

Состав почвенных вод в Лапландском государственном природном биосферном заповеднике и государственном природном заповеднике «Пасвик»

Ершов В.В.¹, Исаева Л.Г.¹, Поликарпова Н.В.²

¹ *Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, slavo91@gmail.com, Isaeva@inep.ksc.ru*

² *ФБГУ Государственный природный заповедник «Пасвик», Никель, polikarpova-pasvik@yandex.ru*

Аннотация. Данная работа направлена на оценку состава почвенных вод хвойных и лиственных лесов, формирующихся под влиянием атмосферных выбросов медно-никелевых комбинатов «Североникель» и «Печенганикель» (АО «Кольская ГМК») в Мурманской области. Объектами исследования послужили почвенные воды в ельнике кустарничково-зеленомошном и сосняке лишайниково-кустарничковом в Лапландском заповеднике, сосняке зеленомошно-кустарничковом и березняке разнотравном в заповеднике «Пасвик». Критические нагрузки рассчитываются с помощью химических индикаторов, предлагаемых, в том числе, для состава почвенных вод. Для оценки процессов подкисления почв использовали такой индикатор, как молярное отношение основных катионов и алюминия ($Ca + Mg + K / Al$). Результаты исследования показывают существенное внутривидовое и межбиогеоценозическое варьирование состава почвенных вод в исследуемых биогеоценозах. Показатель BC/Al во всех четырех биогеоценозах не опускался до уровня критического значения. На концентрацию элементов в почвенных водах существенное влияние оказывают, как состав древостоя и тип растительного сообщества, так и расстояние от источника загрязнения и состав его выбросов.

Ключевые слова: почвенные воды, атмосферное промышленное загрязнение, биогеоценозы, критические нагрузки, природный заповедник.

The composition of soil waters in the Lapland State Natural Biosphere Reserve and the State Pasvik Natural Reserve

Ershov V.V.¹, Isaeva L.G.¹, Polikarpova N.V.²

¹ *Institute of the North Industrial Ecology Problems, KSC RAS, Apatity, slavo91@gmail.com; isaeva@inep.ksc.ru*

² *FBGU Pasvik State Nature Reserve, Nickel, polikarpova-pasvik@yandex.ru*

Annotation. This work is aimed at assessing the composition of soil waters of coniferous and deciduous forests, formed under the influence of atmospheric emissions of copper-nickel smelters Severonikel and Pechenganikel in the Murmansk region. The objects of study were soil water in coniferous and foliar biogeocenoses. Critical loads are calculated using chemical indicators proposed, inter alia, for the composition of soil water. An indicator such as the molar ratio of basic cations and aluminum ($Ca + Mg + K / Al$) was used to assess the processes of soil acidification. The results of the study show a significant intra-profile and inter-biogeocenotic variation in the composition of the soil waters in the biogeocenoses under study. The BC / Al index in all four biogeocenoses did not fall to the level of the critical value. The concentration of elements in soil waters is significantly influenced by both the composition of the stand and the type of plant community, and the distance from the source of pollution and the composition of its emissions.

Key words: soil waters, atmospheric industrial pollution, biogeocenoses, critical loads, natural reserve.

Введение

Воздушное промышленное загрязнение является крупномасштабным фактором, определяющим современное состояние лесов. Бореальные леса принимают на себя значительную массу компонентов промышленного загрязнения и выступают трансформатором нисходящих атмосферных техногенных потоков, своеобразным фильтром биосферного уровня в большом биогенном потоке вещества (Цветков, Цветков, 2012).

Мурманская область наиболее индустриально развитый и урбанизированный регион на Европейском Севере. Одним из крупнейших предприятий, как Мурманской области, так и Северо-запада России является АО «Кольская горно-металлургическая компания». Основными источниками за-

грязнения воздуха являются два комбината АО «Кольская ГМК» «Североникель» (г. Мончегорск), расположенный в центральной части и «Печенганикель» (пгт. Никель) – на северо-западе региона. Вследствие промышленной деятельности в атмосферу выбрасываются тонны газообразных веществ и твердых частиц, которые затем переносятся воздушными массами на территории как непосредственно прилегающие к промышленному объекту, так и находящиеся на довольно большом расстоянии (Kashulina et al., 2014).

