

УДК 630\*581.192:630\*425:631.811

**Т.А. Сухарева**

Институт проблем промышленной экологии Севера КарНЦ РАН

Сухарева Татьяна Алексеевна окончила в 2000 г. Петрозаводский государственный университет, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории наземных экосистем Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН. Имеет около 50 печатных работ в области лесной экологии и биогеохимии.

E-mail: sukhareva@inep.kcs.ru

### **ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ХВОЙНЫХ ДЕРЕВЬЕВ И ПОЧВЫ В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ\***

Рассмотрен микроэлементный состав листьев хвойных деревьев и почвы североазиатских лесов после снижения выбросов самого мощного в Северной Европе источника атмосферного загрязнения – медно-никелевого комбината «Североникель» (г. Мончегорск). Долговременное аэротехногенное воздействие привело к изменению минерального состава растений и почвы в радиусе 100 км от источника выбросов. В дефолирующих лесах и техногенных редколесьях обнаружено возрастание концентрации Ni, Cu, Fe и снижение Mn, Zn в хвое и органическом горизонте Al-Fe-гумусовых подзолов, являющемся основным источником питания для растений. На основе данных мониторинга двух периодов наблюдений (1992 и 2007 гг.) выявлено снижение концентрации тяжелых металлов (Cu, Ni, Fe) в хвое ели сибирской и сосны обыкновенной в условиях различного уровня воздушного загрязнения. Наиболее очевидные изменения химического состава наблюдаются в сосновых и еловых редколесьях, где наиболее высоки уровни техногенной нагрузки на растительные сообщества. На фоне снижения концентрации основных поллютантов оптимизации минерального питания доминирующих растений бореальных лесов не отмечено. Негативные изменения в микроэлементном составе, произошедшие за многолетний период, связаны с обеднением хвои Mn и Zn, особенно ярко проявляющееся у ели. В почве сохраняются высокие концентрации загрязняющих веществ, препятствующие оптимизации питательного режима лесных биогеоценозов. Почва елового редколесья обедняется Mn и Zn, что является одной из причин снижения их содержания в хвое ели. В качестве информативных биоиндикаторов атмосферного загрязнения лесных экосистем целесообразно использовать хвойные деревья, ассимилирующие органы которых весьма чутко реагируют на изменения условий произрастания.

*Ключевые слова:* хвоя, почва, микроэлементы, загрязнение, медно-никелевое производство.

---

\* Работа выполнена при поддержке программы РАН «Биологическое разнообразие».

© Сухарева Т.А., 2013

*Введение*

Изучению влияния металлургических предприятий на состояние лесных биогеоценозов посвящено большое количество работ, но они касаются, главным образом, пространственного изменения различных показателей. При длительном воздействии техногенных факторов особую актуальность приобретает изучение многолетней динамики растительных сообществ. Важным направлением мониторинга лесных биогеоценозов, подвергающихся действию промышленных поллютантов, является оценка минерального питания эдификаторных видов.

Ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.) и сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), произрастающие на северном пределе распространения (Кольский п-ов) являются основными лесообразователями северотаежных лесов. Известно, что хвойные деревья более чувствительны к воздушному загрязнению, чем лиственные, поскольку последние ежегодно обновляют листву, таким образом избавляясь от токсичных соединений [1, 6]. Хвойные испытывают сильное угнетение и погибают вследствие сокращения продолжительности жизни хвои под воздействием накапливающихся в течение нескольких лет токсикантов [18].

Металлургический комбинат «Североникель» функционирует с 1938 г. и является основным источником атмосферного загрязнения региона тяжелыми металлами и диоксидом серы. С 1991 г. началось снижение объемов выбросов, и за два десятилетия количество поступающих в атмосферу загрязняющих веществ значительно сократилось. Оценка состояния лесных фитоценозов на основе параметров минерального питания позволяет проследить ответную реакцию компонентов лесных биогеоценозов на снижение антропогенной нагрузки. Цель работы – анализ пространственно-временной динамики микроэлементного состава хвои и органогенного горизонта почвы северотаежных лесов Мурманской области в условиях воздушного загрязнения при меняющемся уровне выбросов и значительном сокращении поступления загрязняющих веществ в атмосферу в период исследования.

