

## СЕВЕРОТАЕЖНЫЕ ЛЕСА В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Л.Г. Исаева

*Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН,  
184209, Апатиты, Мурманская область, ул. Ферсмана, 14а  
isaeva@inep.ksc.ru*

Леса Севера представляют значительную часть лесного фонда России. Выбор территории Кольского полуострова для проведения исследования биогеохимических циклов минеральных элементов в лесах Севера определяется представленностью основных типов лесных биогеоценозов, свойственных Субарктике, и продолжительным действием промышленного воздушного загрязнения. Основными источниками загрязнений являются комбинаты медно-никелевого комплекса, преобладающими компонентами выбросов которых являются кислотообразующие агенты (соединения серы) и тяжелые металлы.

Вокруг медно-никелевых комбинатов — основных загрязнителей природной среды на Севере России — идентифицируются 4 основных стадии дигрессионной сукцессии лесных экосистем: фоновые леса → дефолирующие леса (стадии начальной, интенсивной и затухающей дефолиации) → техногенные редколесья → техногенные пустоши (Лукина, Никонов, 1998).

Объектами исследований послужили сосняки кустарничково-лишайниковые и ельники кустарничково-зеленомошные, произрастающие на подзолах в автономных позициях ландшафта — наиболее распространенные в Мурманской области.

**Кислотность почв.** Исследованиями выявлены закономерности формирования кислотности почв северотаежных лесов (на примере подзолов) в процессе дигрессионной техногенной сукцессии биогеоценозов.

Изменения кислотности твердых и жидких фаз Al-Fe-гумусовых подзолов в процессе техногенной сукцессии северо-таежных лесов, вызванной воздушным промышленным загрязнением медно-никелевого производства, носят зачастую нелинейный по отношению к количеству кислотообразующих веществ, выпадающих из атмосферы, характер. Это обусловлено формированием веществ кислой природы в БГЦ, т.е. аутогенным кислотообразованием, наиболее ярко выраженным на стадии интенсивной дефолиации, тогда как в техногенных редколесьях, формирующихся вблизи источников выбросов, этот процесс слабо выражен. Деревесные парцеллы характеризуются более глубокими изменениями в кислотности органогенных горизонтов почв. В межкрупных парцеллах

изменения происходят медленнее благодаря формированию относительно устойчивого к загрязнению напочвенного покрова из кустарничков и менее интенсивному, чем под кронами, потоку загрязняющих, в том числе и подкисляющих, веществ. Различная реакция почв двух доминирующих в северо-таёжных лесах типов парцелл на загрязнение приводит к изменению парцеллярных различий в свойствах почв и почвенных вод:

а) в условиях загрязнения более кислыми становятся органогенные горизонты и почвенные воды древесных парцелл;

б) на стадиях техногенной сукцессии достоверные парцеллярные различия в кислотности минеральных горизонтов зачастую не выражены.

Актуальная кислотность органогенных горизонтов почв древесных парцелл на стадии интенсивной и, особенно, затухающей дефолиации достоверно возрастает, а на стадии техногенного редколесья вновь снижается до фоновых значений. Возрастание кислотности в дефолирующих лесах обусловлено увеличением содержания фульвокислот, что можно объяснить увеличением количества свежего опада и гидролизом аккумулятивных форм гумуса при каталитическом действии минеральных кислот, количество которых возрастает при аэротехногенном загрязнении. На стадии техногенного редколесья, где количество свежих растительных остатков под кроной снижается, а сформировавшиеся на предыдущих стадиях трансформации фульвокислоты вынесены за пределы профиля, происходит снижение актуальной кислотности, несмотря на значительно количество выпадающих из атмосферы кислотообразующих веществ. Актуальная кислотность органогенных горизонтов межкрупных парцелл увеличивается на стадии интенсивной дефолиации и на всех следующих стадиях техногенной сукцессии достоверно не изменяется.

Обменная кислотность органогенных горизонтов обеих парцелл достоверно возрастает на стадии затухающей дефолиации и далее не изменяется. Увеличение обменной кислотности обусловлено как обменным алюминием, так и водородом. Необменная кислотность органогенных горизонтов последовательно снижается на всех стадиях сукцессии, что свидетельствует о снижении роли слабых кислот в формировании кислотности органогенных горизонтов почв.

