

МЕДЬ И НИКЕЛЬ В ЛАНДШАФТАХ СЕВЕРО-ЗАПАДА КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Аннотация. В статье приводятся данные исследования, посвященного определению содержания Cu и Ni в основных компонентах (почвы, почвообразующие породы, растительность, снеговая вода) северо-таежных, лесотундровых и горно-тундровых ландшафтов северо-запада Кольского полуострова. Выявлены особенности накопления и миграции рассматриваемых катионов, определены соотношения валовых и кислоторастворимых форм меди и никеля. Определена степень влияния техногенной эмиссии Cu и Ni в условиях промышленной добычи и производства данных металлов в пределах региона.

Ключевые слова: техногенное загрязнение, тяжелые металлы, медь, никель, латеральная миграция металлов, профильная миграция металлов, кислоторастворимые формы, валовые формы.

© *A. Ezhov*

COPPER AND NICKEL IN LANDSCAPES OF THE NORTHWEST OF KOLA PENINSULA

Abstract. In the article the data of the research devoted to the definition of the maintenance of Cu and Ni in the basic components (soils, parent rocks, vegetation, snow water) of North taiga, forest-tundra and mountain-tundra landscapes of the northwest of Kola peninsula are given. The features of accumulation and migration of considered cations are revealed, the correlation of total and acidsoluble forms of copper and nickel are defined. The degree of the influence of technogenic issue of Cu and Ni in the conditions of industrial extraction and manufacture of the given metals within the region is defined.

Key words: technogenic pollution, heavy metals, copper, nickel, lateral migration of metals, profile migration of metals, acidsoluble forms, total forms.

Объекты и методы исследования

Медь и никель – одни из наиболее распространенных микроэлементов в окружающей среде, играющие важные биогеохимические роли. В горных породах медь содержится в количестве от 50 до 2000 мг/кг, а никель – от 80 до 1600 мг/кг [11, 11]; средние кларковые значения в земной коре составляют для Cu – 58 мг/кг, для Ni – 47 мг/кг [2, 559; 5, 14]. Содержание данных элементов в почвенно-растительном покрове, воде и атмосфере планеты колеблется в широких пределах и зависит от суммы многочисленных факторов, имеющих местные специфические особенности, и, в первую очередь, от химического состава почвообразующих пород и грунтов и наличия дополнительных антропогенных источников (промышленность, сельское хозяйство, транспорт и пр.).

В условиях современного природопользования валовые концентрации металлов дополняются определенным количеством элементов, имеющих техногенное происхождение. В районах промышленной добычи, транспортировки и переработки металлосодержащего сырья данная техногенная эмиссия зачастую значительно превышает фоновые значения концентраций металлов. Примером таких техногенных геохимических аномалий для Cu

и Ni могут выступать ландшафты, расположенные в зоне влияния предприятий цветной металлургии. В нашем исследовании в качестве такого объекта выступает одно из предприятий Кольской ГМК, расположенное в пгт. Никель, в 7 км от границы с Норвегией.

В ходе полевых исследований 2007-2009 гг. в районе поселка Никель, а также на территории ГПЗ «Пасвик» и сопредельных возвышенных массивах, общей площадью около 1000 км², нами было заложено 10 комплексных профилей общей длиной более 20 км. По данным катенам проводился отбор растительного материала, почвенных горизонтов, почвообразующих и подстилающих пород, снега. Во всех отобранных образцах в лаборатории кафедры геологии и геохимии ландшафта МПГУ автором проводилось определение содержания геохимически активных форм ряда тяжелых металлов, в том числе Cu и Ni. Концентрации металлов определялись методом атомно-абсорбционной спектроскопии в экстракции 1 л HCl (24 часа) на спектрометре «Спектр-5-3» в пламене пропан-воздух. Оптимальный диапазон чувствительности прибора – концентрация искомого элемента в количестве от 0,00001 до 100 мг/дм³, при относительной погрешности измерения оптической плотности не более 5%.

Кроме этого, в почвенных горизонтах и золе растений проведено определение валовых концентраций меди и никеля. Исследование валовых форм проводилось в институте геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН на спектрометре “Axios Advanced”.