*Материалы и методы исследований*

Исследования проводили на стационарных пробных площадях, представляющих основные стадии дигрессионной сукцессии еловых и сосновых лесов Кольского полуострова в окрестностях медно-никелевого комбината «Североникель». Фоновые объекты представлены ельником кустарничково-зеленомошным и сосняком кустарничково-лишайниковым. Леса, подверженные воздушному загрязнению, представлены дефолирующими лесами и техногенными редколесьями. Детальное описание площадок приведено в ранее опубликованной работе [8]. По градиенту промышленного загрязнения обследованы 9 постоянных пробных площадок в еловых (7, 28, 31, 100, 260 км от комбината) и сосновых (8, 31, 48 и 270 км от комбината) лесах. Материалы для данного исследования (хвоя и почва) собраны в августе 1992 и 2007 гг. За исследуемый период ежегодные выбросы никеля снизились от 2,118 до

0,546, меди – от 1,457 до 0,622, диоксида серы – от 189,900 до 35,900 тыс. т [2]. Почвенные и растительные образцы отбирали в 5–10-кратной повторности: хвою ели и сосны – из верхней трети кроны, почвенные образцы – в межкрупных пространствах. Изучены доступные для растений соединения элементов в органогенном горизонте Al-Fe-подзолистых почв. Почвенные образцы экстрагировали 1 М  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  (рН 4,65). Использовали соотношение почвы и вытеснителя 1:25. Растительные образцы подвергали мокрому озолению концентрированной  $\text{HNO}_3$ . Содержание металлов (Fe, Mn, Zn, Cu, Ni) в хвое и почве определяли методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии на приборе ААС-360. Статистическую обработку данных проводили с использованием пакетов программ Microsoft Excel 6.0.

#### *Результаты и обсуждение*

*Хвойные деревья.* Микроэлементы, хотя и потребляются растениями в небольших количествах, играют важную роль в функционировании организма. В.Б. Ильин [4] указывает на участие этих элементов в различных окислительно-восстановительных реакциях. Как микро-, так и макроэлементы необходимы для нормальной жизнедеятельности растений, но при избыточном поступлении они становятся опасными загрязнителями, оказывающими токсический эффект. Долговременная антропогенная нагрузка на лесные биогеоценозы в зоне влияния комбината «Североникель» привела к изменению природных условий минерального питания растений и, следовательно, их химического состава. Результаты исследований содержания микроэлементов в однолетней хвое ели и сосны представлены в табл. 1.

Динамика содержания изучаемых металлов в ассимилирующих органах сосны и ели в процессе техногенной дигрессии лесов характеризуется сходными закономерностями. Концентрация Ni, Cu, Fe в хвое возрастает по мере приближения к источнику загрязнения. Максимальное содержание перечисленных элементов, превышающее фоновые значения в 60–200 раз отмечено в хвое ели и сосны техногенных редколесий. Превышение фоновых концентраций никеля в 5–6 раз регистрируется в ельнике кустарничково-зеленомошном, расположенном на расстоянии 100 км от комбината. Выбросы в атмосферу полиметаллической пыли плавильных цехов металлургических комбинатов являются главным источником повышенных концентраций Ni, Cu и Fe в хвое. Аккумуляция тяжелых металлов в ассимилирующих органах обусловлена как корневым поглощением из почвы, так и осаждением на поверхность растений из атмосферы. Концентрация Mn и Zn в хвое постепенно снижается в процессе дигрессионной сукцессии. Минимальное количество данных элементов отмечено в фотосинтезирующих органах техногенных редколесий. Хвоя ели наиболее заметно обеднена Mn и Zn, концентрации которых ниже фоновых значений в 2–6 и 10–70 раз соответственно. В техногенном редколесье уровень содержания Mn и Zn в хвое ели диагностируется как дефицитный ( $\text{Zn} < 13 \text{ мг/кг}$  [19];  $\text{Mn} < 200 \text{ мг/кг}$  [21]). В условиях воздушного

Таблица 1

Динамика содержания микроэлементов (мг/кг) в однолетней хвое ели сибирской и сосны обыкновенной в фитоценозах различного уровня атмосферного загрязнения