На стадии интенсивной дефолиации кислотность подстилочных вод увеличивается за счет сильных и слабых кислот, а также фенольных соединений. Концентрации органического вещества достигают максимальных значений, что свидетельствует о возрастании его миграционной способности. Увеличение доли свободных фульвокислот по отношению к их солям в подстилочных водах еловых парцелл может быть связано с активным гидролизом аккумулятивных форм гумуса под действием кислых осадков, а также с интенсификацией формирования грубого гумуса в ре-

зультате увеличения количества опада. Происходит также резкое возрастание концентраций основных катионов, сульфатов, хлоридов, что свидетельствует об активных обменных процессах в органогенных горизонтах почв. На последующих стадиях в подстилочных водах еловых парцелл происходит снижение концентраций углерода и основных катионов, что обусловлено произошедшим уже обеднением органогенных горизонтов подвижными органическими соединениями и основаниями. По сравнению с предыдущей стадией (интенсивной дефолиации) концентрация сильных кислот, особенно в весенний период, здесь существенно ниже, несмотря на значительно более интенсивный поток кислотообразующих веществ из атмосферы, что объясняется снижением концентрации органических кислот в органогенных горизонтах почв.

В минеральном профиле наиболее ярко выраженные изменения кислотности обнаруживаются в иллювиальных горизонтах древесных парцелл. Содержание обменного алюминия и обменная кислотность достигают минимальных значений на стадии интенсивной дефолиации. Фульвокислоты, поступающие с подстилочными водами, способствует активному выносу подвижного алюминия. При этом снижается и актуальная кислотность. На последующих стадиях содержание обменного алюминия возрастает благодаря миграции из верхних горизонтов и мобилизации соединений алюминия *in situ*, но остается достоверно ниже фоновых значений. При этом возрастает и актуальная кислотность иллювиальных горизонтов почв.

В процессе техногенной сукцессии выражены тенденции увеличения кислотности вод из всего почвенного профиля и возрастания концентраций в них органического вещества. Происходит интенсивный вынос соединений алюминия и железа с органическим веществом, а также основных катионов и анионов минеральных кислот.

В органогенных горизонтах техногенных пустошей, лишенных растительности, наблюдается тенденция увеличения актуальной кислотности и достоверное снижение гидролитической и обменной кислотности, содержания обменного водорода и алюминия по сравнению с фоном, что обусловлено снижением содержания органического вещества. Актуальная и гидролитическая кислотность почв техногенных пустошей, лишенных органогенного горизонта, достоверно возрастает по сравнению с фоном.

**Питательный режим почв.** РАСПРЕДЕЛЕНИЕ доступных соединений элементов в подзолистых почвах бореальных лесов характеризуется ярко выраженной пространственной вертикальной (профильной) и горизонтальной (парцеллярной), а также временной (сезонной) изменчивостью (Лукина, Никонов, 1998). В лесах на северном пределе распространения органогенный горизонт является основным источником питания расте-

ний. Преобладающими среди доступных соединений элементов в этих горизонтах почв еловых лесов являются соединения кальция. Выявляются межпарцеллярные различия в содержании доступных соединений элементов в органогенных горизонтах почв в фоновых условиях. Наиболее высоким содержанием доступных соединений кальция, марганца, цинка, никеля и меди характеризуются органогенные горизонты почв еловых парцелл что во многом обусловлено составом опада, вымыванием соединений элементов питания из крон и меньшим количеством осадков, проникающих под кроны елей. Пониженные по сравнению с межкороновыми парцеллами концентрации азота, магния, фосфора и сопоставимые концентрации калия в органогенных горизонтах почв доминирующих парцелл обусловлены их интенсивным поглощением елью.

Воздушное промышленное загрязнение приводит к значительному нарушению питательного режима почв. Эти нарушения вызваны: а) значительным поступлением кислотообразующих агентов и тяжелых металлов из атмосферы; б) возрастаям количеством растительного опада из-за дефолиации хвойных деревьев и гибели чувствительных видов (лишайников и мохообразных); в) активным замещением катионов элементов питания в почвенном поглощающем комплексе "кислыми катионами" и их выносом; г) дисбалансом в поглощении элементов питания растениями.

