

Экологические аспекты состояния лесов в санитарно-защитных зонах алюминиевых заводов

Е. М. Рунова¹
С. А. Чжан

Братский государственный технический университет

АННОТАЦИЯ

В статье приводятся результаты экспериментальных исследований по влиянию промышленных выбросов алюминиевого производства на лесные экосистемы в пределах санитарно-защитной зоны, проводившихся с целью изучения влияния фторидов на таксационные показатели древостоев, их жизнеспособность, особенности накопления токсикантов в тканях растений.

Ключевые слова: *древостой, жизнеспособность, фториды, санитарно-защитная зона, экология.*

SUMMARY

The article presents the results of the experimental investigation of the aluminium industrial emissions influence on the forest ecological systems within the sanitary-protection zone. The investigation was carried out to study the influence of fluorides on the inventory index of stands, their viability, peculiarities of toxicant accumulation in the trees tissues.

Keywords: *wood, viability, fluorine, sanitary - protective zone, ecology.*

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Алюминий, наиболее распространенный металл, представлен в земной коре в основном алюмосиликатами и бокситами. При производстве алюминия наблюдаются значительные потери фтора, которые и приводят к негативным экологическим последствиям. В настоящее время признано, что по влиянию на растения соединения фтора являются одними из самых токсичных. Воздействие фторидов на растения проявляется в повреждении листовой, а также в виде хлороза листовой (потери хлорофилла, некроз тканей и деформация роста листа).

Анализ состояния загрязнения районов расположения алюминиевых заводов и воздействия вредных компонентов на биосферу указывает на необходимость совершенствования как процесса электролиза алюминия, так и систем очистки отходящих газов от наиболее опасных компонентов, а также преобразования зеленых насаждений санитарно-защитных зон в устойчивые и долговечные экосистемы в условиях повышенного антропогенного загрязнения.

Цель исследований заключалась в определении состояния древесной растительности в санитарно-защитной зоне алюминиевых заводов (на примере крупнейшего Братского алюминиевого завода), в изучении динамики деградации типичных лесных ландшафтов светлосредовой тайги в разреженные и распадающиеся под воздействием антропогенного загрязнения растительные ценозы.

В литературе наиболее изученными являются вопросы определения количества выбросов при различных технологиях алюминиевого производства, влияния фторидов и других сопутствующих элементов на растительность в лабораторных условиях, а также основные требования к функциям санитарно-защитных зон. Однако слабоизученным является вопрос о длительном влиянии загрязнения алюминиевых заводов на лесные экосистемы в неблагоприятных условиях резко-континентального климата Восточной Сибири и организации восстановления экологического равновесия в санитарных зонах.

В связи с этим необходимы детальное исследование влияния длительного воздействия твердых и газообразных фторидов на растительность санитарно-защитных зон, а также теоретическое обоснование выбора ассортимента древесных и кустарниковых растений, рекомендуемых для посадки в санитарных зонах, организации режима ведения хозяйства в них.

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследований являются санитарно-защитная зона БрАЗа и прилегающие к ней леса.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Основным методом сбора данных о состоянии лесов является полевое обследование насаждений на пробных площадях.

Пробные площади закладывались как можно ближе к одному из постов наблюдения за загрязнением воздуха, чтобы постоянно иметь данные о наличии и концентрации загрязняющих веществ в атмосфере.

Пробные площади закладывались по стандартной методике (ОСТ 56-69-83 Пробные площади лесостроительные) [1] и по методикам, подробно описанным в литературе [2, 3].

Производилось лесоводственно-геоботаническое описание каждой пробной площади, с указанием особенностей древостоя, подроста, подлеска, напочвенного покрова и рельефа. Оценивалось санитарное состояние насаждений, кроны деревьев (характер охвоения, продолжительность жизни хвои, размеры, цвет и величина некроза на листьях, наличие сухих ветвей и суховершинностей).

Затем проводился сплошной перебор по ступеням толщины. Замерялась высота каждого дерева. Данные перебора деревьев обрабатывались статистическими методами с вычислением средних значений.

