

Д.С.КОРЕЛЬСКИЙ, канд. техн. наук, ассистент, *dnk1984@mail.ru*

М.А.ЧУКАЕВА, студентка, *shellx@bk.ru*

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

D.S.KORELSKIY, PhD in eng. sc., assistant lecturer, *dnk1984@mail.ru*

M.A.CHUKAEVA, student, *shellx@bk.ru*

National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ, ИСПЫТЫВАЮЩИХ СТРЕСС ПРИ АТМОТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКЕ

Основной целью проводимых исследований являлся мониторинг и оценка состояния почвенно-растительного покрова в лесных экосистемах, находящихся под влиянием промышленного загрязнения комбината «Североникель», зона воздействия которого на природную среду охватывает 1400 км². В ходе экспедиции в Мурманской области, на территориях, подверженных непосредственному атмосферному воздействию ОАО «Североникель» на различном расстоянии от комбината и на фоновых территориях отбирались пробы верхних почвенных горизонтов и растений. Это позволило определить общую степень загрязненности почв на различном расстоянии от предприятия и распределение накопления тяжелых металлов по различным горизонтам, а также оценить негативное воздействие на почвенный покров и различные виды растительности.

Ключевые слова: цветная металлургия, окружающая среда, растительность, тяжелые металлы, почва, рекультивация.

ESTIMATION OF THE CONDITION OF THE SOIL-VEGETATIVE COMPLEXES HAVING STRESS AT ATMOSPHERIC IMPACT

The main research objective was monitoring and assessment of terricolous and plant cover condition in forest ecosystems influenced by industrial pollution by the Severonickel Industrial Plant, which impact zone covers 1.4 thousand sq. km. During an expedition to the Murmansk Region samples of upper soil layers and plants were taken in areas directly affected by atmospheric impact from ОАО Severonickel both at various distances from the plant and in background territories. This will help to determine the overall degree of soil contamination at various distances from the plant as well as distribution of heavy metals accumulated in various soil layers and a complex estimation of adverse impact on soil cover and various plant species.

Key words: nonferrous metallurgy, environment, vegetation, heavy metals, soil, recultivation.

В последние десятилетия техногенное воздействие стало ведущим по значимости и масштабу экологическим фактором, влияющим на эколого-экономическое состояние территорий. Интенсивное промышленное и сельскохозяйственное использование природных ресурсов вызвало существенные из-

менения биогеохимических циклов большинства химических элементов. В первую очередь это относится к тяжелым металлам (ТМ), накопление которых в природной среде в высоких концентрациях часто связано с антропогенной деятельностью. Значительная часть ТМ, загрязняющих природ-

ную среду, попадает в почву, которая является важнейшим биогеохимическим барьером и основной жизнеобеспечивающей сферой для растений, и соответственно в наибольшей степени испытывает негативные воздействия, обусловленные многообразной производственной деятельностью человека, и аккумулирует продукты техногенеза.

В Российской Федерации площадь загрязненных ТМ земель составляет более 70 млн га, из них около 1 млн га имеют чрезвычайно опасный уровень загрязнения. На месте уничтоженных лесных и тундровых природных ландшафтов формируются техногенные ландшафты, значительная часть которых в течение многих десятилетий по различным причинам сохраняет облик техногенной пустыни. В почвенно-экологическом плане это означает замедление или полное отсутствие почвовосстановительных процессов, в геоботаническом – резкое замедление процессов восстановления растительного покрова, в санитарно-гигиеническом – ухудшение качества окружающей среды для человека.

В процессе многолетней производственной деятельности Кольской ГМК атмосферные выпадения ТМ и соединений серы привели к формированию техногенных наносов различной мощности площадью более 1500 км² с концентрациями подвижных форм Ni и Cu в верхних почвенных горизонтах от десятков до тысяч миллиграммов на килограмм. На расстоянии до 30-35 км от производственных площадей наблюдается разрушение и деградация природных почвенно-растительных комплексов. Аккумуляция загрязняющих веществ в поверхностном слое почв делает их непригодными для самостоятельного восстановления растительных сообществ и является источником загрязнения грунтовых вод. Для ускорения процессов восстановления техногенных ландшафтов необходимо применять комплекс рекультивационных мероприятий, направленных на создание оптимальных условий для восстановительных сукцессий в фитоценозах.