Наиболее значительные нарушения наблюдаются в древесных парцеллах. Интенсивные потоки кислотообразующих веществ и тяжелых металлов в подкороновые пространства, выщелачивание основных катионов из растений и органогенных горизонтов почв и дисбаланс в поглощении элементов питания поврежденными древесными растениями определяют специфику нарушения питательного режима почв древесных парцелл. Органогенные горизонты почв этих парцелл в дефолирующих лесах активно обедняются кальцием, магнием, калием, марганцем, цинком, фосфором и обогащаются азотом, медью, никелем, железом и алюминием. Отношение C/N значительно сужается.

В органогенных горизонтах почв межкороновых пространств (кустарничковые и злаковые парцеллы) в целом наблюдаются сходные с древесными парцеллами, но менее выраженные из-за формирования относительно устойчивых к загрязнению растительных микрогруппировок, тенденции изменения питательного режима почв. В результате сглаживаются парцеллярные различия в содержании доступных соединений элементов в органогенных горизонтах почв.

Минеральные горизонты почв дефолирующих лесов независимо от парцеллярной принадлежности обогащаются углеродом, многими элементами питания, а также никелем, медью и серой, за исключением кальция и магния, содержание которых снижается в иллювиальных горизон-

тах почв. Обнаруженные в фоновых условиях парцеллярные различия в содержании подвижных соединений элементов питания в минеральных горизонтах почв дефолирующих лесов углубляются, что связано с интенсификацией потоков соединений различных элементов, в том числе кислотообразующих веществ, под кронами деревьев.

Почвы пустошей характеризуются значительным обеднением основными элементами питания (N, С, Са, Mg, К, Na, Mn, Zn, P), что связано с вымыванием органических веществ из почв под действием кислых осадков, а также частыми пожарами. Содержание тяжелых металлов в органических горизонтах почв значительно возрастает. Отношение С:N ниже фоновых значений.

**Химический состав хвои ели.** Ассимилирующие органы играют роль регуляторного звена в функционировании растительного организма и весьма чувствительны к изменению условий произрастания. На основе изучения химического состава ассимилирующих органов древесных растений может быть выявлен дефицит или токсичность элементов для растений и проведена диагностика питательного режима лесного фитоценоза. В условиях воздушного загрязнения лесных биогеоценозов кислотообразующими веществами и тяжёлыми металлами обычно наблюдается повышение содержания элементов, входящих в состав выбросов, которые поступают в растения в результате фоллиарного поглощения (Смит, 1985; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989) и нарушения питательного режима почв (Лукина, Никонов, 1998; Falkengren-Grerup, 1987; Zoetl et al., 1989; Tomlinson, 1991).

Исследованиями установлено, что в природных условиях уровень обеспеченности ели сибирской Са, Mn и Zn можно определить как оптимальный, К, P и Mg — достаточный, N — дефицитный. Для ели сибирской (*Picea obovata Ledeb.*) подтверждены достоверные изменения химического состава хвои с увеличением возраста, которые выражаются в её обогащении малоподвижными макроэлементами Са и Mn, Al и обеднении подвижными макроэлементами К и P, а также Mg. Содержание микроэлементов в хвое также подвержено возрастной изменчивости. Максимальные концентрации Ni, Cu отмечены в хвое текущего года. К элементам средней подвижности отнесен Zn, максимальная концентрация которого отмечена в однолетней хвое. Концентрация в хвое элементов питания зависит не только от возраста хвои, но и побега: чем выше порядок побега, тем больше в хвое концентрируется подвижных элементов — К и P, и меньше — малоподвижных Са и Mn. Элементы питания в ассимилирующих органах подвержены внутрисезонной динамике, которая определяется фазой фенологического развития растений. Выявлена тенденция увеличения концентрации элементов питания в хвое к концу вегетацион-

ного периода. Тенденция аккумуляции элементов к концу вегетации обусловлена подготовкой растения к состоянию зимнего покоя, проявляющегося в накоплении в ассимилирующих органах достаточного количества макро- и микроэлементов для последующего формирования новых органов и тканей.

В процессе дигрессионной сукцессии азотно-кальциевый тип химического состава хвои ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) сохраняется только на стадии интенсификации дефолиации. В условиях сильного техногенного загрязнения (стадия затухающей дефолиации и техногенного редколесья) для ассимилирующих органов характерен азотно-калиевый тип распределения элементов питания, поскольку преобладающими в хвое зольными элементами становятся азот и калий.