¹ Авторы - соответственно профессор и доцент кафедры технологии и оборудования лесопромышленных производств

Общее состояние деревьев на постоянных пробных площадях оценивалось в баллах по методике [4]: I – здоровые деревья; II – ослабленные; III – сильно ослабленные; IV – усыхающие; V – погибшие.

Для оценки степени повреждения древесной растительности применялась следующая шкала классов дефолиации: 0 – полное охвоение: продолжительность жизни хвои не менее 3 лет (по осенней оценке), побеги и хвоя нормально развиты; 1 – слабая дефолиация (до 25 %): возраст хвои – 2 года, побеги и хвоя хорошо развиты; 2 – сильная дефолиация (до 50 %): однолетняя хвоя сохранена, годичный прирост побегов часто снижен, встречаются отдельные сухие ветви в кроне; 3 – очень сильная дефолиация: однолетняя хвоя сохранена, а хвоя старших возрастов лишь в небольшом количестве, побеги и хвоя укороченные; 4 – дефолиация достигает 100 %: хвоя текущего года сохранена лишь частично, охвоение хвоей старшего возраста отсутствует или она очень укороченная; крона сильно усохшая.

Средний балл состояния и класс дефолиации деревьев на пробных площадях рассчитываются как средневзвешенные величины. На пробных площадях производились оценка и описание состояния деревьев.

На пробных площадях были заложены по 20 учетных площадок размером 2x2 м для учета подроста. В пределах каждой площадки учитывался весь подрост с обязательным указанием породы, возраста и высоты, а также указывались замеченные повреждения. Учет естественного возобновления проводился с использованием методов лесной таксации [2]. Оценка проводилась по шкале ВНИИЛМ [2]. Результаты изучения обобщались в виде таблиц, графиков, показывающих влияние промвыбросов на состояние древостоев.

На пробных площадях для определения накопления фтора в растительности брались пробы весной после полного распускания листьев (май – июнь) и осенью (октябрь) перед опаданием с одного и того же дерева. Метод определения накопления фтора основан на измерении ЭДС ионоселективного электрода в зависимости от активности ионов фтора в растворах.

Отбор листьев производился по 5 маршрутам на расстоянии от БрАЗа 1 км, 2 км, 4 км, 6 км, 8 км, т.е. в пределах санитарно-защитной зоны. Пять маршрутов обеспечивали более высокую точность результатов исследований. Рассматривались листья следующих пород: береза повислая (*Betula pendula*), ольха кустарниковая (*Alnus fruticosa*), ива козья (*Salix caprea*), осина (*Populus tremula*) и хвоя лиственницы (*Larix sibirica*), поскольку она ежегодно сбрасывает хвою, в результате чего можно проследить ежегодную динамику накопления фторидов. Исследования накопления фтора проводились в течение нескольких лет, начиная с 1997 и по 2002 г., при этом параллельно определялась концентрация фтористого водорода в воде и в снежном покрове по тем же маршрутам и на том же расстоянии от алюминиевого завода.

Определение содержания фтора в растительности проводилось с помощью ионоселективного электрода в зависимости от активности ионов фтора в растворах.

Листья тщательно отмывали дистиллированной водой, высушивали при температуре 105-110⁰С, тщательно измельчали в агатовой ступке. Навеску растительности (0,5000 – 1,000 г) смешивали с десятикратным количеством калий-натрий карбоната и сплавляли в платиновых тиглях в муфельной печи при температуре 500-600⁰С в течение 3 часов. Сплав выщелачивали 30-50 мл дистиллированной воды, переводили в стакан, осторожно нейтрализовали 20 %-ной соляной кислотой (по фенолфталеину), переводили в мерную колбу емкостью 100 мл, отбирали 10 мл, добавляли 10 мл буферного раствора «БРОЙС» и измеряли ЭДС на РН-метре.