Почва – важнейший компонент лесной экосистемы служит аккумулятором для большинства техногенных соединений элементов вовлекаемых в биосферу. Важной составляющей почвы является вода, заполняющая пространства между твердыми частицами (Лукина, Никонов, 1998). Химический состав почвенных вод позволяет получить информацию, как о доступности элементов питания, так и о негативном воздействии поллютантов на лесные экосистемы. Почвенные воды являются информативной матрицей для оценки негативного воздействия поллютантов на лесные экосистемы. Одним из подходов к такой оценке является концепция критических нагрузок (Nilsson, Grennfelt, 1988). Критические нагрузки рассчитываются с помощью химических индикаторов, предлагаемых, в том числе, для состава почвенных вод. К таким индикаторам относится молярное отношение основных катионов и алюминия ($Ca + Mg + K / Al$), которое рекомендуется для оценки процессов подкисления почв.

С 2006 г. Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН участвовал в международной программе мониторинга лесов ICP Forests. Программа ICP Forests была учреждена Европейской экономической комиссией ООН в рамках Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха в 1985 году (de Vries et. al., 2014). В соответствии с этой программой в юго-западном направлении в 31 км от комбината «Североникель» и 50-75 км в северо-западном от комбината «Печенганикель» были заложены четыре площадки интенсивного мониторинга.

Цель данного исследования – дать сравнительную характеристику состава почвенных вод с учетом внутрипрофильного и межбиогеоценотического варьирования в лесах, расположенных на территории заповедников Лапландского и «Пасвик».

Объекты и методы исследования

Объектами исследования послужили мониторинговые площадки постоянного наблюдения (ППН), расположенные в ельнике кустарничково-зеленомошном (1s-06) и сосняке лишайниково-кустарничковом (2p-06) в Лапландском заповеднике, сосняке кустарничково-зеленомошном (4p-09) и березняке разнотравном (5b-09) в заповеднике «Пасвик».

Для отбора почвенных вод на каждой пробной площади было установлено по 12 гравитационных лизиметров по почвенным горизонтам (A0, Bhfa, BC) на глубине 5, 20 и 40 см с учетом порцеллярной структуры. Перед установкой лизиметра специальным буром ($d = 30$ см) извлекали неповрежденный почвенный монолит с необходимой глубины, затем буром меньшего диаметра делали углубление для приемной бутылки. После установки лизиметра почвенный монолит возвращали на место. Отбор почвенных вод проводился специальным насосом, объем почвенной воды с каждого лизиметра измерялся, по каждой глубине пробы объединялись в одну смешанную пробу. Период исследования составил 3 года (2010-2012 гг.).

Показатель pH определяли потенциометрически, катионы – методом атомно-абсорбционной спектrophотометрии, анионы – методом ионообменной хроматографии. Показатель BC/Al рассчитывали, как отношение между суммой основных катионов ($Ca+Mg+K$) и алюминием. Расчет описательных статистик проводили в Microsoft Excel 2007. Для сравнения внутрипрофильных и межбиогеоценологических различий применяли критерий Манна-Уитни и программу Statistica 10.

Результаты исследования

Лапландский заповедник (1s-06 и 2p-06)

В почвенных водах (табл. 1) из органогенных горизонтов (A0) еловых лесов среди концентраций всех элементов доминирует углерод, из основных катионов – кальций, из тяжелых металлов – медь и никель. Показатель BC/Al в 3 раза выше его критического значения – $BC/Al < 1.2$

Таблица 1. Кислотность, содержание элементов, показателя ВС/АI в почвенных водах лесных биогеннозозов заповедников, мг/л.

Table 1. Acidity, elements content, ВС/АI index in soil waters of forest biogeocenoses of reserves, mg/l.