В настоящее время комбинат «Североникель» – промышленная площадка ОАО

«Кольская ГМК», где перерабатывается файнштейн, поступающий с комбината «Печенганикель» и из Заполярного филиала ГМК «Норильский никель» и завершается технологический цикл производства товарной продукции компании – электролитного никеля и электролитной меди. За время функционирования комбината «Североникель» в атмосферу поступило около 52 трлн т сернистого газа, до 200 000 т никеля, около 25000 т серной кислоты, больше 10 тыс. т сероводорода, хлора, фенола и формальдегида. Наиболее сильное техногенное воздействие на ландшафты оказывают разносимые ветром на десятки километров газообразные выбросы, прежде всего оксиды серы (образующие в соединении с атмосферной влагой серную кислоту) и аэрозольные выбросы ТМ.

В ходе экспедиционных исследований в зоне воздействия Кольской ГМК отбирались пробы растений и почвы верхних почвенных горизонтов*. На лабораторной базе Горного университета были разработаны методики анализа и произведена оценка уровней загрязнения природных почвенно-растительных комплексов.

Влияние выпавших кислых дождей на лесные почвы и лесные экосистемы проявляется в радиусе более 100 км от крупных промышленных центров и агломераций и 50 км от крупных металлургических предприятий. Здесь экосистемы находятся под влиянием избыточного поступления серы и других поллютантов. Вблизи предприятий, выбрасывающих диоксид серы, рН почвы достигает величины 2,1-2,8. В последние годы выбросы диоксида серы Кольской ГМК в атмосферу составляют около 140 тыс т/год.

* Корельский Д.С. Мониторинг почвенно-растительного покрова для рекультивации зон экологической катастрофы ОАО «Североникель» // Материалы 8-го Междунар. форума молодых ученых стран Тихоокеанского региона, Владивосток, 2008. С.76-77.

Korelskiy D.S. Monitoring and land recultivation of the wood communities which are being under influence of combine «Severonikel» // Proceedings of the Eight Intern. Young Scholars' Forum of the Asia-Pacific Region Countries. Vladivostok, 2008. P.76-77.

Для района исследования зональными являются северо-таежные подзолистые почвы. В результате проведенных исследований выявлено, что наиболее чувствительными к кислотному загрязнению являются Al-Fe-гумусовые подзолистые почвы, а наименее чувствительными – все тяжелые, глееватые, торфяные и пойменные почвы.

По данным многолетних исследований, проводимых в зоне воздействия Кольской ГМК, зона техногенной пустоши (полной деградации экосистем) окаймляет комбинат. Ее границы отстоят от комбината на 5-10 км в зависимости от направления ветров. Ежегодное выпадение соединений серы на поверхность почвы до 20-30 т, сумма металлов до 60 т. Органогенный горизонт почвы разрушен, на дневную поверхность выходят минеральные почвенные горизонты (подзолистые и иллювиально-гумусные). Над этими горизонтами имеется тонкий (0,5-2 см) техногенный серый пылевато-супесчаный горизонт, в котором вблизи комбината концентрируется до 7 % никеля. На этой территории, которая в настоящее время практически полностью лишена растительного покрова, начали формироваться овраги.

