

ОРИГИНАЛЬНЫЕ  
СТАТЬИ

УДК 630\*160.26 + 630\*425

**СОДЕРЖАНИЕ СЕРЫ И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ  
В ХВОЙНЫХ НАСАЖДЕНИЯХ БАСЕЙНА СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ  
ПРИ АЭРОТЕХНОГЕННОМ ЗАГРЯЗНЕНИИ**

© 2011 г. С. Н. Тарханов

*Институт экологических проблем Севера УрО РАН*

*163000 Архангельск, Наб. Северной Двины, 23*

*E-mail: tarkse@yandex.ru*

Поступила в редакцию 09.04.2009 г.

Дана сравнительная оценка содержания серы и тяжелых металлов (Zn, Cu, Cd, Pb и Hg) в органогенных горизонтах почв и одно-, двух-, трехлетней хвое ели хвойных насаждений бассейна Северной Двины, подверженных аэротехногенному загрязнению. Накопление серы в хвое ели увеличивается по мере приближения к теплоэлектроцентралям и целлюлозно-бумажным комбинатам. Для содержания тяжелых металлов в почве и хвое ели такой четкой зависимости нет.

*Сера, тяжелые металлы, хвойные насаждения, почва, хвоя ели, аэротехногенное загрязнение, бассейн Северной Двины.*

В настоящее время важным фактором, оказывающим значительное влияние на формирование химического состава растений, является воздушное загрязнение лесных биогеоценозов кислотообразующими веществами и тяжелыми металлами. В таких условиях обычно наблюдается повышение содержания поллютантов, входящих в состав выбросов, в результате фоллиарного и корневого поглощения [12, 31], а также выщелачивание элементов из листьев кислыми осадками [17]. Повышение кислотности и выщелачивание основных элементов питания в почвах в результате аэротехногенного загрязнения приводит к нарушению поглощения элементов растениями, дефициту элементов питания, дисбалансу химических элементов в ассимилирующих органах [16, 17]. К числу важнейших процессов, определяющих химический состав органогенных горизонтов лесных почв северной тайги, относятся: поступление соединений элементов с опадом растений, вынос элементов в результате поглощения растениями, миграция в минеральные горизонты [13].

Широко распространены представления, что основной причиной повреждения растений в результате воздушного промышленного загрязнения является фумигация их сернистым газом и токсическое действие соединений тяжелых металлов [13]. При оценке аэротехногенного загряз-

нения промышленных предприятий, в выбросах которых преобладает сернистый ангидрид, большое значение приобретает изучение содержания серы в растениях.

При взаимодействиях макроэлементов между собой, микроэлементов друг с другом, а также макро- и микроэлементов проявляется способность одного элемента ингибировать или стимулировать поглощение других элементов растениями [11, 12]. Взаимодействие Zn и Cu носит антагонистический характер и проявляется в ингибировании Zn потребления Cu растениями [12, 34]. В присутствии Zn снижается поглощение корнями и листьями растений Cd [34].

Основными источниками загрязнения атмосферы Северо-Двинского бассейна являются промышленные предприятия, объекты теплоэнергетики и транспорт Архангельской агломерации (245 тыс. т год<sup>-1</sup>) и Котласского промышленного узла (30 тыс. т год<sup>-1</sup>), Центр атомного судостроения в Северодвинске, космодром "Плесецк". На площади 1 км<sup>2</sup> в пределах агломераций ежегодно выпадает следующее количество поллютантов, т: Архангельск – 420, Северодвинск – 440, Новодвинск – 1435. Среди выбросов Архангельского, Котласского, Соломбальского целлюлозно-бумажных комбинатов (ЦБК), оказывающих вредное влияние на растительность, доминируют

неорганическая пыль и серосодержащие соединения (диоксид серы, сероводород, метилмеркаптан, диметилсульфид), а теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) – диоксид серы и оксиды азота.

Максимальные по метеоусловиям концентрации диоксида серы в приземном слое атмосферного воздуха, рассчитанные с помощью программы “Эколог”, составляют,  $\text{мг м}^{-3}$ : в Архангельске – 0.10, Северодвинске – 0.15, Новодвинске – 0.21. На расстоянии 15–30 км от промышленной зоны максимально разовые концентрации диоксида серы составляют  $0.02 \text{ мг м}^{-3}$  [33, 37]. Среднегодовая концентрация сульфат-ионов в снеге на периферии зон влияния предприятий Архангельска и Новодвинска составляет от 5 до  $20 \text{ мг л}^{-1}$ , а в фоновых районах –  $0.51 \text{ мг л}^{-1}$  [15, 29, 30].