Результаты и их обсуждение

В качестве коренных пород на исследуемой территории наиболее часто выступают гранито-гнейсы, кристаллические и зеленокаменные (хлорит-серпентинитовые) сульфидсодержащие сланцы. Определение валового химического состава данных пород показало, что содержание Cu и Ni находится в пределах кларковых значений для этих образований. Так, гранито-гнейсы содержат 35-50 мг/кг Cu и 90-100 мг/кг Ni. Хлоритовые сланцы содержат 44-60 мг/кг Cu и 100-136 мг/кг Ni. Наибольшее количество меди и никеля содержат гипербазитовые породы с заметным сульфидным оруденением, складывающиеся северную часть Печенгского рудного поля. Для этих пород определены следующие валовые значения Cu и Ni: 200-300 и 2900 мг/кг соответственно. Эти результаты хорошо согласуются с литературными данными [4, 58-59].

В пределах исследуемой территории формируется пестрый почвенный покров, что связано с сильной расчлененностью рельефа и разнообразием почвообразующих пород, представленных комплексом ледниковых и водно-ледниковых, коллювиальных, элювиальных и морских отложений позднеплейстоценового и голоценового возраста. Наибольшее распространение имеют моренные песчаные и крупновалунные отложения валдайского возраста, отвечающие на 90-95 % по минералого-петрографическому составу коренным породам [8, 45; 6, 9]. Результаты определения валовых и кислоторастворимых форм меди и никеля в различных почвообразующих породах приведены в табл. 1.

Соотношение валовых и кислоторастворимых форм меди в четвертичных отложениях северо-запада Кольского полуострова (в мг/кг)

четвертичные отложения	моренные (10 образ.)	элювиальные (6 образ.)	морские (6 образ.)
Cu	2-13(4,2) 25-40 (31,0)	3-17 (5,5) 8-40 (25,1)	6-26 (22,2) 22-67 (45,5)
Ni	2-8 (5,0) 27-80 (42,5)	0,2-2 (0,8) 20-115 (90,9)	0-6 (3,0) 23-103 (56,3)

Примечание: в числителе указаны пределы концентраций кислоторастворимых форм, в знаменателе – пределы валовых концентраций, в скобках – средние значения.

Как видно из приведенных данных, Cu более подвижна, чем Ni, причем это соотношение резко возрастает в более сортированных и тяжелых по механическому составу морских отложениях, где около 50 % приходится на кислоторастворимые формы меди.

Наибольшее распространение на исследуемой территории имеет комплекс Al-Fe-гумусовых почв, объединяющий разнообразные подзолы и подбуры. Выраженность элювиально-иллювиального процесса определяется принадлежностью почвенного профиля к определенному элементу рельефа, механическим и минералогическим составом почвообразующей породы, характером увлажнения территории и особенностями растительных сообществ. В зависимости от интенсивности и сочетания миграций гумусового вещества и полуторных окислов по профилю подзолов, среди них выделяют иллювиально-железистые, иллювиально-гумусовые и торфянистые подзолы [10]. В условиях подчиненных ландшафтов, по межгорным котловинам, пологим склонам и приречным долинам, в условиях избыточного грунтового и атмосферного увлажнения формируются органо-генные почвы, представленные торфяно-болотными разностями. Мощность торфяной толщи в регионе не превышает 1,5-2,0 м [9, 25], а в среднем составляет 0,5 м.

В подзолах профильное перераспределение металлов, в т. ч. Ni и Cu, имеет хорошо выраженную элювиально-иллювиальную схему с поверхностной аккумуляцией в органо-генных горизонтах (рис. 1). В подстилке северо-таежных лесов северо-запада Кольского полуострова концентрируется значительное количество меди и никеля. Для условно фоновой территории, расположенной в 50-80 км к юго-западу от пос. Никель, нами определены концентрации геохимически активных форм Cu в пределах 30-130 мг/кг (валовые – 700-1500 мг/кг), Ni – от 10 до 70 мг/кг (валовые – 1500-3500 мг/кг). Уже на расстоянии 15-20 км от комбината содержание как валовых, так и кислоторастворимых форм Cu и Ni возрастает. Так, геохимически активные формы меди в подстилке и верхнем оторфованном горизонте подзола достигают 150-270 мг/кг (валовые – 1000-2000 мг/кг), а никеля – до 90-120 мг/кг (валовые – 1500-4000 мг/кг). В зоне непосредственного влияния аэрозольных выбросов комбината наблюдается резкое увеличение кислоторастворимых форм Cu до 2000-2500 мг/кг (валовые – 7000-10000 мг/кг), Ni – до 4000 мг/кг (валовые – 8000-12000 мг/кг).

