



УДК 332.368

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОРГАНОГЕННОГО ГОРИЗОНТА AL-FE-ПОДЗОЛОВ И БОЛОТНЫХ ПОЧВ В ЛОКАЛЬНОЙ ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО КОМБИНАТА

ЛЯНГУЗОВА
Ирина Владимировна

д. б. н., Ботанический институт им. В. Л. Комарова РАН,
ул. Профессора Попова, 2, Санкт-Петербург, 197376,
ILyanguzova@binran.ru

БАРКАН
Валерий Шмерович

к. т. н., Лапландский государственный биосферный заповедник,
184506, Мончегорск, ул. Зеленая, 8, *barcan.valery2010@yandex.ru*

Ключевые слова:
Al-Fe-гумусовые почвы
Folic/Histic Albic Podzols
торфяные болотные верховые почвы
Cryic Ombric Fibric Histosols
аэроботехногенное загрязнение
тяжелые металлы
Кольский полуостров

Аннотация: На Кольском полуострове наиболее распространены торфяные болотные почвы и Al-Fe-гумусовые подзолы (по классификации WRB соответственно Cryic Ombric Fibric Histosols и Folic/Histic Albic Podzols), однако сравнения уровня их загрязнения тяжелыми металлами (ТМ) никогда не проводилось. Цель данной работы – сравнительный анализ уровня загрязнения ТМ верхних горизонтов торфяных болотных почв и Al-Fe-гумусовых подзолов в зоне воздействия медно-никелевого комбината. Почвенное опробование проведено в 37 близко расположенных местообитаниях (лесных и болотных) для каждого типа почв, находящихся в зоне воздействия атмосферных выбросов комбината «Североникель» (Мурманская обл.). Валовое содержание Ni и Cu в пробах почв определено методом атомно-абсорбционной спектрометрии после их растворения в смеси концентрированных кислот HNO₃ и HCl. Статистическая обработка результатов анализа почв проведена в пакете Statistica 12 с использованием непараметрических критериев Краскела – Уоллиса, Манна – Уитни и Вилкоксона. Установлено, что оба типа исследуемых почв значимо не различаются по валовому содержанию ТМ в верхних горизонтах почвенного профиля. Уровень загрязнения сравниваемых почв определяется расстоянием от источника загрязнения, розой преобладающих ветров и орографией местности. Содержание Ni практически во всех образцах почв превышает концентрацию Cu, что обусловлено превышением объемов атмосферных выбросов техногенных соединений Ni по сравнению с содержанием в них соединений Cu. Фитотоксичность обоих типов исследуемых почв варьирует в широких пределах: от ее полного отсутствия до высокой и очень высокой степени. При одинаковом уровне загрязнения почв ТМ болотные местообитания более благополучны вследствие лучшей обеспеченности влагой болотных почв.

© Петрозаводский государственный университет

Получена: 05 августа 2019 года

Подписана к печати: 19 декабря 2019 года

Введение

В настоящее время в зоне воздействия предприятий цветной металлургии наблюдаются нарушения в функционировании биогеоценозов вплоть до полной их деградации с формированием техногенных пустошей (Влияние..., 1990; Лукина, Никонов, 1996; Barcan, 2002a; Kozlov, Zvereva, 2007; Динамика..., 2009; Кашулина и др., 2018). Эродированные почвы часто имеют повышенную кислотность, обеднены элементами питания и загрязнены различными ТМ (Влияние..., 1990; Динамика..., 2009; Евдокимова и др., 2011; Кашулина и др., 2016; Лянгузова и др., 2016; Barcan, 2002b; Kozlov et al., 2009).

На равнинной территории Кольского полуострова преобладают низкопродуктивные лишайниковые и кустарничково-зеленомошные еловые и сосновые леса на Al-Fe-гумусовых подзолах, а также болота или заболоченные территории, для которых характерны почвы болотного типа (Переверзев, 2006; Лукина и др., 2010; Национальный..., 2011). Для биогеоценозов особое значение имеет органогенный (для подзолов) или торфяной (для болотных почв) горизонт, который в значительной степени определяет химические свойства, водный и тепловой режим верхнего корнеобитаемого слоя почв, является областью концентрации сосущих корней, банка семян, средой обитания абсолютного большинства видов грибов, микроорганизмов и беспозвоночных и оказывает существенное влияние на организацию и функционирование лесного фитоценоза. В связи с этим представляет интерес сравнительный анализ уровня загрязнения органогенных горизонтов Al-Fe-гумусовых подзолов и болотных торфяных почв, на которых произрастают хвойные леса.

Цель работы – выявить общие закономерности и особенности загрязнения верхних горизонтов Al-Fe-гумусовых подзолов и торфяных болотных почв в близко расположенных лесных и болотных местообитаниях в зоне воздействия атмосферных выбросов комбината «Североникель» (Мурманская обл.).

Материалы

Лапландский государственный природный биосферный заповедник и его охранная зона, на территории которых были проведены исследования, расположены в центральной части Кольского полуострова в северо-таежной лесной зоне, где распространены

Al-Fe-гумусовые подзолы и болотные почвы. Вся исследуемая территория подвергается воздействию атмосферных выбросов комбината «Североникель», основными ингредиентами которых являются диоксид серы и полиметаллическая пыль, где преобладают сульфиды и оксиды металлов, а также металлические Ni и Cu (Barcan, 2002a, b). Динамика объемов атмосферных выбросов ТМ представлена на рис. 1.

Для почвенного опробования подбирали по возможности близко расположенные лесные и болотные местообитания соответственно с подзолами и болотными торфяными почвами (рис. 2, табл. 1). В результате аэротехногенного загрязнения в радиусе примерно 5 км от комбината «Североникель» сформировалась техногенная пустошь со смытым верхним органогенным горизонтом почвы, поэтому наиболее близко расположенный пункт почвенного опробования № 24 находился лишь в 6.5 км от комбината.