Год отбора	Ель сибирская										Сосна обыкновенная							
	Ф					Д					Р				Д			
	Тип состояния фитоценоза и расстояние от источника загрязнения, км					Р					Ф				Д			
	260		100		31		28		7		270		48		31		8	
1992	2, 2±0, 4	12, 8±4, 6	30, 4±4, 5	35, 1±2, 0	246, 3±31, 5	2, 2±0, 4	13, 0±0, 9	55, 1±3, 3	160, 3±10, 2									
2007	1, 9±0, 1	9, 3±0, 5	25, 4±2, 0	33, 4±2, 4	107, 9±4, 6	2, 4±0, 3	7, 7±1, 7	30, 3±1, 0	145, 3±15, 3									
1992	2, 1±0, 1	2, 2±0, 2	12, 5±1, 4	18, 5±0, 8	154, 4±15, 1	2, 7±0, 4	12, 9±0, 7	31, 9±2, 9	97, 5±6, 8									
2007	1, 8±0, 4	2, 1±0, 3	4, 1±0, 6	6, 4±0, 6	19, 8±1, 1	2, 1±0, 5	7, 8±1, 1	13, 9±0, 7	47, 2±5, 7									
1992	32, 1±3, 7	38, 7±4, 5	120, 1±7, 8	44, 9±3, 7	143, 3±13, 7	47, 1±1, 7	62, 8±3, 6	99, 1±6, 6	133, 9±8, 6									
2007	33, 0±1, 7	46, 4±0, 7	32, 8±3, 1	40, 0±2, 4	55, 5±3, 0	46, 2±1, 8	65, 0±7, 5	39, 3±5, 9	91, 2±7, 6									
1992	48, 6±9, 0	49, 8±4, 3	44, 1±4, 3	37, 4±3, 5	22, 1±1, 2	41, 8±3, 0	37, 2±3, 4	25, 7±1, 1	20, 7±3, 0									
2007	58, 8±6, 0	52, 8±2, 2	41, 6±7, 2	28, 4±8, 7	10, 4±0, 8	41, 9±6, 0	33, 1±5, 7	25, 3±3, 7	18, 9±1, 4									
1992	1078, 0±207, 0	970, 0±90, 0	1159, 0±80, 0	903, 0±101, 0	76, 0±14, 0	728, 0±183, 0	728, 0±49, 0	693, 0±94, 0	550, 0±54, 0									
2007	1870, 0±226, 0	1323, 0±173, 0	790, 0±110, 0	1031, 0±148, 0	26, 0±9, 0	820, 0±188, 0	624, 0±44, 0	860, 0±134, 0	422, 0±69, 0									

Примечание. Здесь и далее, в табл. 2, Ф – фон, Д – дефолирующие леса, Р – техногенные редколесья.

промышленного загрязнения почвы могут обедняться Mn и Zn в результате реакций замещения в почвенном поглощающем комплексе катионов данных элементов протонами и катионами тяжелых металлов, входящих в состав выбросов [9, 20]. Другой причиной обеднения хвои Mn и Zn является выщелачивание катионов металлов из листьев кислыми осадками.

Аэротехногенное загрязнение оказывает негативное влияние не только на параметры минерального питания, но и на морфологические показатели фотосинтезирующего аппарата растений. На загрязненных территориях сокращается продолжительность жизни хвои, уменьшается длина и масса ассимилирующих органов и побегов, значительно повышается степень поврежденности хвои [8, 9–16]. Наиболее показательным критерием оценки жизненного состояния хвойных деревьев является продолжительность жизни их ассимилирующих органов. Информативность данного критерия определяется большой продолжительностью функционирования хвои сосны и ели на севере [16]. На наших объектах также выявлено снижение продолжительности жизни хвои. Так, в фоновых условиях Кольского п-ва хвоя сосны на деревьях сохраняется 5...6, редко 7 лет, ели – 8...11, иногда 12...13 лет. В дефолирующих лесах продолжительность жизни хвои сосны сокращается до 4...5 лет, ели – до 7...8 лет, за исключением стадии начальной дефолиации (100 км от комбината), на которой данный показатель достигает значений, свойственных ассимилирующим органам в фоновых условиях. В техногенном редколесье хвоя сосны сохраняется 3...4 года, ели – 4...6 лет.