В условиях воздушного промышленного загрязнения для ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) сохраняются возрастные изменения химического состава хвои по мере старения ассимилирующих органов, которые выражаются в её обогащении малоподвижными элементами (Ca, Al, Mn) и обеднении подвижными элементами (K, P, Mg) и в процессе дигрессионной сукцессии накопление поллютантов, прежде всего Ni, Cu и S во всех возрастных классах хвои.

Концентрации элементов питания (Ca, Mg, K, P), а также Al, в хвое ели в процессе дигрессионной сукцессии под влиянием комбината цветной металлургии «Североникель» изменяются нелинейно, что связано с изменением концентраций элементов в почвах и почвенных водах, а также с проявлением антагонистических взаимоотношений между элементами питания. На стадии интенсивной дефолиации наблюдается увеличение содержания Ca и Mg, тогда как K, P и Al, напротив, снижается. На стадиях затухающей дефолиации и редколесья происходит обеднение хвои Ca, Mg, Mn и Zn и обогащение K. На стадии редколесья значительно возрастает содержание Fe. Обеспеченность элементами питания ели сибирской часто находится на уровне дефицита для Ca, Mg, P. В отличие от закономерностей, обнаруженных для более старых деревьев, концентрации Ca и Mg в молодой хвое деревьев 35-40 лет не снижаются по сравнению с фоном. Возможно, это связано с менее интенсивным вымыванием соединений этих элементов из хвои деревьев подроста.

В условиях загрязнения медно-никелевым производством нарушаются природные особенности формирования химического состава ассимилирующих органов в зависимости от порядка побега. На стадии интенсификации дефолиации обнаружено обратное распределение в отношении Ca, Mn, K и P в молодой хвое по сравнению с природными условиями. Увеличение концентрации Ca и одновременное снижение содержания в хвое K и P на данной стадии происходит в результате изменений в химиче-

ском составе хвои, расположенной на самых молодых побегах. На стадии редколесья минимальные содержания поллютантов Ni, Cu, Fe, S обнаруживаются в хвое, формирующейся на побегах первого порядка. Вероятно, хвоя на побегах более высокого порядка ветвления отличается интенсивным фолитарным поглощением.

**Морфометрические характеристики хвои ели.** Ассимилирующие органы определяют функционирование древесного растения и весьма чувствительны к условиям произрастания. Аэротехногенное загрязнение оказывает негативное влияние на морфологические показатели фотосинтезирующего аппарата растений.

В природных условиях в ельниках кустарничково-зеленомошных Кольского полуострова хвоя ели сохраняется 8-13 лет. Количество возрастных классов хвои связано с порядками ветвления побега, количество которых не превышает 5. Максимального возраста достигает хвоя на побегах I и II порядков, минимального — на побеге V порядка. Основная масса хвои в природных условиях не имеет признаков повреждения. Доля хвои, затронутой хлорозами и некрозами, не превышает 11%. Поврежденность ассимилирующих органов зависит как от возраста хвои, так и от возраста побега. Наиболее поврежденной оказывалась хвоя последних лет жизни — 16% от общего количества. На самых молодых побегах V порядка ветвления практически вся хвоя являлась здоровой, и поврежденность не превышала 3% от общего числа хвоинок. На ветвях I порядка, напротив, отмечено в 4 раза больше поврежденных ассимилирующих органов. Изменение морфометрических характеристик (длина и масса) хвои обусловлено как возрастом хвои, так и побега. В ельниках кустарничково-зеленомошных средняя длина хвои составляет  $11.6 \pm 0.05$  мм, причём минимальное наблюдаемое значение не превышало 3 мм, максимальное — 21 мм. Длина и масса хвои достоверно возрастала по мере старения хвои и побегов. Полученные коэффициенты роста (отношение массы 1 хвоинки к её длине) наглядно демонстрируют, что в природных условиях относительная масса значительно возрастает с возрастом хвои и побега.