Способность тяжелых металлов переноситься в атмосфере на значительные расстояния и осажаться на территориях, удаленных от источников выбросов на сотни и даже тысячи километров, приводит к постепенному загрязнению лесных территорий [18]. Согласно данным [10, 18] в России на лесных территориях в промышленных выбросах из тяжелых металлов преобладают Cu, Ni, Zn. Среднегодовые концентрации тяжелых металлов в атмосферном воздухе в Архангельске и Северодвинске составляют: Ni – 0.025 и 0.012, Cu – 0.011 и 0.015, Zn – 0.021 и 0.021, Pb – 0.011 и 0.015  $\text{мкг м}^{-3}$ , соответственно. Это содержание значительно ниже концентраций этих микроэлементов, характерных для других промышленных городов России, особенно центров металлургии [3, 9, 26, 33].

Цель настоящей работы – сравнительная оценка содержания серы и тяжелых металлов в органических горизонтах почв и хвое ели хвойных насаждений, подверженных аэротехногенному загрязнению.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Объектами исследований являлись хвойные формации зеленомошной и сосновые насаждения сфагновой групп типов леса северной тайги бассейна Северной Двины. Леса зеленомошной группы были представлены ельниками и сосняками черничными со спелыми и перестойными (ель), приспевающими и средневозрастными (сосна), среднеполнотными древостоями, чаще IV класса бонитета, произрастающими на Al–Fe-гумусовых подзолах с высокой кислотностью верхних горизонтов (рН солевой суспензии 3.4–4.0), бедностью подзолистого горизонта элементами питания, в частности, обменными основаниями, гумусом и азотом [33]. Сосняки сфагновой группы, произрастающие преимущественно на болотных

верховых торфяных и торфяно-глеевых почвах, подстилаемых оглеенными суглинками, в северной тайге отличаются низкой продуктивностью (чаще V–Va классы бонитета) и редкостью, особенно в спелом и перестойном возрасте. Торф болотных верховых почв – сфагновый или пушице-сфагновый, низкой степени разложения, имеет сильноокислую реакцию (рН солевой суспензии 2.6–3.2), высокую обменную и гидролитическую кислотности, очень низкую степень насыщенности основаниями (менее 20%), содержание золы в верховом торфе 2–4%. В районах, подверженных аэротехногенному загрязнению, в верхних горизонтах верховых торфяных почв отмечается повышенное содержание золы (6–8%) и обменного калия ( $150\text{--}213 \text{ мг } 100 \text{ г}^{-1}$  почвы) [33].

Закладку пробных площадей осуществляли в соответствии с принятыми в лесоустроительной практике стандартами [6]. Районы аэротехногенного загрязнения соответствуют критериям, рассмотренным в работах [26, 33, 37]. На фоновых территориях (Мезенский, Пинежский, Приморский, Шенкурский районы Архангельской обл. и юго-запад Ненецкого АО) пробные площади располагались на расстоянии более 120 км от “высоких” источников эмиссий (ТЭЦ, ЦБК). При лесоводственно-геоботанической и таксационной характеристике лесных насаждений руководствовались общепринятыми методами [2, 28, 32].

В вегетационные периоды 1997–1998 гг. на каждой пробной площади с 20 деревьев в нижней трети кроны отбирали смешанные образцы одно-, двух-, трехлетней хвои боковых ветвей I-го порядка, что обеспечивало достоверность данных определения содержания тяжелых металлов и серы [39]. Отбор и подготовку проб почвы для анализа проводили стандартными методами [4, 5] в соответствии с методическими рекомендациями [21]. Точечные пробы отбирали на пробных площадях из органических горизонтов способом конверта на глубине 0–5 см (в пятикратной повторности). Определение подвижной серы в почве по методу, разработанному Центральным научно-исследовательским институтом агрохимического обслуживания сельского хозяйства (ЦИНАО), заключалось в извлечении подвижной серы из почвы раствором хлористого калия, осаждением сульфатов хлористым барием и последующем турбидиметрическом определении их в виде взвеси сульфата бария [7, 8]. Общее содержание серы в смешанных образцах хвои определяли турбидиметрическим методом [25].

Определение содержания тяжелых металлов в почве и хвое проводили в соответствии с обще-

принятыми методиками [20, 22, 24]. Содержание Cd, Pb, Zn и Cu определяли распылением с атомизацией раствора в пламени с помощью спектрофотометра “Спектр-5”. Содержание Hg в почве и растениях определяли с применением анализатора ртути “Юлия-2” [23, 27].