Снижение объемов выбросов загрязняющих веществ за 1992–2007 гг. обусловило уменьшение содержания основных элементов-загрязнителей в фотосинтезирующем аппарате хвойных деревьев. В дефолирующих лесах снизилась концентрация Cu в хвое, а Ni изменилась незначительно и в некоторых случаях осталась сопоставимой к уровню 1992 г. В техногенных редколесьях также произошло снижение содержания тяжелых металлов: в хвое ели концентрация Cu сократилась в 50 раз, Ni – в 16 раз, в хвое сосны – соответственно в 2,4 и 1,7 раза. Корреляционный анализ выявил положительную связь между снижением уровня тяжелых металлов и уменьшением Ni и Cu в хвое. Наиболее высокие значения коэффициентов корреляции выявлены в хвое ели ( $Ni - r = 0,894$ ;  $Cu - r = 0,887$ ;  $p < 0,01$ ;  $n = 14$ ) и сосны ( $Cu - r = 0,691$ ;  $p < 0,01$ ;  $n = 20$ ) техногенных редколесий. За период исследования 1992–2007 гг. в дефолирующих лесах (31 км от комбината) и техногенных редколесьях обнаружено снижение содержания Fe в хвое ели и сосны в 2–4 раза, что также обусловлено сокращением выбросов комбинатом «Североникель», так как данный элемент входит в их состав. Следует отметить и негативные изменения в микроэлементном составе, произошедшие за многолетний период наблюдений и связанные с обеднением хвои Mn и Zn. Особенно ярко это проявилось у ели. Выявлено двукратное снижение Zn в еловой хвое техногенных редколесий, что стало соответствовать дефицитному уровню. Еще более значительно (в 3 раза) в хвое ели снизилась концентрация Mn.

*Почвы.* Доступность химических элементов в почве является одним из важных факторов минерального питания растений. Поэтому для оценки поступления металлов из почвы в растения большое значение приобретают не столько валовые, сколько их доступные формы. В органогенном горизонте фоновых ельников кустарничково-зеленомошных концентрация Mn варьирует от 16 до 547, Zn – от 14 до 43, Fe – от 5 до 30, сосняков кустарничково-лишайниковых: Mn – от 25 до 69, Zn – от 7 до 33; Fe – от 2 до 17 мг/кг. Фоновое содержание Ni и Cu в органогенных горизонтах почвы изменяется в достаточно узких пределах: 0,3...1,4 и 0,1...0,6 мг/кг соответственно. В процессе техногенной дигрессии лесов микроэлементный состав органогенных горизонтов почвы, являющихся основными источниками минерального питания растений, трансформируется.

Под воздействием атмосферного загрязнения концентрация Ni, Cu и Fe многократно возрастает по сравнению с фоном (табл. 2). Превышение региональных фоновых значений регистрируется в радиусе 100 км от комбината. На всех изучаемых объектах установленные в настоящее время ориентировочно-допустимые количества (ОДК) подвижных форм тяжелых металлов в почве (Ni – 4, Cu – 3 мг/кг), экстрагируемых ацетатно-аммонийным буферным раствором (рН 4,8), превышены [7]. В техногенных редколесьях органогенный горизонт почвы обедняется Mn и Zn, что обусловлено их замещением в почвенном поглощающем комплексе ионами водорода и алюминия и выносом из органогенного горизонта в результате интенсификации потока кислотообразующих веществ из атмосферы [10].

Сравнительная оценка микроэлементного состава, выполненная на основе данных двух периодов исследований, выявила, что, несмотря на снижение объемов выбросов, в почве сохраняются высокие концентрации элементов-загрязнителей. В большинстве случаев их содержание остается либо сопоставимым с уровнем 1992 г., либо даже возрастает. И только в почве еловых дефолирующих лесов и редколесий, содержание Ni достоверно снижается. Одновременно в техногенном еловом редколесье существенно возрастает содержание Cu. Известно, что миграция Cu по профилю кислых лесных почв происходит в основном совместно с водорастворимыми органическими веществами. Поэтому при определенных кислотных нагрузках может наблюдаться не увеличение, а уменьшение подвижности и накопление Cu в верхней части профиля [5]. В сосновом редколесье отмечено возрастание Ni, тогда как концентрация Cu в почве сопоставима в 1992 и 2007 гг. Следует отметить значительное снижение содержания Zn и Mn в еловом редколесье, за исследуемый период этот показатель снизился в 1,9 и 6,5 раза соответственно. Обеднение органогенного горизонта почвы Mn и Zn является одной из причин снижения их содержания в хвое ели.