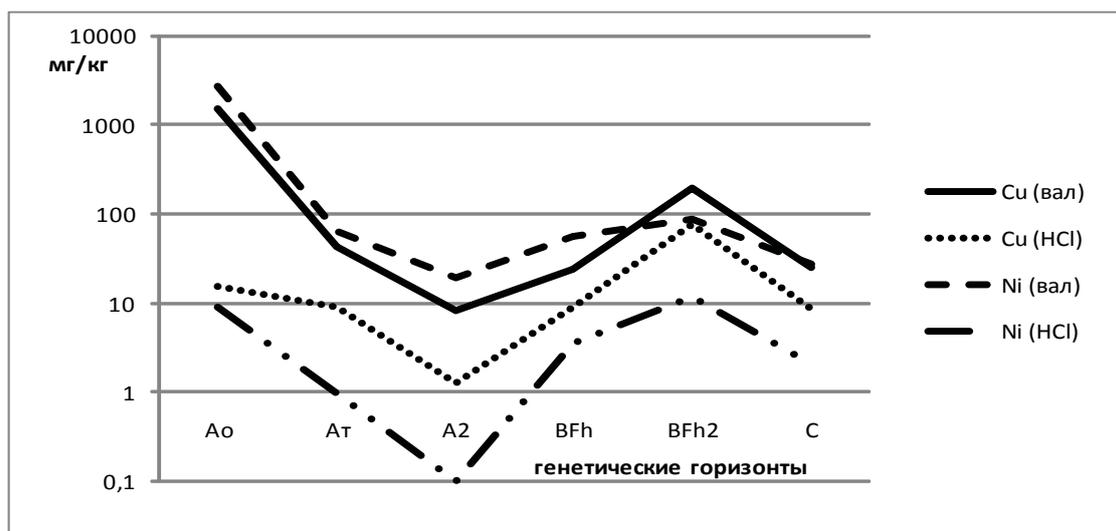


Рис. 1. Распределение валовых и кислоторастворимых форм Cu и Ni в профиле подзола, заложенного в пределах фоновой территории (разрез 08-07)

При движении в глубь профиля подзола наблюдается резкое снижения концентрации большинства катионов металлов, в т.ч. Cu и Ni. В большей части элювиальных горизонтов подзолов в пределах фоновой территории кислоторастворимый никель не обнаружен (валовые формы – 0-3 мг/кг), а медь составляет всего 1-3 мг/кг (валовые – 15-25 мг/кг).

Необходимо отметить, что подзолы, формирующиеся в непосредственной зоне влияния металлургического предприятия, имеют нарушенную схему перераспределения металлов. В таких подзолах на элювиально-иллювиальный рисунок накладывается аккумулятивная схема, что приводит к стиранию пиковых значений содержания металлов в горизонтах B_H и B_F (рис. 2).