Методы

В каждом пункте пробы органогенного горизонта Al-Fe-гумусовых подзолов и верхнего (0–5 см) горизонта болотных торфяных почв отбирали из трех точек, расположенных по треугольнику со стороной 50–100 м, затем индивидуальные пробы объединяли в одну среднюю пробу.

Навески почвенных проб нагревали в царской водке (смеси концентрированных кислот HNO_3 и HCl). Содержание металлов в отфильтрованном растворе определяли атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре AAS-36. Относительная ошибка определения каждого металла не превышала 10–15 %, погрешность определений соответствует нормам погрешности при определении химического состава минерального сырья по III категории точности (ОСТ 41-08-212-04). Контроль правильности и точности результатов анализа осуществлен в соответствии с ОСТ 41-08-214-04 и ОСТ 41-08-265-04.

Статистическую обработку результатов анализов проводили с помощью пакетов Excel и Statistica. Проведенная проверка распределений содержания ТМ в почвах на соответствие нормальному распределению показала значимое несоответствие этому закону, поэтому для оценки значимости различий применяли непараметрические критерии Краскела – Уоллиса, Манна – Уитни и Вилкоксона.

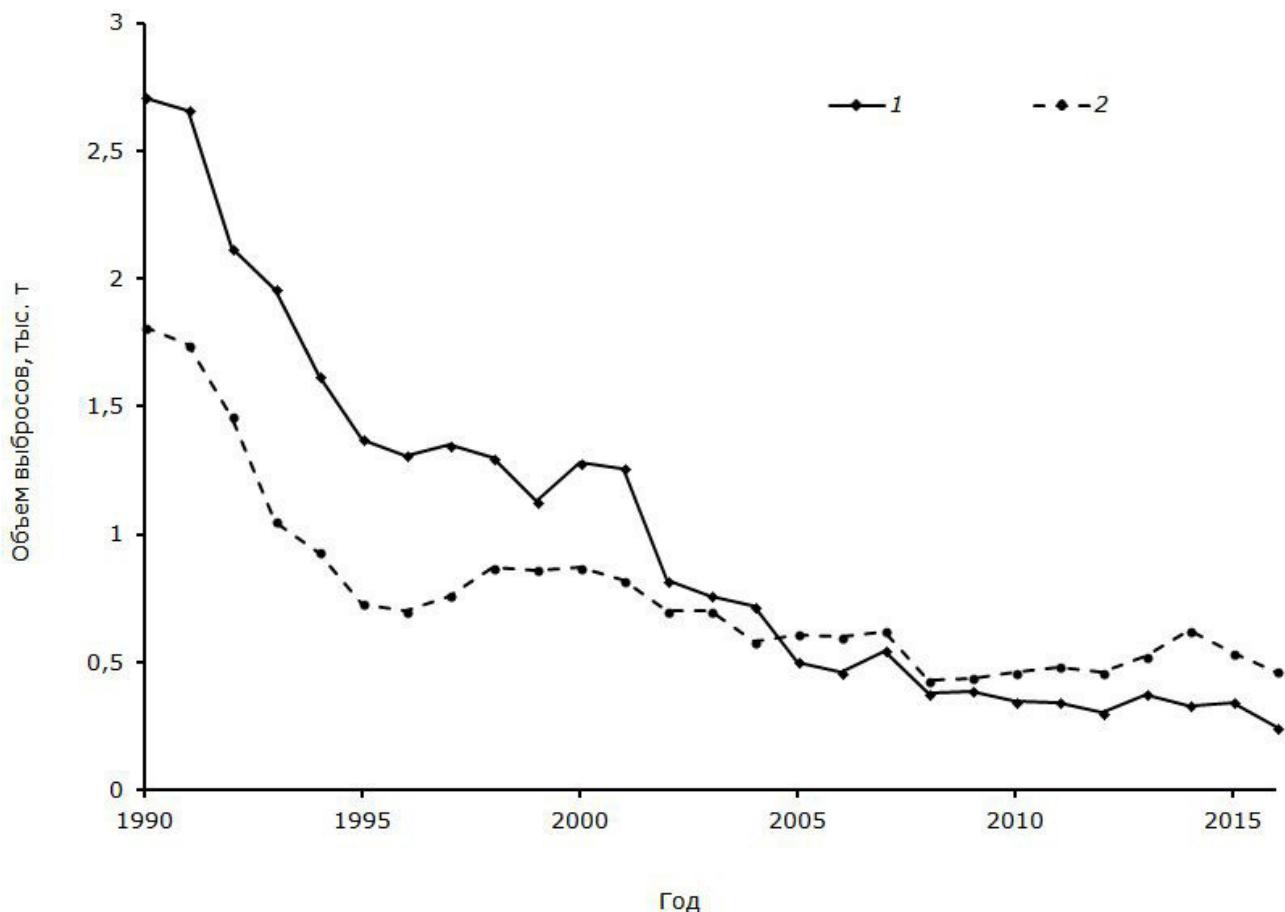


Рис. 1. Динамика объемов атмосферных выбросов Ni и Cu комбината «Североникель» за период с 1990 по 2016 г. (по официальным опубликованным данным). 1 – Ni, 2 – Cu

Fig. 1. Dynamics of atmospheric emissions of Ni and Cu of the Severonickel plant from 1990 to 2016 (according to official published data). 1 – Ni, 2 – Cu

Результаты

Средние значения валового содержания ТМ в верхних горизонтах болотных почв и подзолов составляют: Ni – 402 ± 84 и 387 ± 85 ; Cu – 247 ± 57 и 226 ± 56 мг/кг соответственно, что в 10–40 (Ni) и 6–25 (Cu) раз превосходит региональные фоновые величины. Согласно критерию Манна – Уитни, оба типа почв значимо не различаются ни по валовому содержанию Ni ($z = -0.24$, $p = 0.81$), ни по валовому содержанию Cu ($z = 0.39$, $p = 0.69$). Интервалы варьирования содержания ТМ в сравниваемых типах почв также близки, для болотных почв: Ni – 40–2540, Cu – 14–1770, для подзолов: Ni – 20–2500, Cu – 12–1635 мг/кг (см. табл. 1). Нижний предел варьирования содержания ТМ в обоих типах почв близок к региональным фоновым значениям (10–40 мг/кг). Превышение максимальных значений содержания Ni и Cu над минимальными составляло в болотных почвах 64 и 126 раз, в подзолах – 125 и 136 раз соответственно. Наименьшими концентрациями

Ni и Cu характеризуются почвы пунктов отбора проб № 8, 17–19, 33–36, наиболее удаленных от комбината либо экранируемых сопками от источника атмосферных выбросов загрязняющих веществ (см. табл. 1, рис. 2). Максимальные значения содержания ТМ отмечены в пунктах отбора проб № 10 и 29, удаленных в южном направлении примерно на одинаковое расстояние (15 км) от комбината.