ППП	Глубина	Значение	pH	К	Са	Mg	Na	SO ₄ ²⁻	С	Al	Cu	Pb	Co	Ni	Cd	Cr	BC/AI
Заповедник «Пасвик»																	
4р-09	5	Среднее	<u>5.28</u>	<u>2.30</u>	<u>2.08</u>	<u>0.97</u>	<u>1.74</u>	<u>6.73</u>	<u>61.08</u>	<u>0.97</u>	<u>0.0048</u>	<u>0.0006</u>	<u>0.0012</u>	<u>0.0074</u>	<u>0.0001</u>	<u>0.0010</u>	<u>6.60</u>
		Ст.ошибка	0.19	0.44	0.21	0.13	0.27	0.95	12.43	0.26	0.0006	0.0001	0.0001	0.0001	0.0012	0.0000	0.0001
	20	Среднее	<u>6.28</u>	<u>2.07</u>	<u>5.70</u>	<u>0.54</u>	<u>0.73</u>	<u>1.97</u>	<u>27.30</u>	<u>0.16</u>	<u>0.0030</u>	<u>0.0001</u>	<u>0.0004</u>	<u>0.0022</u>	<u>0.0000</u>	<u>0.0004</u>	<u>135.94</u>
5b-09	40	Среднее	<u>5.72</u>	<u>0.41</u>	<u>0.45</u>	<u>0.29</u>	<u>0.93</u>	<u>2.14</u>	<u>25.06</u>	<u>0.08</u>	<u>0.0028</u>	<u>0.0001</u>	<u>0.0004</u>	<u>0.0020</u>	<u>0.0000</u>	<u>0.0003</u>	<u>33.38</u>
		Ст.ошибка	0.19	0.10	0.05	0.07	0.06	0.34	10.27	0.04	0.0008	0.0000	0.0001	0.0003	0.0000	0.0001	9.13
	5	Среднее	<u>5.37</u>	<u>3.96</u>	<u>3.75</u>	<u>1.25</u>	<u>0.76</u>	<u>4.77</u>	<u>44.55</u>	<u>1.13</u>	<u>0.0105</u>	<u>0.0004</u>	<u>0.0007</u>	<u>0.0067</u>	<u>0.0001</u>	<u>0.0021</u>	<u>27.85</u>
1s-06	20	Среднее	<u>5.34</u>	<u>3.84</u>	<u>2.05</u>	<u>0.73</u>	<u>1.07</u>	<u>3.05</u>	<u>42.01</u>	<u>0.61</u>	<u>0.0125</u>	<u>0.0003</u>	<u>0.0006</u>	<u>0.0047</u>	<u>0.0000</u>	<u>0.0014</u>	<u>36.56</u>
		Ст.ошибка	0.27	0.51	0.32	0.08	0.13	0.38	6.65	0.14	0.0027	0.0001	0.0001	0.0004	0.0000	0.0002	23.40
	40	Среднее	<u>5.65</u>	<u>3.87</u>	<u>2.21</u>	<u>0.80</u>	<u>1.58</u>	<u>6.66</u>	<u>49.64</u>	<u>0.25</u>	<u>0.01</u>	<u>0.0002</u>	<u>0.0004</u>	<u>0.0045</u>	<u>0.0000</u>	<u>0.0018</u>	<u>41.14</u>
2р-06	5	Среднее	<u>3.84</u>	<u>0.73</u>	<u>1.48</u>	<u>0.30</u>	<u>0.34</u>	<u>4.35</u>	<u>44.97</u>	<u>0.54</u>	<u>0.04</u>	<u>0.001</u>	<u>0.002</u>	<u>0.04</u>	<u>0.0001</u>	<u>0.001</u>	<u>4.05</u>
		Ст.ошибка	0.04	0.27	0.13	0.02	0.04	0.30	4.51	0.07	0.01	0.0002	0.0002	0.004	0.00001	0.0001	0.54
	20	Среднее	<u>5.30</u>	<u>1.53</u>	<u>0.42</u>	<u>0.22</u>	<u>0.51</u>	<u>4.02</u>	<u>14.52</u>	<u>0.16</u>	<u>0.005</u>	<u>0.0001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.01</u>	<u>0.00004</u>	<u>0.001</u>	<u>14.97</u>
5b-09	40	Среднее	<u>0.07</u>	<u>0.15</u>	<u>0.03</u>	<u>0.02</u>	<u>0.03</u>	<u>0.22</u>	<u>4.16</u>	<u>0.02</u>	<u>0.001</u>	<u>0.0000</u>	<u>0.0001</u>	<u>0.001</u>	<u>0.00001</u>	<u>0.0001</u>	<u>4.08</u>
		Ст.ошибка	0.24	0.45	0.07	0.08	0.08	1.02	13.43	0.01	0.003	0.0002	0.0003	0.002	0.00001	0.0001	4.81
	5	Среднее	<u>5.15</u>	<u>2.76</u>	<u>0.71</u>	<u>0.31</u>	<u>0.48</u>	<u>6.38</u>	<u>29.05</u>	<u>0.15</u>	<u>0.01</u>	<u>0.0004</u>	<u>0.001</u>	<u>0.01</u>	<u>0.00003</u>	<u>0.001</u>	<u>17.03</u>
2р-06	20	Среднее	<u>0.24</u>	<u>0.45</u>	<u>0.07</u>	<u>0.08</u>	<u>0.08</u>	<u>1.02</u>	<u>13.43</u>	<u>0.01</u>	<u>0.003</u>	<u>0.0002</u>	<u>0.0003</u>	<u>0.002</u>	<u>0.00001</u>	<u>0.0001</u>	<u>4.81</u>
		Ст.ошибка	0.03	0.08	0.07	0.04	0.06	0.37	1.82	0.09	0.002	0.00005	0.0002	0.01	0.00002	0.0001	0.19
	40	Среднее	<u>4.35</u>	<u>0.38</u>	<u>0.78</u>	<u>0.34</u>	<u>0.64</u>	<u>4.90</u>	<u>21.78</u>	<u>0.60</u>	<u>0.02</u>	<u>0.0003</u>	<u>0.002</u>	<u>0.05</u>	<u>0.0001</u>	<u>0.001</u>	<u>1.99</u>
5b-09	20	Среднее	<u>5.06</u>	<u>0.73</u>	<u>0.44</u>	<u>0.24</u>	<u>0.57</u>	<u>3.58</u>	<u>40.29</u>	<u>0.25</u>	<u>0.01</u>	<u>0.0005</u>	<u>0.001</u>	<u>0.01</u>	<u>0.0001</u>	<u>0.001</u>	<u>7.44</u>
		Ст.ошибка	0.14	0.24	0.05	0.05	0.06	0.21	10.18	0.04	0.001	0.0002	0.0002	0.001	0.00001	0.0002	3.27
	40	Среднее	<u>5.49</u>	<u>0.64</u>	<u>0.61</u>	<u>0.17</u>	<u>0.60</u>	<u>3.99</u>	<u>29.02</u>	<u>0.09</u>	<u>0.002</u>	<u>0.0002</u>	<u>0.001</u>	<u>0.01</u>	<u>0.00004</u>	<u>0.0003</u>	<u>22.77</u>
5b-09	40	Среднее	<u>0.14</u>	<u>0.09</u>	<u>0.08</u>	<u>0.03</u>	<u>0.06</u>	<u>0.41</u>	<u>9.19</u>	<u>0.03</u>	<u>0.001</u>	<u>0.0001</u>	<u>0.0001</u>	<u>0.002</u>	<u>0.00001</u>	<u>0.0001</u>	<u>8.99</u>
		Ст.ошибка	0.14	0.09	0.08	0.03	0.06	0.41	9.19	0.03	0.001	0.0001	0.0001	0.002	0.00001	0.0001	8.99