Полученный при исследованиях материал обработан методами корреляционного и дисперсионного анализов с использованием пакета программ Excel, Stadia 7.1 (лицензионный паспорт № 1622).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В бореальных лесах органогенные горизонты почвы являются основным источником питания растений. У ели приуроченность минерального питания к органогенному горизонту выражена сильнее, чем у сосны, что обусловлено его большей мощностью в еловых насаждениях и размещением корневой системы ели именно в этом горизонте или непосредственно под ним. Именно органогенные горизонты лесных почв являются биогеохимическим барьером нисходящей миграции химических элементов и аккумулятором техногенных загрязнений [13].

Согласно нашим данным (табл. 1) среднее содержание сульфатов в органогенных горизонтах подзолистых почв (ельники черничные) в загрязненных выбросами предприятий Архангельской агломерации районах превышает их фоновый уровень почти в 4 раза, максимальное превышение составляет 27 раз. В условиях атмосферного загрязнения наблюдаются различия в накоплении сульфат-ионов в органогенных горизонтах подзолистых (сосняки и ельники черничные) и болотных (сосняки сфагновой группы) почв. Так, среднее содержание  $SO_4^{2-}$  в поверхностном торфяном горизонте (на глубине 0–5 см) болотных почв в 2–2.2 раза больше ( $p < 0.05$ ), чем в лесной подстилке подзолистых почв, хотя максимальные показатели отмечаются в ельниках черничных. Среднее содержание биофильных элементов Cu и Zn в верхнем горизонте болотных верховых почв в районах аэротехногенного загрязнения существенно ниже по  $F$ -критерию ( $p < 0.01$  и  $p < 0.001$ , соответственно), чем в органогенном горизонте подзолистых почв ельников черничных. По накоплению токсикантов Pb, Cd, Hg эти типы почв в условиях аэротехногенного загрязнения достоверно не различаются ( $F < F_{0.05}$ ). Поверхностный торфяной горизонт сосняков сфагновой группы типов леса и органогенные горизонты сосняков черничных по содержанию тяжелых металлов достоверно (по  $t$ -критерию Стьюдента) не различаются, хотя можно

отметить несколько повышенное содержание в верхнем горизонте болотных почв биофильных микроэлементов, а в органогенных горизонтах подзолистых почв – Pb и Cd.

Наблюдается повышенное накопление в органогенном горизонте ельников черничных в сравнении с сосняками черничными Zn и Cu, в меньшей степени – Pb и Hg, что, возможно, определяется биологическими особенностями этих древесных пород и, в конечном итоге, обуславливает обогащенность металлами подстилок ельников. Под кроны деревьев ели также проникает меньше осадков, чем под кроны сосны, что может препятствовать интенсивному вымыванию биофильных элементов из подстилки. Различия между максимальными концентрациями достигают: Pb – 4 раза; Cd – 1.3, Zn – 9.5, Cu – 22.5 и Hg – 2.3 раза.

При аэротехногенном загрязнении наблюдается увеличение среднего содержания в органогенных горизонтах подзолистых почв (ельники черничные) в сравнении с фоновыми условиями: Pb – в 1.9, Zn – в 2.2, Cu – в 3.7 раза. При этом по среднему содержанию таких микроэлементов, как Cd и Hg, загрязненные и фоновые районы почти не отличаются. Различия в максимальных концентрациях в этих условиях могут достигать по Pb – более чем в 8, Zn – 6, Cu – 40 раз и Hg – почти в 1.5 раза.

Сравнительная оценка показала, что среднее валовое содержание меди в органогенных горизонтах подзолистых почв ельников черничных в районах аэротехногенного загрязнения Северо-Двинского бассейна (табл. 1) соответствует фоновому уровню накопления меди в органогенных горизонтах почв ельников кустарничково-зеленомошного типа Кольского полуострова, а содержание цинка значительно превышает фоновый уровень его накопления на Кольском п-ове [17, 18]. В сосновых насаждениях на расстоянии 2–30 км от металлургического комбината “Североникель” концентрации меди в подстилке [35, 38] на 1–3 порядка превышают даже максимальное ее содержание в органогенном горизонте подзолистых почв сосняков черничных в районах аэротехногенного загрязнения Архангельской агломерации (табл. 1).