Содержание фтора в растительности определяется по формуле:

$$A = \frac{a \cdot 100 \cdot 100}{10 \cdot \epsilon}, \%, \quad (I)$$

$$B = \frac{a \cdot 1000 \cdot 100}{10 \cdot \epsilon}, \text{ мг / кг}, \quad (II)$$

где a – содержание фтора по графику, г (I), мг (II),
 ϵ – навеска, г.

Определение уровня загрязнения почвы фторидами проводилось колориметрическим и потенциометрическим методами. Исследования микробиологической активности проведены на почвенных образцах, взятых на территории санитарно-защитной зоны, а также за ее пределами. Интегральными показателями биологической активности почв являются следующие: интенсивность дыхания почв, азотфиксация. Дыхание и азотфиксацию определяли на одних и тех же образцах, в пенициллиновых флаконах в 2,5 г сухой почвы газохроматографическими методами. Для точности эксперимент повторяли 4 раза. Дыхание выражалось в миллилитрах на 1 кг почвы в час. Азотфиксацию оценивали по редукции ацетилена в этиле и определяли в нем C_2H_4 на 1 кг почвы в час или мкг N_2 на 1 кг почвы в час (1 нМ $C_2H_4 = 10 \text{ мкг } N_2$).

Азотфиксацию определяли с внесением глюкозы (2 % от веса почвы). Азотфиксацию почвенных образцов оценивали по редукции ацетилена в этилен и определяли в нем C_2H_4 /кг почвы в час или мкг N_2 /кг почвы в час:

$$1 \text{ нМ } C_2H_4 = 10 \text{ мкг } N_2.$$

Для пересчета условных единиц (А у.е) в нМ C_2H_4 пользуются следующей формулой:

$$X_{\text{нМ}} \frac{2}{2} H_4 = \frac{A_{\text{у.е.}} \cdot 0,1\% \cdot 12,5 \text{ мл} \cdot 10^9 \cdot 400 \text{ кг}}{100\% \cdot 23600 \text{ у.е.} \cdot 22400 \text{ мл} \cdot \text{Т часов}}$$

Калибровка прибора по этилену для определения азотфиксации $0,1\% \text{ C}_2\text{H}_4 = 23600 \text{ у.е.}$ Для пересчета условных единиц в мл CO_2 пользуются следующими формулами:

$$1\% \text{ CO}_2 - 24 \text{ у.е.}; V = -A/24 - X \text{ мл};$$

$$V\% \text{ CO}_2 - A \text{ у.е.}; 100\% - 12,5 \text{ мл};$$

$$X_{\text{мл}} \text{C}_2 = \frac{A_{\text{у.е.}} \cdot 12,5 \text{ мл} \cdot 400 \text{ кг}}{24 \cdot 100\% \cdot T_{\text{часов}}}$$

Экспериментальные данные обработаны статистически. Для оценки достоверности наблюдений применялся критерий Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для оценки состояния древесной растительности в санитарно-защитной зоне и за ее пределами были заложены пробные площади, на которых согласно общепринятым методикам произведен учет деревьев. Измерялись следующие таксационные показатели: высота, диаметр, возраст деревьев, возраст и длина хвои, ее состояние, а также устанавливались класс дефолиации и балл категории состояния согласно шкале визуальной оценки степени повреждения хвойных деревьев промышленными выбросами. Были заложены 4 пробные площади, 3 из которых на территории санитарно-защитной зоны и 1 – за ее пределами. Пробные площади закладывались в радиусе 2 км от предприятия, 3 км, 8 км и 18 км.

Общее состояние древесной растительности на пробных площадях характеризуется крайней степенью угнетения, что прослеживается по соотношению среднего диаметра и средней высоты, наличию многовершинности, суховершинности, значительному проценту повреждения хвои и малой продолжительности жизни хвои. На рисунке 1 представлена зависимость класса дефолиации от расстояния от источника загрязнения.