На начальных стадиях дигрессионной сукцессии (стадия интенсификации дефолиации) продолжительность жизни хвои сопоставима с фоновыми значениями. На стадиях затухающей дефолиации и техногенного редколесья, продолжительность жизни хвои значительно снижается (число возрастных классов сокращается до 2 раз), происходит также уменьшение порядков ветвления побега: отсутствуют побеги V порядка ветвления. В условиях воздушного промышленного загрязнения увеличивается доля ассимилирующих органов, относящихся к 4 классу повреждения (площадь повреждения затрагивает более 75% поверхности хвоинки), в

2-4 раза возрастает количество хвои, имеющих следы сильного повреждения хлорозами и некрозами. Происходит увеличение доли повреждённых многолетних ассимилирующих органов относительно фоновых значений. На долю повреждённой хвои приходится до 30% от общей массы, что почти в 2 раза превышает фоновые показатели. В процессе дигрессионной сукцессии морфометрические характеристики хвои изменяются нелинейно. На начальных стадиях сукцессии длина и масса ассимилирующих органов увеличивается. На следующих стадиях (стадия затухающей дефолиации и техногенного редколесья) наблюдается, напротив, уменьшение длины и массы ассимилирующих органов. При этом сохраняются закономерности изменения морфометрических показателей в зависимости от возраста хвои и порядка ветвления побега.

Минеральное питание ели сибирской оказывает значительное влияние на показатели ростовых процессов и накопление в хвое фенолов. При высоком содержании в хвое элементов питания увеличивается длина и масса ассимилирующих органов и одновременно происходит снижение содержания в ней фенолов (стадия интенсификации дефолиации). При снижении концентрации элементов питания в хвое ниже уровня дефицита (Ca и Mg), наблюдается обратная зависимость: размеры хвои уменьшаются, и усиливается синтез вторичных метаболитов (стадии затухающей дефолиации и техногенного редколесья).

**Видовой состав растений.** Воздушное промышленное загрязнение приводит к смене видов-доминантов и выпадению из состава сообществ чувствительных видов (Дончева, 1978; Влияние..., 1990; Лукина, Никон, 1993 и др.).

Установлено, что техногенная сукцессия (дигрессия) в ельниках зеленомошных и сосняках лишайниковых характеризуется общими особенностями: идентифицируются стадии луговиково-кустарничкового леса и редколесья, происходит снижение количества видов за счет мохообразных, лишайников и трав и возрастание участия в составе сообщества луговика извилистого и вороники. Различия в особенностях техногенной дигрессии между ельниками и сосняками заключаются в том, что в ельниках луговик распространяется более активно и формирует более значительную фитомассу, благодаря благоприятным условиям питательного и водного режима (мезотрофные условия). В еловых лесах, благодаря накоплению значительного количества растительных остатков на поверхности почвы из-за длительного, по сравнению с сосняками, отсутствия интенсивных пожаров, также формируются более благоприятные условия для распространения вороники.

Воздушное промышленное загрязнение, вызывая образование больших количеств горючего материала в результате интенсивной дефолиации

ции и отмирания, как отдельных ветвей, так и целых деревьев, а также отмирания лишайников и зеленых мхов, способствует возникновению пожаров, тем самым не только прямо, но и косвенно определяя биоразнообразие. Выпадение многих видов лишайников и мохообразных обусловлено прямым воздействием техногенного загрязнения. Резкое снижение количества видов трав на стадиях техногенной дигрессии, особенно ярко выраженное в еловых лесах, обусловлено не непосредственным воздействием загрязнения, а тем, что данные объекты находятся на более ранней, чем фоновые, стадии сукцессии после последнего пожара, в связи с чем не сформировались условия для внедрения многих видов. Формирование на значительных территориях длительно существующих пустошей связано с интенсивными и частыми пожарами, во многом обусловленными действием воздушного промышленного загрязнения. Несмотря на то, что многие виды сосудистых растений, обычно участвующие в восстановительной сукцессии после пожара, довольно устойчивы к воздушному загрязнению, демутиационная сукцессия наблюдается на небольших площадях и протекает очень медленно. В условиях аэротехногенного загрязнения ход природного восстановительного процесса после пожара на пустошах нарушается. Можно выделить три основные причины этого нарушения: 1 — высокий уровень загрязнения воздуха, что препятствует формированию обычных для лесов Севера стадий бокальчатых кладоний и политрихового покрова; 2- незначительный банк семян в почве и отсутствие подземных органов возобновления у вегетативно размножающихся после пожара бореальных кустарничков и трав из-за высокой частоты и интенсивности пожаров; 3 — отсутствие благоприятных для внедрения растений, семена и споры которых распространяются ветром, эдафических условий, поскольку большая часть территории почти полностью лишена органического слоя и содержание элементов питания в почвах крайне низкое.