Содержание серы в смешанных образцах одно-, двух-, трехлетней хвои ели в загрязненных условиях в сравнении с фоновыми увеличивается в 1.2 раза и в насаждениях зеленомошной и сфагновой групп типов леса в низовье Северной Двины отрицательно коррелирует с расстоянием до ТЭЦ и ЦБК ( $r = -0.34-0.52$ ,  $p < 0.001$  (табл. 2, рисунок)). В наиболее загрязненных районах вблизи

**Таблица 1.** Содержание тяжелых металлов и сульфатов в органогенных горизонтах лесных почв, мг кг<sup>-1</sup>

Районы	Pb	Cd	Zn	Cu	Hg	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
Районы аэротехногенного загрязнения* Ельники черничные, подзолистые почвы (n = 26)	<u>1.07–89.35</u> 16.59±3.34	<u>0.01–0.43</u> 0.15±0.02	<u>1.46–320.40</u> 50.25±12.43	<u>0.22–97.96</u> 12.75±7.47	<u>0.02–0.36</u> 0.17±0.02	<u>0.192–259.2</u> 28.8±9.6
Сосняки сфагновой группы, болотные почвы (n=10)	<u>3.14–22.49</u> 12.02±2.14	<u>0.03–0.33</u> 0.15±0.03	<u>10.91–85.90</u> 26.69±6.63	<u>2.04–13.63</u> 5.35±1.06	<u>0.02–0.16</u> 0.11±0.01	<u>19.2–124.8</u> 67.2±9.6**
Сосняки черничные, подзолистые почвы (n = 9)	<u>7.92–23.88</u> 15.06±1.88	<u>0.04–0.32</u> 0.17±0.02	<u>15.25–33.79</u> 22.79±2.43	<u>3.09–8.79</u> 5.05±0.60	<u>0.005–0.19</u> 0.11±0.02	<u>19.2–57.6</u> 28.8±4.6
Фоновые районы*** Ельники черничные, подзолистые почвы (n = 6)	<u>6.96–10.86</u> 8.70±0.59	<u>0.01–0.46</u> 0.14±0.07	<u>5.68–50.78</u> 23.01±6.15	<u>1.65–4.90</u> 3.45±0.51	<u>0.09–0.26</u> 0.19±0.03	<u>4.80–9.60</u> 7.68±0.67

\* Локальный и субрегиональный территориальный уровень техногенного воздействия [36].

\*\* n = 9.

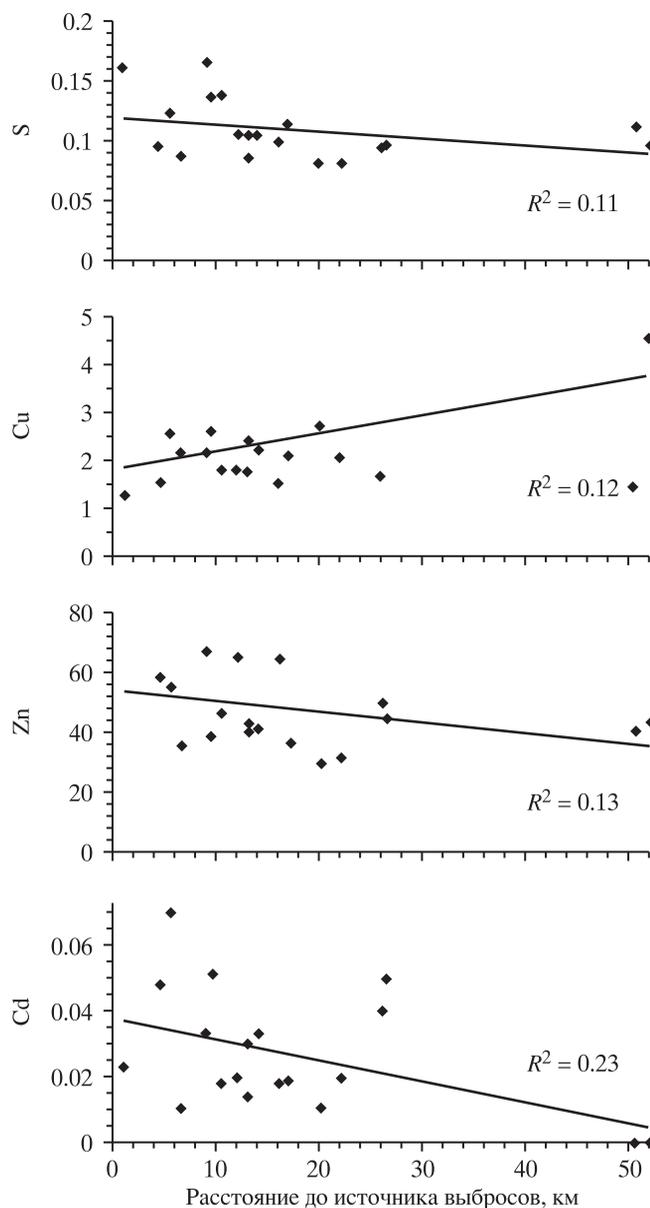
\*\*\* Более 120 км от Архангельска.