В рамках данного исследования хотелось бы остановиться на проблеме, которая широко обсуждается в научной среде: каков приоритетный фактор, определяющий состояние и функционирование растений – атмосферное или



корневое поступление тяжелых металлов? Традиционное представление связано с преимущественным поступлением элементов через корневую систему. Однако существует мнение, что в принципе возможно осаждение пылевых металлосодержащих частиц на листовую пластинку с последующей ионизацией металла под воздействием листовых выделений или атмосферной влаги и поглощением ионов через устьица [3]. Результаты проведенных лабораторных экспериментов по изучению путей поступления металлов в растения также демонстрируют преобладающую роль сорбционного поглощения металлов листовой поверхностью [17]. Исследования корневого и фоллиарного поглощения Cu сеянцами березы показали, что 90 % общего содержания Cu в листьях обусловлено поглощением через устьица [22]. В полевом эксперименте по выращиванию всходов *Pinus sylvestris* L. на загрязненной тяжелыми металлами почве в условиях чистой и загрязненной атмосферы было показано, что в надземную часть всходов лишь 8...18 % от абс. содержания Ni и Cu поступает за счет корневого поглощения из почвы, а 82...92 % – из воздуха [9]. Рассмотренная нами многолетняя динамика содержания тяжелых металлов также указывает на огромное значение фоллиарного поглощения загрязнителей, особенно вблизи локальных источников загрязнения. В растениях выявлено достоверное снижение уровня накопления поллютантов на фоне сокращения объема выбросов загрязняющих веществ. Корреляционный анализ также подтверждает наличие значимой связи между содержанием Ni и Cu в хвое и объемами их выбросов за период наблюдений. Одновременно в органогенном горизонте почвы сохраняется высокое содержание загрязняющих веществ (Ni, Cu, Fe).

#### Заключение

Долговременное аэротехногенное воздействие комбината «Североникель» привело к изменению минерального состава растений и почвы в радиусе 100 км от источника выбросов. В дефолирующих лесах и техногенных редколесьях обнаружено возрастание концентрации Ni, Cu, Fe и снижение Mn, Zn в хвое и органогенном горизонте Al-Fe-гумусовых подзолов, являющимся основным источником питания для растений. На основе данных мониторинга (1992 и 2007 гг.) питательного режима бореальных лесов Мурманской области в условиях атмосферного загрязнения обнаружено снижение концентрации основных элементов-загрязнителей (Ni, Cu, Fe) в хвое, особенно в техногенных редколесьях. Но ассимилирующие органы хвойных деревьев продолжают обедняться необходимыми элементами питания, в том числе микроэлементами (Mn, Zn). Снижение количества выбросов загрязняющих веществ в течение последних двух десятилетий не вызвало существенных положительных изменений в микроэлементном составе органогенного горизонта почвы. В почве сохраняются высокие концентрации загрязняющих веществ и продолжают процессы их накопления, препятствующие оптимизации питательного режима лесных биогеоценозов. В качестве информативных биоин-

дикаторов атмосферного загрязнения лесных экосистем целесообразно использовать хвойные деревья, ассимилирующие органы которых весьма чутко реагируют на изменения условий произрастания.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дончева А.В.* Ландшафт в зоне воздействия промышленности. М.: Лесн. пром-сть, 1978. 96 с.
2. Ежегодник Кольской ГМК. 2007. № 5. 87 с.
3. *Елпатьевский И.В., Аржанова В.С., Власов А.В.* Взаимодействие растительности с потоком металлоносных аэрозолей // Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах. Л., 1985. С. 97–100.
4. *Ильин В.Б.* Элементный химический состав растений. М.: Наука, 1985. 129 с.
5. Кислотные осадки и лесные почвы / Под ред. В.В. Никонова и Г.Н. Копщик. Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 1999. 320 с.
6. Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение / Под ред. В.А. Алексева. Л.: Наука, 1990. 200 с.
7. *Лозановская И.Н., Орлов Д.С., Садовникова Л.К.* Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. М., 1998. 287 с.
8. *Лукина Н.В., Никонов В.В.* Питательный режим лесов северной тайги: природные и техногенные аспекты. Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 1998. 316 с.
9. *Лукина Н.В., Сухарева Т.А., Исаева Л.Г.* Техногенные дигрессии и восстановительные сукцессии в северотаежных лесах / Отв. ред. А.С. Исаев. М.: Наука, 2005. 245 с.
10. *Лянгузова И.В.* Тяжелые металлы в системе почва–растение: подвижность, поступление и распределение // Проблемы экологии растительных сообществ Севера. СПб.: ООО ВВМ, 2005. С. 175–189.
11. *Михайлова Т.А., Бережная Н.С., Игнатьева О.В.* Элементный состав хвои и морфофизиологические параметры сосны обыкновенной в условиях техногенного загрязнения / Отв. ред. А.С. Плешанов. Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2006. 134 с.
12. Морфофизиологическая реакция деревьев сосны обыкновенной на промышленное загрязнение / Т.А. Сазонова [и др.] // Лесоведение. 2005. № 3. С. 11–19.
13. *Робакидзе Е.А., Торлопова Н.В., Бобкова К.С.* Состояние древесных растений еловых фитоценозов в зоне аэротехногенного действия целлюлозно-бумажного производства // Лесн. журн. 2010. № 2. С. 47–56. (Изв. высш. учеб. заведений).
14. *Сухарева Т.А., Лукина Н.В.* Химический состав и морфометрические характеристики хвои ели сибирской на Кольском полуострове в процессе деградационной сукцессии лесов // Лесоведение. 2004. № 2. С. 36–43.
15. *Тарханов С.Н., Прожерина Н.А., Коновалов В.Н.* Лесные экосистемы бассейна Северной Двины в условиях атмосферного загрязнения: диагностика состояния / Под ред. В.Ф. Цветкова. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 333 с.
16. *Цветков В.Ф.* Состояние лесов, подверженных влиянию воздушных выбросов Мурманской области и проблемы их сохранения / Экологические исследования в лесах Европейского Севера. Архангельск: Изд-во АГТУ, 1991. С. 125–136.
17. *Черненко Т.В.* Закономерности аккумуляции тяжелых металлов сосной обыкновенной в фоновых и техногенных местообитаниях // Лесоведение. 2004. № 2. С. 25–35.