**Внеризосферно-ризосферные различия.** В условиях техногенной сукцессии в сосновых лесах лишайникового типа происходит сглаживание ризосферно-внеризосферных различий почвенной кислотности, ярко проявляющееся в фоновых условиях. По мере приближения к источнику загрязнения при переходе от фонового состояния через стадию дефолиации к техногенным редколесьям в ризосфере сосновых лесов наблюдается подщелачивание почв. Парцеллярные различия кислотности носят различный характер в разных типах леса, находящихся на разной стадии сукцессии. Наибольшая вариативность характерна для обменной кислотности. Актуальная кислотность органических горизонтов на стадии интенсивной дефолиации и техногенных редколесий сопоставима с фоновыми значениями почв старовозрастных лесов. Наиболее низкими значе-

ниями гидролитической кислотности характеризуются органогенные горизонты нарушенных сосняков как в ризосфере, так и за ее пределами, а наивысшими — органогенные горизонты старовозрастных сосняков. В условиях техногенного загрязнения происходит снижение обменной кислотности в ризосфере органогенных горизонтах, особенно отчетливо проявляющееся в приствольных микрозонах. В межкрупных парцеллах изменения выражены слабее благодаря формированию относительно устойчивого к действию поллютантов покрова из наземных кустарничков и менее интенсивному, чем под кронами, потоку загрязняющих веществ (Лукина и др., 2005). Вне зоны ризосферы в лесах, подверженных воздействию техногенного загрязнения, наблюдается дальнейшее возрастание актуальной кислотности, в сравнении с ризосферной фракцией. Различий гидролитической кислотности не выявлено, ее величины сопоставимы во всех типах леса. Обменная кислотность на стадии интенсивной дефолиации и в техногенных редколесьях достоверно выше во всех микрозонах в сравнении с фоновыми условиями.

В фоновых условиях концентрации кальция, магния, калия, марганца, фосфора в органогенном горизонте значительно выше в ризоплане и 3-5 мм от корня, чем вне ризосферы. По мере приближения к комбинату «Североникель» (фон → 31 км → 10 км) происходит увеличение содержания доступных для сосны элементов соединений Ni и Cu во всех почвенных горизонтах (максимально — в горизонте A<sub>0</sub>) и микрозонах; в ризоплане органогенного горизонта происходит снижение концентрации кальция, калия, алюминия и магния. Наблюдается увеличение содержания натрия, железа, марганца и фосфора. Содержание таких основных загрязняющих элементов как никель, медь, сера увеличивается в несколько раз: Ni: фон (от 3,8 до 16,8 мг/кг) < 31 км (от 31,5 до 57,5 мг/кг) < 10 км (от 112,6 до 188,6 мг/кг); Cu: фон (от 0,9 до 3,5 мг/кг) < 31 км (от 6,5 до 92,4 мг/кг) < 10 км (от 513,1 до 321,9 мг/кг), меди в 10 км в 1,7 раза содержится больше, чем никеля. Содержание этих элементов значительно варьирует по микрозонам. В элювиальном горизонте (A<sub>2</sub>) в 10 км от источника загрязнения содержание Ni и Cu в 3-5 мм (зоне активного всасывания корней) и вне ризосферы примерно в 2 раза ниже, чем в ризоплане. В иллювиальном горизонте в 10 км от источника загрязнения содержание Ni резко возрастает в приствольной зоне как в ризосферной, так и вне ризосферной зоне (в 6-11 раз).

Исследование типов микориз и их обилия показали, что плотность простых микориз по мере приближения к комбинату во всех почвенных горизонтах увеличивается. В минеральных горизонтах микоризные окончания более разветвлены, чем в подстилке. Возрастание концентрации доступных для сосны биогенов в корнеобитаемом пространстве снижает

необходимость наличия сложных форм микориз. Минимальные значения плотности микориз обнаружены на участке наиболее приближенном к источнику выбросов — в зоне загущающей дефолиации, то есть по мере увеличения концентрации загрязнителей в почве происходит гибель микориз. Небольшие дозы загрязнителей стимулируют микоризообразование на тонких физиологически активных корнях сосны в зоне интенсивной дефолиации.