(Iost et al., 2012). В водах из элювиальных горизонтов (Е) почв по сравнению с органогенным горизонтом наблюдается достоверное ($p < 0.05$) снижение концентраций основных катионов, за исключением калия, алюминия и углерода до 3 раз, тяжелых металлов до 8 раз. В водах из иллювиальных (ВС) горизонтов почв по сравнению с органогенным горизонтом концентрации калия и сульфатов достоверно ($p < 0.05$) выше до 4 раз, содержание углерода, алюминия и тяжелых металлов ниже до 5 раз. В водах из минеральных горизонтов почв по сравнению с горизонтом А0 показатели актуальной кислотности и ВС/Al увеличиваются.

В сосновых лесах, в водах из органогенных горизонтов почв самые высокие концентрации углерода, среди катионов – кальция, из тяжелых металлов – никеля. Показатель ВС/Al выше его критического значения в 1.5 раза. Содержание большинства элементов, за исключением калия, в водах из минеральных горизонтов почв достоверно ($p < 0.05$) до 7 раз ниже, чем в водах из органогенных горизонтов. Также, как и в еловых лесах, в почвенных водах сосновых лесов показатели рН и ВС/Al увеличиваются с глубиной почвенного профиля.

В почвенных водах елового биогеоценоза концентрации меди и свинца в водах из А0 и ВС горизонтов, углерода, кальция и хрома в водах из А0 горизонтов достоверно ($p < 0.05$), до 4 раз выше, чем в сосновых лесах. Показатель рН в водах из органогенных горизонтов выше ($p < 0.05$) в сосновых лесах, а показатель ВС/Al выше ($p < 0.05$) в еловых, причем как в водах из А0, так и в водах из Е горизонтов почв. Это можно объяснить более сильным влиянием крон еловых деревьев на трансформацию и кислотность осадков за счет более мощной и плотной кроны (Лукина, Никонов, 1998).

Заповедник «Пасвик» (4p-09 и 5b-09)

В почвенных водах из органогенных горизонтов почв сосновых лесов наибольшие концентрации наблюдаются у углерода, среди основных катионов – у калия, из тяжелых металлов – у никеля. Показатель ВС/Al выше его критического значения в 5.5 раз. В водах из минеральных горизонтов почв концентрации всех элементов достоверно ($p < 0.05$) ниже, в элювиальных горизонтах до 6 раз (за исключением кальция и меди – $p > 0.05$), а в иллювиальных до 12 раз (за исключением меди), по сравнению с водами из органогенных горизонтов. Показатель ВС/Al достоверно ($p < 0.05$) увеличивается с глубиной почвенного профиля, показатель рН достоверно повышается только в элювиальном горизонте.