Как видно из рис. 3, отношение концентраций Ni или Cu в болотных почвах к их соответствующему содержанию в подзолах может быть как меньше 1, так и больше 1, и варьирует в достаточно широком интервале от 0.3 до 5.0 раз, при этом минимальные и максимальные различия наблюдаются в разных пунктах отбора проб. Так, например, минимальные различия (0.3 раза) в отношении содержания Ni в болотных почвах к его концентрации в подзолах отмечены в пункте отбора проб № 6, для Cu – в № 34, а максимальные (4.8–5.0) – в пунктах отбора проб № 8 и 32 соответственно. Сопоставление дан-

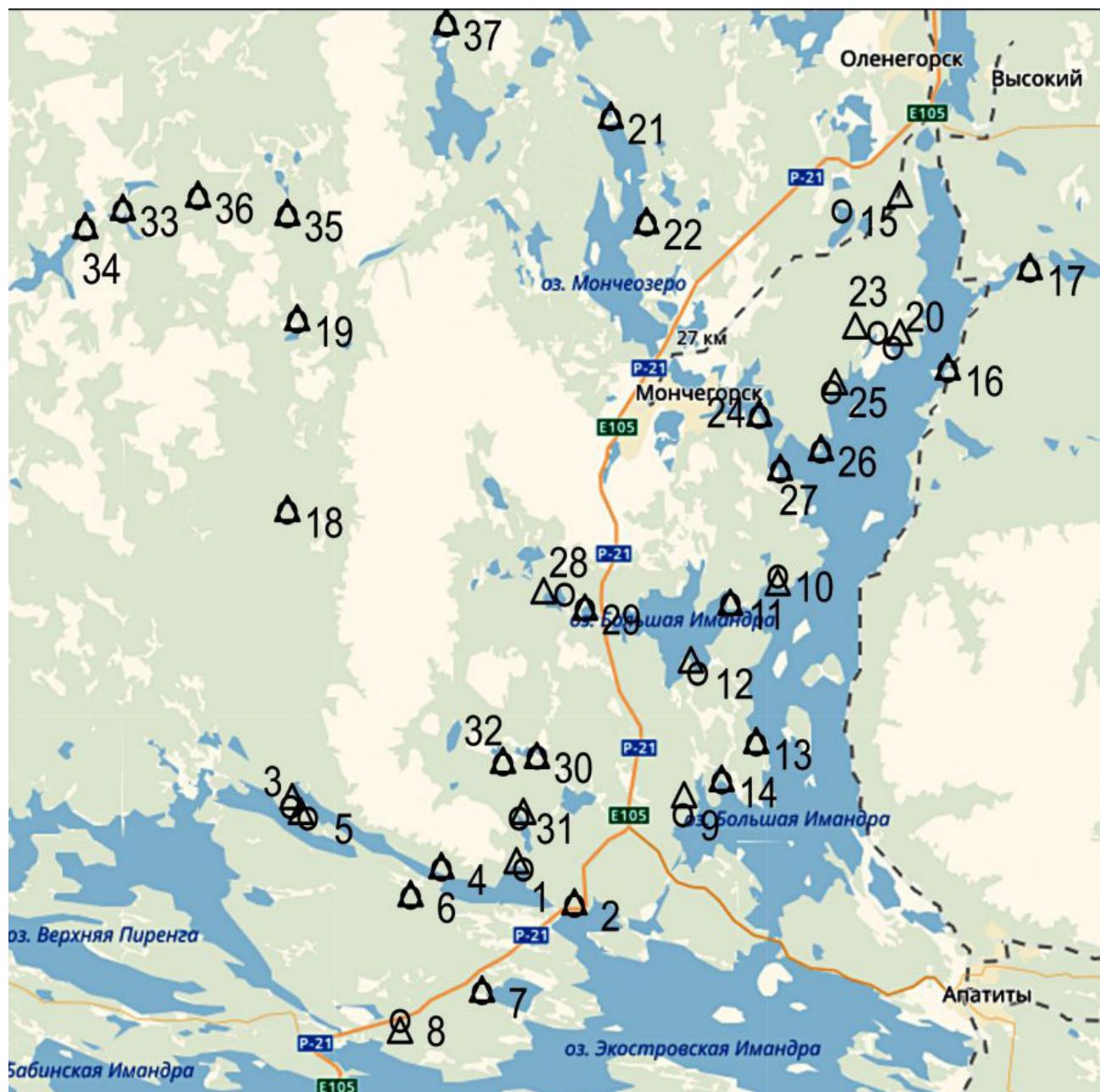


Рис. 2. Карта-схема территории почвенного опробования: кружки – болотные торфяные почвы; треугольники – подзолы

Fig. 2. Map-scheme of soil testing territory: circles – peat bog soils; triangles – podzols

ных табл. 1 и рис. 2 показало, что в 46 % от общего числа проб валовое содержание Ni в болотных почвах больше или меньше такого же в органогенном горизонте подзолов, одинаковое содержание этого металла в обоих типах почв наблюдается лишь в 8 % случаев. В болотных почвах валовое содержание Cu в 55 % случаев больше по сравнению с этой величиной в подзолах, в 27 % случаев это соотношение имеет обратную величину, и в 12 % случаев содержание Cu одинаково в сравниваемых почвах. Следует отметить, что в большинстве случаев соотношение валовых концентраций ТМ в почвах изменяется

синхронно, т. е. если содержание Ni больше в болотных почвах, то и содержание Cu также больше по сравнению с этими величинами в органогенном горизонте подзолов (см. табл. 1).