Примечание. В числителе – минимальное и максимальное значения, в знаменателе –  $x \pm S_x$ .**Таблица 2.** Содержание тяжелых металлов (мг кг<sup>-1</sup>) и серы (%) в смешанных образцах одно-, двух-, трехлетней хвой ели

Районы	Pb	Cd	Zn	Cu	Hg	S
Районы аэротехногенного загрязнения* Ельники черничные (n = 53)	<u>0.00–9.50</u> 1.43±0.24	<u>0.01–2.66</u> 0.20±0.07**	<u>12.40–117.37</u> 43.99±2.75	<u>1.10–46.82</u> 3.69±0.87	<u>0.01–0.05</u> 0.03±0.00	<u>0.05–0.17</u> 0.11±0.00
Сосняки черничные (n = 14)	<u>0.20–2.05</u> 0.70±0.13	<u>0.01–0.04</u> 0.02±0.00	<u>17.86–81.33</u> 47.80±4.04	<u>1.30–2.81</u> 2.03±0.11	<u>0.02–0.05</u> 0.03±0.00	<u>0.07–0.17</u> 0.11±0.01
Фоновые районы*** Ельники черничные (n = 18)	<u>0.15–1.17</u> 0.41±0.06	<u>0.01–0.06</u> 0.03±0.00	<u>20.75–63.32</u> 43.73±2.82	<u>1.38–2.99</u> 1.79±0.09	<u>0.01–0.04</u> 0.01±0.00	<u>0.04–0.14</u> 0.09±0.01
Сосняки черничные (n = 2)	<u>0.45–0.57</u> 0.51	<u>0.02–0.04</u> 0.03	<u>24.93–35.46</u> 30.20	<u>1.19–1.44</u> 1.32	<u>0.01–0.03</u> 0.02	<u>0.05–0.14</u> 0.10

\*\* n=52.

В числителе – минимальное и максимальное значения, в знаменателе –  $x \pm S_x$ .



Зависимость содержания серы (%) и тяжелых металлов ( $\text{мг кг}^{-1}$ ) в хвое ели от расстояния до источника выбросов в сфагновых типах леса.

Архангельской агломерации концентрация серы в хвое ели (табл. 2) сходна с ее содержанием в районах умеренного загрязнения Кольского п-ова (0.14–0.17%) [35] и дефолирующих лесах (молодая хвоя ели –  $1270\text{--}1821 \text{ мг кг}^{-1}$  [13]. На расстоянии 7 км от комбината “Североникель” (2002–2003 гг.) [14] общее содержание серы в одно-, двух- и трехлетней хвое выше (до 20%).

В фоновых районах среднее содержание серы в хвое ели в ельниках черничных (табл. 2) и ельниках зеленомошных [19] сходно с ее концентрацией в хвое ели в ельниках кустарничково-зеленомошных Кольского п-ова [14, 17].

Концентрация в хвое ели в ельниках черничных районов аэротехногенного загрязнения Pb в среднем больше, чем в фоновых условиях, в 3.5, Cd – в 6.7, Cu – в 2.1 и Hg – в 3 раза. Максимальные содержания Pb, Cd, Cu увеличиваются еще больше: в 8, 44 и 15 раз, соответственно. Среднее содержание Zn не увеличивается, а его максимальная концентрация в загрязненных районах превосходит фоновые показатели почти в 2 раза. В сосняках черничных в районах аэротехногенного загрязнения среднее содержание в хвое ели Pb, Zn, Cu и Hg в 1.4 раза больше, а Cd – в 1.5 раза меньше, чем в фоновых районах (табл. 2). В ельниках черничных в районах аэротехногенного загрязнения среднее содержание Pb в хвое ели больше, чем в сосняках черничных, в 2 раза, Cd – в 10 и Cu – в 1.8 раза. Концентрации Zn, Hg и S в хвое ели сравниваемых еловых и сосновых насаждений почти не отличаются (табл. 2). В еловых и сосновых насаждениях в фоновых условиях влияние типа леса (в пределах рассматриваемых насаждений) на накопление в хвое ели рассматриваемых тяжелых металлов и серы методом однофакторного дисперсионного анализа (ОДА) не доказано ( $F < F_{0.05}$ ).