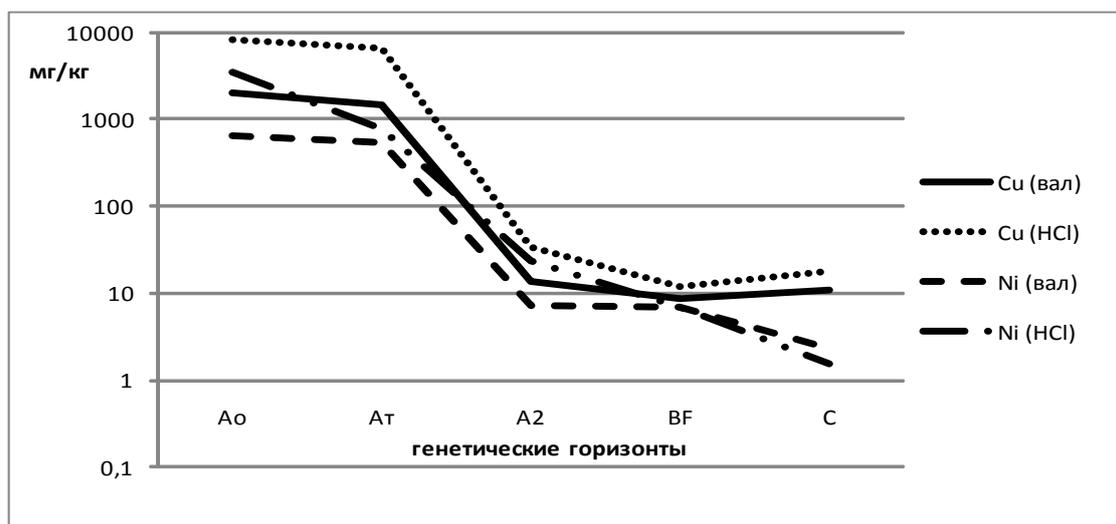


Рис. 2. Распределение валовых и кислоторастворимых форм Cu и Ni в профиле подзола, заложенного в 1 км от комбината (разрез 39-08).

Таким образом, основным барьером, препятствующим проникновению тяжелых металлов в глубь профиля, в условиях рассматриваемой территории, является биологический барьер, на котором закрепляется значительная часть Cu и Ni, поступающая в почву с атмосферными выпадениями. Коэффициент почвенной дифференциации (A/C)

в зависимости от типа почвообразования для меди варьирует от 10 до 22, а для никеля – от 9 до 32.

Торфяно-болотные почвы региона характеризуются поверхностно-аккумулятивной схемой перераспределения меди и никеля, с абсолютным максимумом в горизонте T_1 , резким уменьшением с глубиной, с некоторым увеличением геохимически активных форм в нижних горизонтах, переходных к почвообразующим или подстилающим породам. В среднем торфяная масса фоновых болотных комплексов содержит от 10 до 30 мг/кг Cu (валовые формы – 40-500 мг/кг) и от 0 до 15 мг/кг Ni (валовые – 100-800 мг/кг).

Значительную роль в перераспределении металлов в почвенном покрове играет растительность. В условиях богатого химического состава почвообразующих пород, геохимического сопряжения ландшафтов и дополнительной техногенной эмиссии некоторых элементов растительный покров региона концентрирует значительные массы Cu и Ni. Определение валового содержания и кислоторастворимых форм элементов проводилось в золе растений, полученной методом сухого озоления при 800°C.

Наиболее распространенными древесными породами на исследуемой территории являются сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), береза пушистая (*Betula pubescens* Ehrh.), береза извилистая (*B. tortuosa* Ledeb.) и осина (*Populus tremula* L.). Под разреженным древесным пологом формируется мохово-лишайниково-кустарничковый комплекс, преобладание отдельных компонентов в котором зависит от ряда факторов, ведущие из которых – абсолютная высота территории, экспозиция склона и степень увлажнения.

Средняя зольность листьев березы – 3,65 %, листьев осины – 6,85 %, хвои сосны – 1,95 %. Среднее содержание кислоторастворимой меди в сухом веществе листьев березы составляет 27,8 мг/кг (фоновый участок – 16 мг/кг, в районе пос. Никель – 120 мг/кг), валовое содержание колеблется от 20 до 200 мг/кг; среднее содержание кислоторастворимого никеля – 50,6 мг/кг (фоновый участок – 1,5 мг/кг, в районе пос. Никель – 125 мг/кг), валовое содержание – от 5 до 300 мг/кг. Листья осины накапливают более значительные концентрации данных металлов. На фоновой территории кислоторастворимых форм меди содержится 10-15 мг/кг абсолютно сухих листьев (валовые формы – 30-150 мг/кг). В районе пос. Никель концентрация меди в листьях осины возрастает до 350 мг/кг (валовые формы – до 500-600 мг/кг). Сходная картина наблюдается и для Ni. Хвоя сосны в среднем содержит 19,8 мг Cu и 29,5 мг Ni на кг сухой массы (валовые формы – 90 мг/кг Cu и 135 мг/кг Ni).