Сравнительный анализ отношения Ni/Cu в болотных почвах и подзолах показал, что практически во всех случаях в обоих типах почв это отношение больше 1, лишь в 5 % проб подзолов и 12 % проб болотных почв это отношение меньше 1. Интервал вариации отношения Ni/Cu достаточно широк и составляет в болотных почвах 0.5–3.4, в подзолах – 0.6–6.4 раза. Критерий Вилкок-

Таблица 1. Характеристика пунктов отбора почвенных проб и валовое содержание тяжелых металлов в верхнем органогенном горизонте почв

| № пун- кта от- бора проб | Местоположение пункта отбора проб | Тип почвы* | Географические координаты пункта отбора проб** | | Расстоя- ние от комби- ната, км | Содержание, мг/кг | |
|---|--|---------------|--|--------|--|----------------------|------|
| | | | с. ш. | в. д. | | Ni | Cu |
| 1 | Чунозерская усадьба | | 1 | 67.650 | 32.650 | 33.2 | 340 |
| | | | 2 | 67.653 | 32.639 | 33.0 | 120 |
| 2 | Устье р. Нижняя Чуна (близ Курт-Варенч) | | 1 | 67.628 | 32.733 | 34.8 | 275 |
| | | | 2 | 67.628 | 32.733 | 34.8 | 130 |
| 3 | Берег Охтозера, водораздел Чуна-Охта | | 1 | 67.688 | 32.272 | 37.6 | 117 |
| | | | 2 | 67.692 | 32.275 | 37.2 | 77 |
| 4 | Северный Чунозера | берег | 1 | 67.650 | 32.517 | 35.2 | 46 |
| | | | 2 | 67.650 | 32.517 | 35.2 | 125 |
| 5 | Южный берег Чунозера | | 1 | 67.681 | 32.300 | 37.4 | 63 |
| | | | 2 | 67.683 | 32.289 | 37.5 | 113 |
| 6 | Южный берег Чунозера | | 1 | 67.633 | 32.467 | 37.8 | 110 |
| | | | 2 | 67.633 | 32.467 | 37.8 | 252 |
| 7 | 183 км дороги М-18 | | 1 | 67.575 | 32.583 | 42.0 | 205 |
| | | | 2 | 67.575 | 32.583 | 42.0 | 185 |
| 8 | 191 км дороги М-18 | | 1 | 67.558 | 32.450 | 45.7 | 45 |
| | | | 2 | 67.550 | 32.450 | 46.6 | 43 |
| 9 | Долина р. Курки | | 1 | 67.683 | 32.909 | 28.0 | 293 |
| | | | 2 | 67.693 | 32.911 | 27.0 | 847 |
| 10 | Губа Воронья (оз. Имандра) | (оз. | 1 | 67.828 | 33.063 | 14.2 | 676 |
| | | | 2 | 67.822 | 33.063 | 14.7 | 2541 |
| 11 | Губа Сучья (оз. Имандра) | (оз. | 1 | 67.811 | 32.986 | 14.5 | 1050 |
| | | | 2 | 67.810 | 32.986 | 14.6 | 1103 |
| 12 | Губа Кулебячья (оз. Имандра) | (оз. | 1 | 67.769 | 32.933 | 18.6 | 540 |
| | | | 2 | 67.775 | 32.922 | 17.9 | 1805 |
| 13 | Ручей Ястребиный | | 1 | 67.726 | 33.028 | 24.0 | 348 |
| | | | 2 | 67.726 | 33.028 | 24.0 | 303 |
| 14 | Губа Кислая | | 1 | 67.703 | 32.972 | 26.1 | 350 |
| | | | 2 | 67.703 | 32.972 | 26.1 | 350 |
| 15 | Разъезд Ягельный Бор | | 1 | 68.050 | 33.167 | 17.5 | 90 |
| | | | 2 | 68.058 | 33.261 | 21.0 | 258 |
| | | | | | | | 176 |

Таблица 1. Продолжение

| № пун- кта от- бора проб | Местоположение пункта отбора проб | Тип почвы* | Географические координаты пункта отбора проб** | | Расстоя- ние от комби- ната, км | Содержание, мг/кг | | |
|---|--------------------------------------|---------------|--|--------|--|----------------------|------|------|
| | | | с. ш. | в. д. | | Ni | Cu | |
| 16 | Устье р. Малая Куна | | 1 | 67.953 | 33.339 | 19.2 | 63 | 68 |
| | | | 2 | 67.953 | 33.339 | 19.2 | 108 | 69 |
| 17 | Печ-озеро, конец | нижний | 1 | 68.014 | 33.472 | 26.2 | 42 | 61 |
| | | | 2 | 68.014 | 33.472 | 26.2 | 82 | 61 |
| 18 | Долина Чуны Суэнь-лага | ниже | 1 | 67.867 | 32.267 | 26.8 | 47 | 43 |
| | | | 2 | 67.867 | 32.267 | 26.8 | 78 | 33 |
| 19 | Оз. Верхний Ташким | | 1 | 67.983 | 32.283 | 25.5 | 29 | 27 |
| | | | 2 | 67.983 | 32.283 | 25.5 | 57 | 27 |
| 20 | Губа Пустая (оз. Имандра) | (оз. | 1 | 67.967 | 33.250 | 15.8 | 123 | 156 |
| | | | 2 | 67.974 | 33.261 | 16.5 | 290 | 130 |
| 21 | Сухой порог (оз. Монче) | | 1 | 68.106 | 32.792 | 19.4 | 1600 | 900 |
| | | | 2 | 68.106 | 32.792 | 19.4 | 660 | 240 |
| 22 | Пивнус губа (оз. Монче) | | 1 | 68.042 | 32.850 | 12.0 | 900 | 570 |
| | | | 2 | 68.042 | 32.850 | 12.0 | 680 | 725 |
| 23 | Койм озеро, верхний конец | | 1 | 67.976 | 33.225 | 15.1 | 275 | 189 |
| | | | 2 | 67.978 | 33.189 | 13.7 | 170 | 50 |
| 24 | Имандра, Монче-губа, ЮЗ берег | | 1 | 67.925 | 33.033 | 6.5 | 503 | 302 |
| | | | 2 | 67.925 | 33.033 | 6.5 | 420 | 270 |
| 25 | Имандра, берег против Койм о-ва | | 1 | 67.940 | 33.150 | 11.3 | 200 | 169 |
| | | | 2 | 67.944 | 33.156 | 11.5 | 170 | 50 |
| 26 | Ольховый мыс (оз. Имандра) | (оз. | 1 | 67.904 | 33.133 | 11.1 | 652 | 290 |
| | | | 2 | 67.904 | 33.133 | 11.1 | 240 | 100 |
| 27 | Бобровая губа (оз. Имандра) | (оз. | 1 | 67.892 | 33.067 | 9.2 | 450 | 308 |
| | | | 2 | 67.892 | 33.067 | 9.2 | 170 | 160 |
| 28 | Оз. Островское, западный берег | | 1 | 67.817 | 32.717 | 14.9 | 1400 | – |
| | | | 2 | 67.817 | 32.683 | 15.6 | 670 | 220 |
| 29 | Оз. Островское, восточный берег | | 1 | 67.808 | 32.750 | 15.1 | 2500 | 1634 |
| | | | 2 | 67.807 | 32.750 | 15.3 | 1300 | 580 |
| 30 | Оз. Кензис | | 1 | 67.718 | 32.672 | 25.7 | 513 | 222 |
| | | | 2 | 67.717 | 32.672 | 25.8 | 420 | 260 |