В районах аэротехногенного загрязнения Архангельской агломерации содержание в одно-, двух- и трехлетней хвое ели Cu – на порядок и Pb – примерно в 2 раза (исключая наиболее загрязненные участки) меньше, а Zn – в 1.5–2 и Cd в 2–4 раза больше, чем на расстоянии 7 км от комбината “Североникель” на Кольском п-ве [14].

При аэротехногенном загрязнении и в фоновых условиях органометные горизонты почвы и хвоя ели в наибольшей степени накапливают Zn. Его содержание в несколько раз больше, чем Pb и Cu, и на два порядка больше, чем Cd и Hg. Среднее содержание Pb в органометных горизонтах на порядок выше в сравнении с одно-, трехлетней хвоей ели. Как известно [1], поглощение Pb и Cu древесными растениями, несмотря на заметное накопление в подстилке, регулируется физиолого-биохимическими механизмами. Среднее содержание Cu в органометных горизонтах выше, чем в хвое, в 2–3 раза, а Cd и Hg – больше в несколько раз и даже на порядок. Цинка накапливается в органометных горизонтах больше, чем в хвое, почти в 2 раза в сосняках черничных как в загрязненных, так и фоновых условиях, а в ельниках черничных – только в фоновых условиях. Средние концентрации Cd и Zn в органометном горизонте почвы и хвое в ельниках черничных, подверженных атмосферному загрязнению, близки.

Содержание Pb, Cd, Zn и Cu в хвое ели коррелирует с расстоянием до источников эмиссий лишь в насаждениях сфагновой группы типов леса низовья Северной Двины (рисунок). Следует отметить в этом случае положительные коэффициенты корреляции расстояния до источника эмиссий с содержанием Pb и Cu ( $r = 0.34-0.50$ ) и отрицательные – Cd и Zn ( $r = -0.37-0.48$ ,  $p < 0.001$ ). Связи концентрации тяжелых металлов в насаждениях зеленомошной группы с расстоянием до источников выбросов отсутствуют ( $p > 0.05$ ). Согласно нашим данным [33], насаждения сфагновой группы типов леса, особенно сосняки, более чувствительны к аэротехногенному загрязнению, в сравнении с насаждениями зеленомошной группы. Известно [18], что деревья, испытывающие сходный фумигационный эффект и накапливающие сопоставимое количество тяжелых металлов, но произрастающие в разных условиях обеспеченности питания, характеризуются совершенно различным состоянием. Леса, формирующиеся в автономных условиях ландшафтов, повреждаются в большей степени, чем леса, формирующиеся в условиях постоянного транзита веществ и характеризующиеся высоким обменным фондом элементов питания.

Среднее содержание в районах аэротехногенного загрязнения бассейна Северной Двины (табл. 2) Cu и Pb – в 1.7, Cd – в 1.3, Zn в 2.7 раза больше, чем их концентрация в хвое в ельниках кустарничково-зеленомошных в фоновых условиях Кольского п-ова [14]. В фоновых районах содержание в одно-, двух- и трехлетней хвое ели ельников черничных Pb – в 2, Cd – в 5, Cu – в 1.2 раза больше, а Zn – в 2.7 раза меньше в сравнении с их концентрацией в хвое ели ельников кустарничково-зеленомошных в фоновых условиях Кольского п-ова (на расстоянии 101 км от Мончегорского комбината “Североникель”) [14].

**Заключение.** В порядке увеличения среднего валового содержания в органогенных горизонтах подзолистых почв и верхнем горизонте болотных торфов в бассейне Северной Двины тяжелые металлы можно расположить следующим образом:  $Zn > Pb > Cu > Hg > Cd$  (ельники) и  $Zn > Pb > Cu > Cd > Hg$  (сосняки). В порядке возрастания концентраций в хвое ели тяжелые металлы располагаются в следующем порядке:  $Zn > Cu > Pb > Cd$  и Hg.

Среднее содержание сульфатов в органогенных горизонтах подзолистых почв в районах аэротехногенного загрязнения значительно превышает их фоновые концентрации, а в поверхностных торфяных горизонтах болотных почв их больше,

чем в органогенных горизонтах подзолистых почв. Среднее содержание микроэлементов-биофилов – Zn и Cu – в органогенных горизонтах подзолистых почв ельников черничных при аэротехногенном загрязнении значительно превосходит их фоновый уровень и гораздо больше, чем в сосняках черничных и сосняках сфагновой группы типов леса. Напротив, в хвое ели в условиях аэротехногенного загрязнения в ельниках черничного типа более резко возрастают концентрации элементов – фитотоксикантов – Pb и особенно Cd, что свидетельствует об их фолитарном поглощении.