**Дереворазрушающие грибы.** Аэротехногенное загрязнение является важным фактором, определяющим степень и скорость антропогенной трансформации лесных сообществ и их отдельных компонентов, в том числе и микобиоты. Установлено, что по мере накопления в биоценозах поллютантов и продолжительности их экспозиции происходят изменения распространенности и численности патогенных видов. При разных формах и уровнях воздействия антропогенных факторов проявляется общая тенденция — сокращение видового состава афиллофоровых грибов с одновременным увеличением численности одних и тех же немногих видов, происходит смена доминантов (Бондарцева, Свищ, 1991; Лосяцкая, Бондарцева, 1999; Брындина, 1998, 2000).

В условиях промышленного загрязнения видовой состав афиллофоровых грибов изучали в еловых лесах (*Piceetum myrtillosum*, *P. empetrosum myrtillosum* и *P. fruticulosum-hylocomiosum*) вдоль юго-западного градиента от комбината «Североникель» (г. Мончегорск). Реакция дереворазрушающих грибов на воздушное промышленное загрязнение не однозначна. Численность и видовой состав изучаемых грибов характеризуется отрицательной зависимостью от уровня загрязнения, чем ниже уровень, тем выше численность и разнообразнее видовой состав. Многолетние исследования ксилотрофов северотаежных ельников кустарничково-зеленомошных, подверженных воздушному промышленному загрязнению (период с 1979 по 1993 гг.), позволили охарактеризовать временную динамику их видовой состава в процессе техногенно обусловленной сукцессии: фон → дефолирующие леса → техногенные редколесья.

В начале 80-ых годов XX века на стационарах, характеризующих нарушенные (дефолирующие) леса, по сравнению с фоновыми объектами отмечена активность как паразитных (*Phellinus igniarius* и *Inonotus obliquus*), так и сапротрофитных (*Fomes fomentarius*, *Piptoporus betulinus*) видов. Первоначально (стадия начальной дефолиации) к активным паразитам добавлялся *Inonotus obliquus* и сапротрофы валежных стволов и пней (*Trichaptum abietinum*, *Trichaptum fusco-violaceum*). На стадии интенсивной дефолиации количество ксилотрофов пополняется патогенами: *Phellinus igniarius* и *Piptoporus betulinus*. То есть, ослабление древостоев еловых лесов процессом дефолиации способствует распространению

паразитных видов (*Piptoporus betulinus*, *Phellinus igniarius*, *Ininotus obliquus*), поражающих живые или ослабленные деревья (увеличение видового состава достигает 48%). На стадии разрушенных лесов (техногенные редколесья) происходило резкое снижение видового богатства: из дереворазрушителей отмечено только 2 вида (*Fomes fomentarius* и *Fomitopsis pinicola*), которые имеют димитическую и тримитическую гифальную систему. Виды с мономитической системой появляются лишь на стадии дефолиации.

В 90-ые годы XX века на стадии начальной дефолиации видовой состав ксилотрофов на исследуемых стационарах не изменился. В то же время количество деревьев, пораженных настоящим березовым трутовиком (*Fomes fomentarius*) заметно увеличилось. На стадии интенсивной дефолиации опасные патогены представлены уже 3 видами (*Phellinus igniarius*, *Inonotus obliquus*, *Piptoporus betulinus*), к которым добавляются ксилотрофы *Gloeophyllum sepiarium* и *Phellinus chrysoloma* — индикатор старовозрастных лесов (Kotiranta, Niemela, 1996). Одновременно активизировались настоящий (*Fomes fomentarius*) и ложный (*Phellinus igniarius*) трутовики. На стадии разрушенных лесов (техногенные редколесья) появляется березовая губка (*Piptoporus betulinus*).

В процессе деградации дефолирующих лесов в них заметно уменьшается встречаемость стволовых паразитов (*Phellinus igniarius*, *Ininotus obliquus*, *Phellinus chrysoloma*) — до 25% от общего количества дереворазрушающих грибов. С усилением техногенного воздействия происходит сокращение видового состава афиллофоровых грибов с одновременным увеличением численности одних и тех же немногих видов (*Fomes fomentarius* и *Fomitopsis pinicola*), устойчивых к загрязнению. Поэтому пораженность древесных пород дереворазрушающими грибами по мере удаления от источника загрязнения снижается.