Таблица 1. Продолжение

| № пун- кта от- бора проб | Местоположение пункта отбора проб | Тип почвы* | Географические координаты пункта отбора проб** | | Расстоя- ние от комби- ната, км | Содержание, мг/кг | |
|---|--------------------------------------|---------------|--|--------|--|----------------------|-----|
| | | | с. ш. | в. д. | | Ni | Cu |
| 31 | Оз. Ель-яvr, северный конец | 1 | 67.681 | 32.643 | 30.0 | 425 | 125 |
| | | | 2 | 67.683 | 32.650 | 29.7 | 275 |
| 32 | Оз. Тулп, южный берег | 1 | 67.714 | 32.617 | 27.0 | 700 | 294 |
| | | | 2 | 67.714 | 32.617 | 27.0 | 140 |
| 33 | Оз. Купес | 1 | 68.050 | 32.000 | 38.9 | 20 | 12 |
| | | | 2 | 68.050 | 32.000 | 38.9 | 60 |
| 34 | Оз. Нявка, СЗ губа | 1 | 68.039 | 31.939 | 41.0 | 23 | 12 |
| | | | 2 | 68.039 | 31.939 | 41.0 | 90 |
| 35 | Устье Урд-реки | 1 | 68.047 | 32.267 | 28.5 | 30 | 25 |
| | | | 2 | 68.047 | 32.267 | 28.5 | 80 |
| 36 | Оз. Сиговое | 1 | 68.058 | 32.122 | 34.5 | 30 | 27 |
| | | | 2 | 68.058 | 32.122 | 34.5 | 40 |
| 37 | Между оз. В. Волчым и Н. Волчым | 1 | 68.163 | 32.525 | 29.3 | 138 | – |
| | | | 2 | 68.163 | 32.525 | 29.3 | 180 |

сона подтвердил значимое превышение содержания Ni над содержанием Cu как в болотных почвах ($z = 4.1, p = 0.0000$), так и в подзолах ($z = 4.9, p = 0.0000$). Это вполне объяснимо, т. к. в составе атмосферных выбросов в период исследований содержание техногенных соединений Ni превышало соответствующее содержание Cu (см. рис. 1).

Для оценки пространственного распределения содержания ТМ в верхних горизонтах почв все пункты почвенного опробования были разделены на квадранты по отношению к источнику загрязнения: северо-восточный, юго-восточный, юго-западный и северо-западный. Сопоставление данных о содержании Ni и Cu в исследуемых почвах показывает, что наименьшие концентрации ТМ в почвах обоих типов отмечаются в северо-восточном квадранте, а максимальные значения этого показателя наблюдаются в юго-восточном направлении от комбината (табл. 2). Согласно критерию Краскела – Уол-

лиса, между содержанием ТМ в исследуемых почвах в разных квадрантах существуют значимые различия: в болотных почвах $-z_{Ni} = 9.39, p = 0.024; z_{Cu} = 9.34, p = 0.025$; в подзолах соответственно $z_{Ni} = 8.69, p = 0.041; z_{Cu} = 8.84, p = 0.032$. Однако, вследствие очень большого интервала варьирования концентраций ТМ во всех рассматриваемых направлениях от комбината (см. табл. 2), значимые различия, согласно критерию Манна – Уитни, в содержании Ni и Cu в обоих типах исследуемых почв выявлены только между северо-восточным и юго-восточным квадрантами ($z_{Ni} = 3.32, p = 0.001; z_{Cu} = 3.20, p = 0.001$). Это можно объяснить преобладанием ветров, дующих в южном направлении от г. Мончегорска (Архив..., 2018). Соотношение Ni > Cu сохраняется в обоих типах почв во всех направлениях от источника загрязнения, что, как уже говорилось выше, обусловлено соотношением техногенных соединений Ni и Cu в атмосферных выбросах комбината.