Наблюдается тенденция увеличения валового содержания серы в хвое ели с приближением к источникам эмиссии Архангельской агломерации. В отношении содержания в хвое Pb, Cd, Zn и Cu подобная тенденция наблюдается лишь в насаждениях сфагновой группы типов леса.

В общем, можно наблюдать отсутствие четких зависимостей в пространственном распределении рассматриваемых микроэлементов в органогенных горизонтах почвы и хвое ели по отношению к ТЭЦ и ЦБК. Пространственные изменения в содержании тяжелых металлов, которые зависят от многих факторов (геохимических и метеорологических условий, рельефа и др.), нельзя объяснить влиянием лишь местных предприятий, что в определенной мере свидетельствует о поступлении загрязнений в экосистемы низовья Северной Двины за счет дальних атмосферных переносов аэрозолей из соседних регионов.

Вследствие отсутствия металлургических и горно-обогачительных предприятий уровень загрязнения воздушной среды и лесных насаждений Северо-Двинского бассейна соединениями тяжелых металлов в сравнении, например, с Кольским п-овом, значительно ниже. Несмотря на долговременное (40–60 лет) загрязнение лесных экосистем этого региона, их состояние соответствует начальным стадиям нарушенности [33].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автухович И.Е. Повышение фитоэкстракции почвенного кадмия посредством применения ЭДТА // Вестник МГУЛ–Лесной вестник. 2003. № 3. С. 133–145.
2. Ануцин Н.П. Лесная таксация. Изд. 5-е. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 552 с.
3. Безуглая Э.Ю., Расторгуева Г.П., Смирнова И.В. Чем дышит промышленный город. Л.: Гидрометеоиздат, 1991. 255 с.
4. ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического,