Изучены концентрации элементов, в том числе тяжелых металлов, в *Fomitopsis pinicola* (Sw.: Fr.) Karst., *Fomes fomentarius* (L.: Fr.) Fr. *Phellinus igniarius* (L.: Fr.) Quèl. и *Piptoporus betulinus* (Bull.: Fr.) P. Karst. В результате исследований выявлено, что содержание никеля и меди (основных поллютантов) в базидиомах трутовых грибов увеличивается от фонового типа состояния лесных биогеоценозов к редколесью, то есть по мере приближения к источнику загрязнения. Наибольшая концентрация Ni отмечена в многолетних базидиомах окаймленного трутовика (в 7 км от комбината — 216,61 мг/кг; в фоновых условиях — 0,66 мг/кг), а Cu — ложного трутовика (в 7 км от комбината — 174,1 мг/кг; в фоновых условиях — 33,9 мг/кг). Содержание Ni в однолетних плодовых телах березовой губки значительно ниже (в 7 км от комбината — 4,87 мг/кг; в фоновых условиях — 0,29 мг/кг) по сравнению с содержанием Ni в многолетних ксилотрофах.

**Химический состав дикорастущих ягод.** Дикорастущие ягоды играют важную роль в обеспечении населения Севера витаминами и пищевыми продуктами. Определен химический состав у 4 видов дикорастущих ягод (*Vaccinium myrtillus*; *Vaccinium vitis-idaea*; *Empetrum hermaphroditum*; *Rubus chamaemorus*) в зоне влияния комбината «Печенганикель» (пос. Никель). Выявлено влияние комбинатов «Североникель» и «Печенганикель» по накоплению Ni, Cu в плодах ягод.

## Литература

- Бондарцева М.А., Свищ Л.Г. Изменение видового состава трутовых грибов в условиях антропогенного воздействия // Проблемы лесопатологического мониторинга в таежных лесах Европейской части СССР. Тез. докл. Петрозаводск, 1991. С. 9—11.
- Брындина Е.В. Действие выбросов медеплавильного завода на сообщества ксилотрофных базидиомицетов южной тайги // Сибирский экологический журнал, 2000. № 6. С. 679—683.
- Брындина Е.В. Реакция сообществ ксилотрофных базидиомицетов на техногенную нагрузку // Современные проблемы популяционной, исторической и прикладной экологии. Матер. конф. Екатеринбург: Изд-во «Екатеринбург», 1998. 280 с.
- Влияние промышленного атмосферного загрязнения на сосновые леса Кольского полуострова / под редакцией Б.Н. Норина, В.Т. Ярмишко. Л.: Наука, 1990. 195 с.
- Дончева А.В. Ландшафт в зоне воздействия промышленности. М.: Лесная промышленность, 1978. 96 с.
- Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.
- Лосицкая В.М., Бондарцева М.А. Влияние Костомукшинского горно-обогатительного комбината на биоразнообразие афиллофоровых грибов // Биологические основы изучения и охраны животного и растительного мира, почвенного покрова Восточной Фенноскандии. Тез. докл. Петрозаводск, 1999. С. 203—204.
- Лукина Н.В., Никонов В.В. Питательный режим лесов Северной тайги: природные и техногенные аспекты. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 1998. 316 с.
- Лукина Н.В., Никонов В.В. Состояние еловых биогеоценозов Севера в условиях техногенного загрязнения. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 1993. 134 с.
- Лукина Н.В., Сухарева Т.А., Исаева Л.Г. Техногенные дигрессии и восстановительные сукцессии в северотаежных лесах. М.: Наука, 2005. 245 с.
- Смит У.Х. Лес и атмосфера. М.: Прогресс, 1985. 430 с.
- Tomlinson G.H. Nutrient disturbances in forest trees and the nature of the forest decline in Quebec and Germany // Zoettl H.W. and Huettl R.F. (Editors). Management of nutrition in forests under stress. Kluwer Academic Publishers. 1991. P. 61-74.
- Zoettl H.W., Huettl R.F., Fink S., Tomlinson C.H. and Wisiewski J. Nutritional disturbance and historical changes in declining forest // Water Air and Soil Pollution. 1989. Vol. 48. P. 87—109.
- Falkengren-Grerup U. Long-term changes in pH of forest soils in southern Sweden // Environ. Pollut. 1987. Vol. 43. P. 79—90.