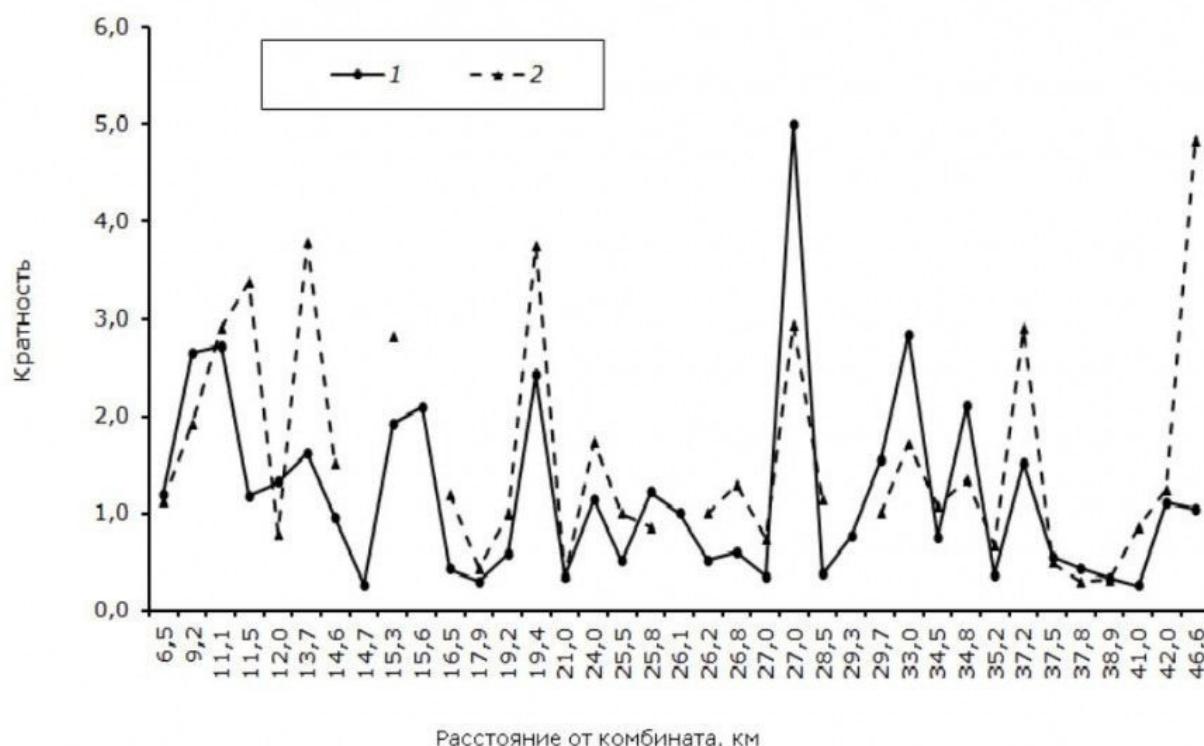


Рис. 3. Отношение содержания Ni или Cu в верхнем горизонте болотных почв к его содержанию в органогенном горизонте подзолов: 1 – Ni, 2 – Cu

Fig. 3. The ratio of the content of Ni or Cu in the upper horizon of bog soils to its content in the organogenic horizon of podzols: 1 – Ni, 2 – Cu

Таблица 2. Среднее содержание Ni и Cu в верхних горизонтах болотных почв и подзолов в разных направлениях от комбината «Североникель»

| Направление от комбината | Содержание ТМ в болотных почвах, мг/кг | | Содержание ТМ в подзолах, мг/кг | |
|--------------------------|--|---------------------|---------------------------------|---------------------|
| | Ni | Cu | Ni | Cu |
| Северо-восток | 120 ± 93* (42–275) | 107 ± 61 (60–190) | 182 ± 90 (82–290) | 97 ± 54 (50–175) |
| Юго-восток | 530 ± 247 (200–1050) | 400 ± 246 (170–920) | 790 ± 854 (170–2540) | 510 ± 575 (50–1770) |
| Юго-запад | 470 ± 663 (45–2500) | 245 ± 411 (35–1635) | 320 ± 356 (43–1300) | 157 ± 150 (20–580) |
| Северо-запад | 345 ± 590 (20–1600) | 225 ± 360 (12–900) | 230 ± 274 (40–680) | 144 ± 246 (14–725) |

Примечание. * – представлены средние значения со стандартными отклонениями, в скобках приведены минимальные и максимальные значения.

Корреляционный анализ данных выявил значимую связь между содержанием ТМ в обоих типах почв и расстоянием от комбината, однако значения коэффициентов кор-

реляции не слишком велики, для болотных почв: $r_{Ni} = -0.45$, $r_{Cu} = -0.47$, $p < 0.05$; для подзолов: $r_{Ni} = -0.43$, $r_{Cu} = -0.41$, $p < 0.05$.

Обсуждение

Сопоставление валового содержания ТМ в верхних горизонтах болотных почв и подзолов с их предельно допустимыми концентрациями (ПДК) (Предельно допустимые концентрации..., 2006) в почвах показало, что оно в среднем превышает ПДК по Ni в 10 раз, по Cu – 7 раз в обоих типах почв. Интервал варьирования этого показателя для болотных почв достаточно широкий и составляет 0.5–63 (Ni) и 0.4–50 (Cu) раз, для подзолов соответственно 1.0–64 и 0.4–54 раза. В пунктах отбора почвенных проб № 4, 5, 8, 17–19, 33–36 диапазон превышения ПДК составляет 0.4–2 раза, т. е. можно констатировать, что здесь практически отсутствует техногенное загрязнение почв тяжелыми металлами. Максимальный уровень загрязнения подзолов отмечается в пункте отбора проб № 10, а болотных почв – № 29, где превышение ПДК составляет соответственно по Ni 63 и 64 раза, по Cu – 50 и 54 раза, что свидетельствует об очень высоком уровне загрязнения почв ТМ. Однако можно предположить, что вследствие лучшей обеспеченности влагой фитотоксичность болотных почв меньше по отношению к лесной подстилке подзолов. Эта гипотеза получила подтверждение в работах (Кашулина, 2017, 2018; Кашулина и др., 2018). При исследовании распределения общего содержания Ni, Cu, Co, Cd, Pb и Zn в профиле почв шести катен в локальной зоне воздействия медно-никелевого предприятия авторы пришли к заключению, что именно лучшие условия увлажнения в подчиненных элементах ландшафта обуславливают значительно более высокую устойчивость сосудистых растений в этих условиях к воздействию техногенного фактора, даже при экстремальном его уровне.