- бактериологического и гельминтологического анализа.
5. ГОСТ 17.4.3.01-83. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб.
  6. ГОСТ 16128-70. Площади пробные лесоустойчивые. Метод закладки.
  7. ГОСТ 26426-85. Почвы. Методы определения иона сульфата в водной вытяжке.
  8. ГОСТ 26490-85. Почвы. Определение подвижной серы по методу Центрального научно-исследовательского института агрохимического обслуживания сельского хозяйства (ЦИНАО).
  9. Дроздова В.М., Петренчук О.П., Селезнева Е.С., Свистов П.Ф. Химический состав атмосферных осадков на европейской территории СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1964. 210 с.
  10. Ежегодник выбросов загрязняющих веществ в атмосферу городов и регионов Российской Федерации (Россия), 2001. СПб.: Гидрометеиздат, 2002. 296 с.
  11. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва – растения. Новосибирск: Наука, 1991. 151 с.
  12. Кабата – Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.
  13. Кислотные осадки и лесные почвы / Под ред. Никонова В.В., Копчик Г.Н. Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 1999. 320 с.
  14. Копчик Г.Н., Лукина Н.В., Копчик С.В., Щербенко Т.А., Ливанцова С.Ю. Поглощение макроэлементов и тяжелых металлов елью при атмосферном загрязнении на Кольском полуострове // Лесоведение. 2008. № 2. С. 3–12.
  15. Лобанова О.А., Надеин А.Ф., Тарханов С.Н., Кочерина Е.В. Химический состав осадков и снежного покрова как показатель аэротехногенного загрязнения окружающей среды Архангельской агломерации // Север: экология. Сб. науч. тр. Екатеринбург: ИЭПС УрО РАН, 2000. С. 40–54.
  16. Лукина Н.В., Никонов В.В. Поглощение аэротехногенных загрязнителей растениями сосняков на северо-западе Кольского полуострова // Лесоведение. 1993. № 6. С. 34–41.
  17. Лукина Н.В., Никонов В.В., Калацкая М.Н. Химический состав хвой ели на Кольском полуострове // Лесоведение. 2000. № 3. С. 56–64.
  18. Лукина Н.В., Сухарева Т.А., Исаева Л.Г. Техногенные дигрессии и восстановительные сукцессии в северотаежных лесах. М.: Наука, 2005. 245 с.
  19. Марченко А.И., Карлов Е.М. Минеральный обмен в еловых лесах северной тайги и лесотундры Архангельской области // Почвоведение. 1962. № 7. С. 52–66.
  20. Методика выполнения измерений массовой доли кислоторастворимых форм металлов (меди, свинца, цинка, кадмия) в пробах почвы атомно-адсорбционным анализом. Общесоюзный классификатор. Стандарты и технические условия. ОКСТУ 0017. РД 52.18.191-89. М.: Гос. комитет по гидрометеорологии, 1990. 33 с.
  21. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами. М.: Гидрометеиздат, 1981. 108 с.
  22. Методические рекомендации по спектральному определению тяжелых металлов в биологических материалах и объектах окружающей среды. М.: Госкомгидромет СССР, 1986. 51 с.
  23. Методические указания по обнаружению и определению общей ртути в пищевых продуктах методом беспламенной атомной адсорбции. М.: Центральный научно-исследовательский институт агрохимического обслуживания сельского хозяйства (ЦИНАО), 1990. 11 с.
  24. Методические указания по определению тяжелых металлов в кормах и растениях и их подвижных соединений в почвах. М.: Центральный научно-исследовательский институт агрохимического обслуживания сельского хозяйства (ЦИНАО), 1993. 40 с.
  25. Методические указания по турбидиметрическому определению серы в растениях. М.: Центральный научно-исследовательский институт агрохимического обслуживания сельского хозяйства (ЦИНАО), 1986. 9 с.
  26. Надеин А.Ф., Тарханов С.Н., Лобанова О.А. Биогеохимическая оценка уровня аэротехногенного загрязнения района Архангельска // Север: экология. Сб. науч. тр. Екатеринбург: ИЭПС УрО РАН, 2000. С. 54–64.
  27. Непламенный атомно-адсорбционный метод определения ртути в почвах (метод холодного пара). Одесса: Изд-во АН Украины, 1991. 8 с.
  28. Полевая геоботаника. М.; Л.: Наука, 1964. Т. 3. 531 с.
  29. Прокачева В.Г., Усачев В.Ф., Чмутова И.П. Зоны хронического загрязнения вокруг городских поселений и вдоль дорог по республикам, краям и областям Российской Федерации. СПб.: Гос. гидроин-т, 1992. 187 с.
  30. Прокачева В.Г., Чмутова И.П., Абакуменко В.П., Усачев В.Ф. Зоны загрязнения снежного покрова вокруг городов на территории СССР. Л.: Гос. гидроин-т, 1988. 125 с.
  31. Смит У.Х. Лес и атмосфера. М.: Прогресс, 1985. 430 с.
  32. Сукачев В.Н., Зонн С.В. Методические указания к изучению типов леса. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 144 с.
  33. Тарханов С.Н., Прожерина Н.А., Коновалов В.Н. Лесные экосистемы бассейна Северной Двины в условиях атмосферного загрязнения: диагностика состояния. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2004. 333 с.

34. Федорова Е.В., Одинцова Г.Я. Биоаккумуляция металлов растительностью в пределах малого аэротехногенного загрязнения водосбора // Экология. 2005. № 1. С. 26–31.
35. Черненко Т.В. Закономерности аккумуляции тяжелых металлов сосной обыкновенной в фоновых и техногенных местообитаниях // Лесоведение. 2004. № 2. С. 25–35.
36. Черненко Т.В., Бочарников В.Н. Комплексная оценка и организация данных в системе биомониторинга лесных территорий // Лесоведение. 2003. № 1. С. 37–47.
37. Юдахин Ф.Н., Лобанова О.А., Тарханов С.Н. Аэротехногенное загрязнение окружающей среды Архангельской агломерации и прилегающих к ней территорий // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2001. № 4. С. 369–375.
38. Ярмишко В.Т. Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на Европейском Севере. СПб.: НИИ химии СПбГУ, 1997. 210 с.
39. Helmisaari I.S. Spatial and age-related variation in nutrient concentrations of *Pinus sylvestris* needles // *Silva Fennica*. 1992. V. 26. N 3. P. 145–153.

## **The Content of Sulfur and Heavy Metals in Soils and Needles of Coniferous Stands under Aerotechnogenic Pollution in the Severnaya Dvina River Basin**

**S. N. Tarkhanov**

The sulfur and heavy metal (Zn, Cu, Cd, Pb, and Hg) contents were determined in the soil organic horizons and 1-, 2-, and 3-year-old needles of coniferous stands exposed to aerotechnogenic pollution in the Severnaya Dvina River basin. A trend of the more intense sulfur accumulation in spruce needles going toward thermal power stations and paper mills is observed. However, no distinct relations between the heavy metal contents in the organic soil horizons and spruce needles and the distance from the local pollution sources were revealed.