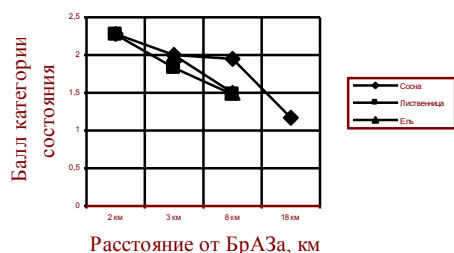


Рис. 1. Зависимость класса дефолиации от расстояния от источника загрязнения: \diamond – сосна, \square – лиственница, Δ – ель.

Из рисунка видно, что степень дефолиации деревьев с увеличением расстояния уменьшается от 1,2 до 2,3.

На рис. 2, 3 показано накопление общего фтора в листьях и хвое в динамике. Из рисунков видно, что содержание фтора в листьях резко возрастает к концу

вегетационного периода – конец сентября – конец октября (примерно в 1,7 - 3,0 раза) по сравнению с началом вегетационного периода.

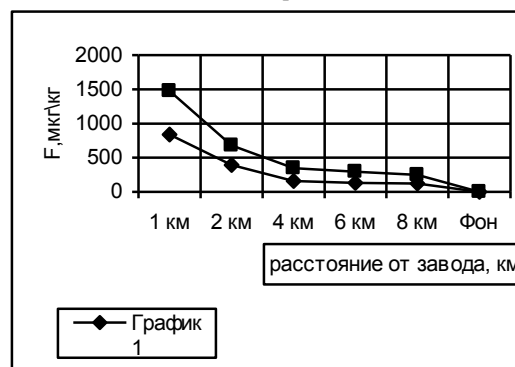


Рис. 2. Накопление общего фтора в листьях (мкг/кг) за июнь – октябрь 2001 г.: \diamond – содержание фтора в июне, \square – содержание фтора в октябре

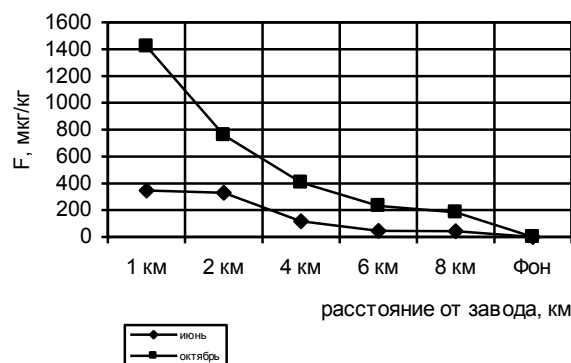


Рис. 3. Накопление общего фтора в листьях (мкг/кг) за июнь – октябрь 2002 г.: \diamond – содержание фтора в июне, \square – содержание фтора в октябре

На рис. 2, 3 показана динамика накопления фторидов за июнь – октябрь 2001-2002 г. В начале июня максимальная концентрация фтора в листьях не превышает 800 мкг/кг (на расстоянии 1 км от БрАЗа), на расстоянии 2 – 8 км содержание фторидов колеблется в пределах 150 – 250 мкг/кг, что свидетельствует о наиболее высокой степени загрязнения непосредственно в районе завода (в радиусе 1 – 2 км).

В октябре концентрация фторидов резко увеличивается, максимальное значение на расстоянии 1 км от завода составляет уже 1600 мкг/кг. В зоне от 4 до 8 км содержание фторидов не превышает 500 мкг/кг. В 2001, 2002 гг. в качестве контроля исследовалась листва в фоновой зоне на расстоянии 60 км от источника загрязнения. Данные по фоновой зоне свидетельствуют о крайне низком уровне фторидов как в начале лета, так и в конце вегетационного сезона.