В березовом биогеоценозе в почвенных водах из органогенных горизонтов среди концентраций всех элементов доминирует углерод, из основных катионов – калий, из тяжелых металлов – медь. Показатель ВС/Al выше его критического значения в 33 раза – $ВС/Al < 0.8$ для *Betula pendula* (Iost et al., 2012). В водах из элювиальных горизонтов почв концентрации кальция, магния и сульфатов достоверно ($p < 0.05$) до 2 раз ниже, чем в органогенных горизонтах. В водах из иллювиальных горизонтов концентрации кальция, меди и никеля до 2 раз ниже, а натрия и сульфатов до 2 раз выше, чем в органогенном горизонте. Наблюдается достоверное увеличение показателя ВС/Al в водах из иллювиальных горизонтов почв.

В почвенных водах из всех горизонтов березового биогеоценоза концентрации большинства элементов достоверно ($p < 0.05$) выше, чем в сосновом биогеоценозе, исключение составляет свинец, кобальт и натрий в водах из органогенных горизонтов. В водах их элювиальных горизонтов показатель рН выше в сосновых лесах, других достоверных отличий по рН и по показателю ВС/Al не обнаружено. Такая разница в концентрациях элементов в почвенных водах может объясняться тем, что в листьях березы содержание большинства элементов выше, чем в хвое сосны (Сухарева, 2017).

Сравнительный анализ состава почвенных вод в различных биогеоценозах, расположенных на удалении от комбинатов «Печенганикель» и «Североникель»

Концентрации основных катионов углерода и алюминия в почвенных водах из всех горизонтов елового и соснового биогеоценоза Лапландского заповедника в большинстве случаев достоверно ($p < 0.05$) ниже, чем в сосновом и березовом биогеоценозе на территории заповедника «Пасвик». Содержание меди, никеля, свинца и кобальта, напротив, выше в почвенных водах биогеоценозов Лапландского заповедника, что особенно ярко выражено в водах из органогенных горизонтов почв. Концентрации сульфатов в водах из органогенных горизонтов почв биогеоценозов заповед-

ника «Пасвик» в большинстве случаев, выше, а в минеральных горизонтах ниже, чем в водах биогеоценозов Лапландского заповедника. Это можно объяснить тем, что выбросы комбината «Печенганикель» содержат SO_2 в 3 раза больше, а Cu и Ni до 2 раз меньше, чем комбината «Североникель» (данные АО «Кольская ГМК»).

Заключение

Полученные результаты показывают существенное внутривидовое и межбиогеоценозическое варьирование состава почвенных вод в исследуемых биогеоценозах. Показатель Bc/Al во всех четырех биогеоценозах не достигал критического значения, что можно объяснить богатством почвообразующих пород и почв региона исследований основными катионами. На концентрацию элементов в почвенных водах существенное влияние оказывает тип растительного сообщества, состав древостоя, а также расстояние от источника загрязнения и состав его выбросов. Для продолжения изучения реакций лесных экосистем на воздушное промышленное загрязнение в природных заповедниках требуется поддерживать стационарные мониторинговые исследования.

Исследование проводилось при финансовой поддержке темы НИР АААА-А18-118021490070-5 и грантов РФФИ (18-35-00170 мол_а и 18-05-60142_Арктика).

Литература

1. Лукина Н.В., Никонов В.В. Питательный режим лесов северной тайги: природные и техногенные аспекты. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1998. 316 с.
2. Сухарева Т. А. Особенности накопления химических элементов древесными растениями северотаежных лесов на фоновых и техногенно нарушенных территориях // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2017. № 14. С. 438–448.
3. Цветков В.Ф., Цветков И.В. Промышленное загрязнение окружающей среды и лес: моногр. Архангельск: ИПЦ САФУ. 2012. 312 с.
4. De Vries, W., Dobbertin M.H., Solberg S., van Dobben H.F., Schaub M. Impacts of acid deposition, ozone exposure and weather condition on forest ecosystem in Europe: an overview // Plant Soil. 2014. V. 380. P. 1–45.
5. Kashulina G., Caritat P., Reimann C. Snow and rain chemistry around the «Severonikel» industrial complex, NW Russia: Current status and retrospective analysis // Atmospheric Environment. 2014. V. 89. P. 672 – 682.
6. Iost S., Rautio P., Lindrooset A.-J. Spatio-temporal Trends in Soil Solution Bc/Al and N in Relation to Critical Limits in European Forest Soils // Water Air Soil Pollut. 2012. V. 223. P. 1467–1479.
7. Nilsson J., Grennfelt P. Critical loads for Sulphur and nitrogen // Miljorapport. 1988. P. 418.