees and stands from toxicity index is performed. There is a linear pattern of reduction of biomass and annual NPP of spruce-fir forest stands with increasing toxicity index in the direction to the source of pollution, but for the biomass of trees in the same gradient no consistent pattern is detected. No regularity of changes in biomass and NPP of the understory with increasing toxicity index was revealed too. The dry matter content of wood and bark of trees of equal-aged increases as they approach the source of pollution, and spruce has a higher dry matter content than fir. The dry matter content in the needles of equal-sized spruce trees is higher than that of fir, but in the pollution gradient it has a constant value.

**Key words:** spruce-fir stands, model trees, sample plots, copper smelter, toxicity index, regression analysis.

---

**УСОЛЬЦЕВ Владимир Андреевич** – заслуженный лесовод России, профессор кафедры менеджмента и управления качеством Института экономики и управления Уральского государственного лесотехнического университета, профессор, главный научный сотрудник Ботанического сада УрО РАН, доктор сельскохозяйственных наук.

620100, Сибирский тракт, д. 37, г. Екатеринбург, Россия. E-mail: Usoltsev50@mail.ru

**USOLTSEV Vladimir A.** – DSc (Agriculture), professor of the Department of quality management, Ural State Forest Engineering University, chief researcher at the Botanical Garden, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences.

620100. Sibirskiy Trakt 37. Yekaterinburg. Russia. E-mail: Usoltsev50@mail.ru

**КОВЯЗИН Василий Федорович** – профессор Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, доктор биологических наук.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: vfkedr@mail.ru

**KOVYAZIN Vasily F.** – DSc (Biology), Professor, St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg, Russia. E-mail: vfkedr@mail.ru



**УРАЗОВА Алина Флоритовна** – доцент кафедры технологии и оборудования лесопромышленного производства ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», кандидат сельскохозяйственных наук.

620100, Сибирский тракт, д. 37, г. Екатеринбург, Россия. E-mail: ura-alina@mail.ru

**URAZOVA Alina F.** – PhD (Agriculture), Ural State Forest Technical University. 620100. Sibirskiy Trakt 37. Yekaterinburg. Russia. E-mail: ura-alina@mail.ru

**БОРНИКОВ Александр Вячеславович** – старший преподаватель ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный аграрный университет», кандидат сельскохозяйственных наук.

460014, ул. Челюскинцев, 18, Оренбург, Россия. E-mail: bornikov87@mail.ru

**BORNIKOV Aleksandr V.** – PhD (Agriculture), Orenburg State Agrarian University.

460014. Chelyuskintsev str. 18. Orenburg. Russia. E-mail: bornikov87@mail.ru

**ЧАСОВСКИХ Виктор Петрович** – доктор технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы РФ, член Российской академии инженерных наук им. А.М. Прохорова, член Российской академии естественных наук, директор Института экономики и управления Уральского государственного лесотехнического университета.

620100, Сибирский тракт, д. 37, г. Екатеринбург, Россия. E-mail: u2007u@yandex.ru

**CHASOVSKIKH Viktor P.** – DSc (Technical), Professor, Full Member of European Academy of Natural History, Director of the Institute of Economics and Management, Ural State Forest Engineering University.

620100. Sibirskiy Trakt 37. Yekaterinburg. Russia. E-mail: u2007u@yandex.ru