Для оценки значения техногенной эмиссии тяжелых металлов проводились гидрохимические исследования талых снеговых вод. Снег собирался в декабре и в апреле в пределах комплексных профилей. Установлено, что как в свежем, так и кумулятивном снеге фоновой территории концентрация меди и никеля имеет незначительные показатели – 0,037-0,058 мг/л Cu и 0,0001-0,001 мг/л Ni. Снег, отобранный в зоне 1-2 км вокруг пос. Никель, концентрирует большие запасы металлов, имея высокий показатель общей минерализации – до 100-150 мг/л. Здесь концентрация меди изменяется от 0,2 до 2,3 мг/л, а никеля – 0,2 до 2,7 мг/л, что превышает фоновые показатели в тысячи раз.

Заключение

В ходе проведенного исследования распространения валовых и геохимически активных форм меди и никеля в компонентах северо-таежных и лесотундровых ландшафтов установлены некоторые закономерности. Источником поступления исследуемых металлов выступают относительно свежие четвертичные отложения, в мелкоземистой части которых содержание Cu и Ni близко или превышает кларковые значения для этих металлов. Колоссальное количество Cu и Ni в ландшафты северо-запада Кольского полуострова поступает вследствие антропогенной деятельности. Эмиссия тяжелых металлов с атмосферными выбросами комбината «Печенганикель» увеличивает концентрацию Cu

и Ni в снеговом покрове – в тысячи раз, в верхних органогенных горизонтах в сотни раз, в вегетативных частях растений – в десятки раз.

Отмечено, что никель накапливается в почве и растениях в больших концентрациях, нежели Cu, однако процентное отношение подвижных форм невелико, тогда как кислоторастворимые формы меди составляют в среднем 20-40 % от суммарного содержания этого элемента в почве и 60-80 % – в растениях.

Установленные в ходе исследования аномальные концентрации металлов в почве и растениях, наряду с выбросами диоксида серы и азота (до 45-65 тыс. т в год), представляют серьезную угрозу для существования весьма чувствительных к загрязнению северотаежных лесных сообществ, полностью уничтоженных в зоне так называемой «техногенной пустоши» [7, 213]. Значительные запасы металлов на щелочном барьере иллювиальных горизонтов и биологическом барьере органогенной части почв могут стать дополнительными источниками загрязнения для других компонентов ландшафта, в том числе для растений, животных, грунтовых и поверхностных вод [2, 17].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Алещукин Л.В. Геохимия меди и никеля в основных типах почв Мурманского Заполярья (Центральные и Северо-западные районы). Автореф. дисс....канд.географ.наук. М., 1964.
2. Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. М.: Наука. № 7. 1962.
3. Глазовская М.А. Методологические основы оценки эколого-геохимической устойчивости почв к техногенным воздействиям. М.: изд-во МГУ, 1997.
4. Горбунов Г.И. Медно-никелевые месторождения Печенги. Тр. ин-та ИГЕМ РАН. Новая серия. Вып. 2 (Отв. редактор Н.П. Лавров). М.: ГЕОС, 1999.
5. Добровольский В.В. География микроэлементов. Глобальное рассеивание. М.: Мысль, 1983.
6. Добровольский В.В. Минералогия и ландшафтно-геохимическая характеристика четвертичных отложений Кольского полуострова / Материалы к геохимии ландшафтов Кольского полуострова. М.: МГПИ им. В.И. Ленина, 1972.
7. Евсеев А.В. Почвенно-геохимические особенности экотонов Субарктики России. // в кн. Геохимия ландшафтов и география почв. Под ред. Н.С. Касимова и М.И. Герасимовой. Смоленск: Ойкумена, 2002.
8. Лаврова М.М. Четвертичная геология Кольского полуострова. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1960.
9. Летопись природы заповедника «Пасвик»: Кн. 6: 1999 г. / Сост. О.А. Макарова. Мурманск: НИЦ Пазори, 2001.
10. Переверзев В.Н. Лесные почвы Кольского полуострова; ПАБСИ им. Н.А. Аврорина КНЦ РАН. М.: Наука, 2004.
11. Сидоренко Г.И., Ицкова А.И. Никель (Гигиенические аспекты охраны окружающей среды) / АМН СССР. М.: Медицина, 1980.