18. *Ярмишко В.Т.* Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на Европейском Севере. СПб.: НИИ химии СПбГУ, 1997. 210 с.

19. *Huettl R.F.* Mg deficiency – a “new” phenomenon in declining forests – symptoms and effects, causes, recuperation // *Forest Decline in the Atlantic and Pacific Region* / Huettl and Mueller. Dombois (Eds.). Springer-Verlag. Berlin Heidelberg, 1993. P. 97–114.

20. A gradient study of 34 elements in the vicinity of a copper-nickel smelter in the Kola Peninsula / E. Steinnes [et al.] // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2000. Vol. 60. P. 71–88.

21. *Knabe W.* Merkblatt zur Entnahme von Blatt- und Nadelproben für chemische Analysen // *Allgemeine Forstzeitschrift*. 1986. Vol. 33/34. S. 847–848.

22. *Kozlov M.V.* Environmental contamination in the central part of Kola Peninsula – history, documentation and perception // *Ambio*. 2000. Vol. 29. P. 512–517.

Поступила 10.03.11

*T.A. Sukhareva*

Institute of North Industrial Ecology Problems, Kola Science Centre, Russian Academy of Sciences

#### **Spatio-Temporal Dynamics of Microelement Composition of Conifers and Soils Under Industrial Pollution**

The paper considers microelement composition of conifer leaves and soils of northern taiga forests after the most powerful source of air pollution in Northern Europe – copper and nickel “Severonickel Combine” (Monchegorsk) – reduced its emissions. Long-term anthropogenic impact on the air changed the mineral composition of plants and soil within a radius of 100 km from the emission source. Defoliating forests and woodlands showed increased concentrations of Ni, Cu and Fe and low values of Mn and Zn in the needles and organic horizon of Al-Fe-humus podzols, which is the key nutrient for plants. Based on the monitoring data of two observation periods (1992 and 2007) we detected a reduction in the concentration of heavy metals (Cu, Ni, Fe) in the needles of Siberian spruce and Scots pine at various levels of air pollution. The most obvious changes are observed in the chemical composition of pine and spruce woodlands, which have the highest levels of anthropogenic impact on plant communities. Lower concentration of major pollutants did not contribute to optimization of mineral nutrition of dominant plant species in boreal forests. Negative changes in microelement composition, which occurred over many years, are associated with manganese and zinc impoverishment of the needles, which is especially pronounced in spruce. The soil maintains high concentrations of contaminants preventing optimization of the nutrient regime of forest ecosystems. The soil of spruce woodlands is depleted of manganese and zinc, which is one of the reasons for their content decline in spruce needles. Conifers, with their assimilative organs being highly sensitive to changes in growth conditions, can with advantage be used as informative bioindicators of air pollution in forest ecosystems.

*Keywords:* needles, soil, microelements, pollution, copper and nickel production.