Заключение

В результате проведенного сравнительного анализа уровня загрязнения верхних

Библиография

- Архив погоды в Мончегорске // Расписание погоды. URL: <https://rpru/> (дата обращения: 14.12.2018).
- Влияние промышленного атмосферного загрязнения на сосновые леса Кольского полуострова . Л.: БИН АН СССР, 1990. 195 с.
- Динамика лесных сообществ Северо-Запада России . СПб.: ООО «ВВМ», 2009. 276 с.
- Евдокимова Г. А., Калабин Г. В., Мозгова Н. П. Содержание и токсичность тяжелых металлов в почвах зоны воздействия воздушных выбросов комбината «Североникель» // Почвоведение. 2011. № 2. С. 261–268.
- Кашулина Г. М., Кубрак А. Н., Баскова Л. А., Коробейникова Н. М. Влияние длительного экстремального загрязнения выбросами комбината «Североникель» на содержание доступных для растений Р, К, Са и Mg в подзолах // Почвоведение. 2017. № 7. С. 860–873. DOI: [10.1134/](https://doi.org/10.1134/)

горизонтов торфяных болотных почв и Al–Fe-гумусовых подзолов в зоне воздействия атмосферных выбросов комбината «Североникель» (г. Мончегорск, Мурманская обл.) установлено отсутствие значимых различий в валовом содержании как Ni, так и Cu в сравниваемых типах почв. Нижние пределы варьирования содержания ТМ в обоих типах почв близки к региональным фоновым значениям и отмечаются либо в наиболее удаленных от источника загрязнения пунктах отбора проб, либо в экранируемых сопками местообитаниях. Средние значения валового содержания ТМ в исследуемых типах почв превышают региональные фоновые значения в 6–40 раз, что свидетельствует о высокой степени токсичности этих почв.

Уровень загрязнения ТМ верхних горизонтов почв варьирует в достаточно широком диапазоне от полного отсутствия до очень высокого (валовое содержание Ni и Cu превышает ПДК в 50–64 раза) и обусловлен удаленностью от источника атмосферных выбросов ($rNi = -(0.43-0.45)$, $rCu = -(0.41-0.47)$, $p < 0.05$), розой преобладающих ветров (в южном направлении от комбината средние значения содержания ТМ в обоих типах почв значимо больше по сравнению с их концентрациями в почвах северного направления) и орографией местности (экранирование сопками).

Отношение концентраций Ni/Cu практически во всех пробах исследуемых почв больше 1, т. е. содержание Ni почти всегда превышает таковое Cu независимо от типа почв, что обусловлено составом атмосферных выбросов техногенных соединений Ni и Cu.

При одинаковом уровне загрязнения почв ТМ экологические условия болотных местообитаний более благоприятны для растительности вследствие лучшей обеспеченности влагой болотных почв.

S1064229317070031

- Кашулина Г. М. Мониторинг загрязнения почв тяжелыми металлами в окрестностях медно-никелевого предприятия на Кольском полуострове // Почвоведение. 2018. № 4. С. 493–505. DOI: [1134/S1064229318040063](https://doi.org/10.31241/FNS.2018.15.118)
- Кашулина Г. М., Литвинова Т. И., Коробейникова Н. М. Сравнительный анализ пространственного распределения загрязненности почв тяжелыми металлами и состояния экосистем в локальной зоне воздействия медно-никелевого предприятия // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2018. № 15. С. 464–467. DOI: [10.31241/FNS.2018.15.118](https://doi.org/10.31241/FNS.2018.15.118)
- Лукина Н. В., Никонов В. В. Биогеохимические циклы в лесах севера в условиях аэробиогенного загрязнения . Апатиты: КНЦ РАН, 1996. Ч. 1. 213 с.; Ч. 2. 192 с.
- Лукина Н. В., Орлова М. А., Исаева Л. Г. Плодородие лесных почв как основа взаимосвязи почва – растительность // Лесоведение. 2010. № 5. С. 45–56.
- Лянгузова И. В., Гольдвирт Д. К., Фадеева И. К. Пространственно-временная динамика загрязнения Al–Fe-гумусового подзола в зоне влияния комбината цветной металлургии // Почвоведение. 2016. № 10. С. 1261–1276. DOI: [1134/S1064229316100094](https://doi.org/10.31241/FNS.2018.15.118)
- Национальный атлас почв Российской Федерации . М.: АСТРЕЛЬ, 2011. 632 с.
- Переверзев В. Н. Современные почвенные процессы в биогеоценозах Кольского полуострова . М.: Наука, 2006. 153 с.
- Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почвах: Гигиенические нормативы . ГН 2.1.7.2041-06. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. 15 с.
- Barcan V. Leaching of nickel and copper from a soil contaminated by metallurgical dust // Environmental International. 2002a. Vol. 28. № 1–2. P. 63–68.
- Barcan V. Nature and origin of multicomponent aerial emissions of the copper-nickel smelter complex // Environment International. 2002b. Vol. 28. P. 451–456.
- Kozlov M. V., Zvereva E. L. Industrial barrens: extreme habitats created by non-ferrous metallurgy // Rev. Environ. Sci. Biotechnol. 2007. Vol. 6. P. 231–259.
- Kozlov M. V., Zvereva E. L., Zverev V. E. Impacts of point polluters on terrestrial biota. Dordrecht; Heidelberg; London, New-York: Springer, 2009. 466 p.