С помощью компьютерной программы «Простая формула» выявлена зависимость накопления фторидов:

2001 год (июль)

$$y = +326,02 / \exp(x) + 267,65$$

2001 год (октябрь)

$$y = 1942,5 / \exp(x) + 125,14$$

2002 год (июнь)

$$y = +14630 / x$$

2002 год (октябрь)

$$y = \sqrt{49922 / x}$$

ВЫВОДЫ

В результате исследования лесных экосистем в пределах санитарно-защитной зоны Братского алюминиевого завода можно сделать следующие выводы:

- древесная растительность представляет редины с полнотой 0,1 – 0,3. Средний возраст деревьев в санитарно-защитной зоне не превышает 30 лет. В основном это деревья, сохранившиеся после сплошных санитарных рубок погибшего в результате высокого уровня загрязнения древостоя. Санитарные рубки проводились в 80-е годы;
- породный состав древесной растительности представлен сосной, лиственницей, единично елью;
- подрост в радиусе 1 – 2 км практически отсутствует, на более дальнем расстоянии – сильно угнетен, имеет очень малый линейный прирост (до нескольких сантиметров в год), практически на 100% поврежден ожогами, продолжительность жизни хвой резко сокращена. Подрост лиственных пород Б, Ос. имеет большую высоту, но отличается многовершинностью и значительным поражением листьев (ожоги);
- подлесок представлен лиственными породами (различные виды ив, рябина, ольховник). 90% подлеска имеют ожоги листьев;
- средний балл категории состояния деревьев составляет около 3, что по шкале соответствует сильно ослабленным деревьям. Оценка состояния деревьев свидетельствует о сильном влиянии загрязнения на их жизнеспособность;
- исследования микробиологической активности почв, проведенные в санитарно-защитной зоне и за ее пределами, позволяют сделать вывод, что азотфиксация почвы резко снижена в радиусе до 8 км от БрАЗа, затем начинает возрастать. Интенсивность дыхания почвы также снижена в радиусе 8 км и постепенно возрастает к радиусу 20 км. Однако полного подавления активности почвы не произошло, что дает возможность прогнозировать развитие наиболее газоустойчивых растений в санитарно-защитной зоне завода;
- динамика накопления фторидов в листьях свидетельствует о том, что в самом начале вегетационного периода содержание фтора минимально, к концу вегетационного периода (сентябрь, октябрь) содержание фтора возрастает в 1,7 – 3 раза в зависимости от удаления от источника загрязнения. Концентрация

общего фтора такого уровня приводит к ожогам листвы и хвои, угнетению процесса фотосинтеза и отмиранию листьев и хвои;

- при выборе пород для лесовосстановления следует учитывать, что для санитарных зон необходимы самые газоустойчивые породы. В условиях с сильным уровнем загрязнения следует заменить породы на устойчивые к воздействию дымов и газов. По стойкости к воздействию атмосферных загрязнителей почти все лиственные породы превосходят хвойные породы, однако мягколиственные (береза, осина) не имеют такой ценной древесины, как хвойные. Рекомендуется оставлять как газоустойчивые следующие виды растений: багульник болотный (*Ledum palustre*), жимолость синяя (*Lonicera xylosteum*), малина (*Rubus idaeus*), рододендрон даурский (*Rhododendron darski*), смородина красная (*Ribes rubrum*), спирея (*Spiraea*), черемуха (*Padus racemosa*). Эти виды растения слабо поражаются вредными выбросами. И, наконец, наиболее газоустойчивыми и, соответственно, рекомендуемыми к лесовосстановлению являются следующие виды: береза повислая (*Betula pendula*), боярышник (*Crataegus sanguinea*), бузина красная (*Sambucus racemosa*), ива (*Salix caprea*), кизильник (*Cotoneaster lucidus*), ольха кустарниковая (*Alnus fruticosa*), роза иглистая (*Rosa acicularis*), рябина (*Sorbus aucuparia*), осина (*Populus tremula*).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ОСТ 56-69-83. Пробные площади лесостроительные. Метод закладки.
2. Анучин Н. П. Лесная таксация. М.: Лесная промышленность, 1977.
3. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. М., 1970.
4. Методика организации и проведения работ по мониторингу лесов СССР в рамках Международной Совместной Программы по оценке и мониторингу воздействий загрязнения воздуха на леса в регионе Европейской Экономической Комиссии ООН. Пушкин, 1987.