Благодарности

Авторы благодарят к. б. н. А. Ю. Лянгузова, ведущего специалиста Ресурсного центра «Обсерватория экологической безопасности» Научного парка Санкт-Петербургского государственного университета, за помощь в статистической обработке данных и представлении результатов исследования.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE LEVEL OF POLLUTION OF THE ORGANOCHEMICAL HORIZON OF AL-Fe-PODZOLS AND BOG SOILS IN THE LOCAL IMPACT ZONE OF THE COPPER-NICKEL PLANT

LYANGUZOVA
Irina Vladimirovna

V. L. Komarov Botanical Institute RAS, ILyanguzova@binran.ru

BARCAN
Valery Shmerovich

Lapland State Biosphere Reserve, barcan.valery2010@yandex.ru

Key words:

Al-Fe-humus soils
Folic / Histic Albic Podzols
peat boggy soils
Cryic Ombric Fibric Histosols
aerotechnogenic pollution
heavy metals
Kola Peninsula

Summary: On the Kola Peninsula, peat bog soils and Al-Fe-humus podzols (according to the WRB classification, Cryic Ombric Fibric Histosols and Folic/Histic Albic Podzols, respectively) are the most common. However, comparison of their level of pollution with heavy metals (HM) has never been carried out. The purpose of this work is a comparative analysis of the level of HM pollution of the upper horizons of peat bog soils and Al-Fe-humus podzols in the impact zone of the copper-nickel plant. Soil testing was carried out in 37 closely located habitats (forest and swamp) situated in the zone of atmospheric emissions of the Severonikel plant (Murmansk region). The total content of Ni and Cu in soil samples was determined by atomic absorption spectrometry after their dissolution in a mixture of concentrated acids HNO₃ and HCl. Statistical analysis of the soil analysis results was carried out in Statistica 12 using nonparametric Kruskal-Wallis, Mann-Whitney and Wilcoxon tests. It was established that both types of studied soils did not significantly differ in the total content of HM in the upper horizons of the soil profile. The level of pollution of compared soils is determined by the distance from the source of pollution, the rose of the prevailing winds and the orography of the terrain. The Ni content in almost all soil samples exceeds the Cu concentration, which is due to the excess of atmospheric emissions of technogenic Ni compounds compared to the content of Cu compounds in them. The phytotoxicity of both types of studied soils varies widely: from its complete absence to a high and very high degree. At the same level of soil pollution with HM swamp habitats are more prosperous due to better moisture content of peat bog soils

Received on: 05 August 2019

Published on: 19 December 2019

References

- Barcan V. Leaching of nickel and copper from a soil contaminated by metallurgical dust, Environmental International. 2002a. Vol. 28. No. 1–2. P. 63–68.
Barcan V. Nature and origin of multicomponent aerial emissions of the copper-nickel smelter complex, Environment International. 2002b. Vol. 28. P. 451–456.
Dynamics of forest communities in the North-West of Russia. SPb.: OOO «VVM», 2009. 276 p.
Evdokimova G. A. Kalabin G. V. Mozgova N. P. Content and toxicity of heavy metals in soils of the zone affected by aerial emissions from the Severonikel enterprise, Pochvovedenie. 2011. No. 2. P. 261–268.
Kashulina G. M. Litvinova T. I. Korobeynikova N. M. Comparative analysis of the spatial distribution of soil pollution with heavy metals and the state of ecosystems in the local impact zone of the copper-nickel enterprise, Trudy Fersmanovskoy nauchnoy sessii GI KNC RAN. 2018. No. 15. P. 464–467. DOI: 10.31241/FNS.2018.15.118
Kashulina G. M. Extreme pollution of soils by emissions of the Copper-Nickel industrial complex in the Kola Peninsula, Pochvovedenie. 2017. No. 7. P. 860–873. DOI: [10.1134/S1064229317070031](https://doi.org/10.1134/S1064229317070031)

- Kashulina G. M. Monitoring of soil contamination with heavy metals in the impact zone of copper-nickel enterprise on the Kola Peninsula, Pochvovedenie. 2018. No. 4. P. 493–505. DOI: [1134/S1064229318040063](https://doi.org/10.1344/pochv2018_0063)
- Kashulina G. M., Kubrak A. N., Baskova L. A., Korobeynikova N. M. Vliyanie dlitel'nogo ekstremal'nogo zagryazneniya vybrosami kombinata «Severonikel'» na soderzhanie dostupnyh dlya rasteniy P, K, Ca i Mg v podzolah [Influence of prolonged extreme pollution from the «Severonikel» industrial complex on the content of P, K, Ca and Mg available for plants in podzols, Vestnik MGTU. 2016. T. 19. No. 1/2. P. 184–193.
- Kozlov M. V., Zvereva E. L. Industrial barrens: extreme habitats created by non-ferrous metallurgy, Rev. Environ. Sci. Biotechnol. 2007. Vol. 6. P. 231–259.
- Kozlov M. V., Zvereva E. L., Zverev V. E. Impacts of point polluters on terrestrial biota. Dordrecht; Heidelberg; London, New-York: Springer, 2009. 466 p.
- Lukina N. V. Nikonorov V. V. Biogeochemical cycles in the forests of the North in conditions of aerotechnogenic pollution. Apatity: KNC RAN, 1996. Ch. 1. 213 p.; Ch. 2. 192 p.
- Lukina N. V. Orlova M. A. Isaeva L. G. Forest soil fertility as the base of the relationship soil – vegetation, Lesovedenie. 2010. No. 5. P. 45–56.
- Lyanguzova I. V. Gol'dvirov D. K. Fadeeva I. K. Spatiotemporal dynamics of the pollution of Al-Fe-Humus Podzols in the impact zone of the nonferrous metallurgical plant, Pochvovedenie. 2016. No. 10. P. 1261–1276. DOI: 1134/S1064229316100094
- Maximum permissible concentrations (MPC) of chemicals in soils: hygienic standards. GN 2.1.7.2041-06. M.: Federal'nyy centr gigieny i epidemiologii Rospotrebnadzora, 2006. 15 p.
- National Atlas of Soils of the Russian Federation. M.: ASTREL', 2011. 632 p.
- Pereverzev V. N. Modern soil processes in the biogeocenoses of the Kola Peninsula. M.: Nauka, 2006. 153 p.
- The influence of industrial air pollution on pine forests of the Kola Peninsula. L.: BIN AN SSSR, 1990. 195 p.
- Weather archive in Monchegorsk, Raspisanie pogody. URL: <https://rpru/> (data obrashcheniya: 14.12.2018).