Зона деградации экосистем окружает техногенную пустошь и расположена на расстоянии от 5-8 до 15 км. Переход между зонами постепенный, годовое выпадение соединений серы на 1 км² достигало 3 т, сумма металлов до 5 т, что даже при существующем снижении аэротехногенной нагрузки привело к формированию огромных литохимических ореолов. Внешний облик таких техногенно-трансформированных ландшафтов представляет собой техногенно обусловленное редколесье. Возраст хвои сосны 2-3 года (в нормальных условиях 6-7 лет). Накопление загрязняющих веществ в хвое сосны характеризуют следующие данные: сера до 3000, никель 100-160, медь 70-200 мг/кг. Площадь зоны оценивается в 250-300 км², средняя концентрация SO₂ в воздухе зоны до 0,08-0,09 мг/м³, никеля и меди в пределах 0,05-0,07 мг/м³. Увеличение суммарного количества подвижных форм Ni и Cu в перегнойно-аккумулятивном горизонте до 200 мг/кг почвы и более вызывает повреж-

ждение корневых систем растений, рост токсичных концентраций ТМ приводит к массовому отмиранию сначала физиологически активных корней, а затем и более крупных корней растений.

На расстоянии от 15 до 30 км расположена зона разрушения таежных экосистем, в которой годовые выпадения соединений серы достигали 1000-2000 кг/км², сумма металлов (никель, медь, марганец, цинк) 50-500 кг/км²; концентрация SO₂ в воздухе 0,07 мг/м³, никеля и меди 0,008 мг/м³. Этой зоне свойственны редкостойные хвойные леса, травяно-кустарничковый ярус практически не разрушен, встречаются напочвенные лишайники в угнетенном состоянии.

Начальные стадии нарушения экосистем регистрируются на расстоянии свыше 30 км и могут занимать огромные территории, смыкаясь с зонами воздействия соседних промышленных узлов.

По данным лишеноиндикации в зоне воздействия комбината «Североникель» встречаемость различных видов эпифитных лишайников снижается с 62 видов в условно-фоновой зоне (60-70 км от комбината) до 13 видов на всех видах субстратов и всего до двух видов на стволах сосен на расстоянии 8 км от комбината. Проективное покрытие лишайников снижается с 10-16 % в фоновых условиях до нуля в зоне техногенной пустоши.

Под влиянием выпадений соединений серы в комплексе с ТМ изменяются практически все свойства почвы и их облик. Токсичность загрязненных серой и ТМ почв определяется концентрацией протона в почвенном растворе и растворимостью металлов. В результате проведенных экспериментальных исследований зависимости растворимости металлов в почве от pH почвенного раствора выявлено, что в сильно-кислой среде растворимость никеля, меди и марганца в 20-40 раз выше, чем в близкой к нейтральной среде. Это объясняется тем, что при увеличении кислотности в почвенном растворе возрастает количество свободных фульвокислот наиболее активной фракции, которые связывают многие ТМ, формируя устойчивые комплексные соединения. Поэтому металлы переходят в псевдорас-

творимое состояние и становятся доступными для растений. Катионы никеля и меди замещают катионы кальция, магния, калия, марганца в поглощающем комплексе органического горизонта. Совместное воздействие кислых серных выпадений и ТМ оказывается синергическим и наиболее опасным. Низкая буферная емкость подзолистых почв обуславливает высокий уровень мобильных форм ТМ на загрязненных участках, а высокая подвижность элементов создает угрозу их вымывания за пределы верхних горизонтов и попадания в водоемы и грунтовые воды.

Для определения критических значений содержания основных загрязняющих веществ в техногенных наносах, превышение которых может привести к необратимой деградации природных растительных комплексов, был использован метод полевого эксперимента. На снежный покров была нанесена полиметаллическая пыль, выбрасываемая комбинатом «Североникель». Из-за неравномерности внесения загрязнителей в лишайниковом покрове появились «пятна», в которых концентрации ТМ превысили предел существования *Cladina stellaris*, но не сказались на существовании кустарничков брусники и черники. В пределах экспериментальной пробной площади был проложен профиль метровых площадок, на которых проективное покрытие *Cladina stellaris* варьировало от 0 до 90 %.

Результаты химического анализа отобранных образцов почвы и растений позволяют рассчитать концентрации ТМ, при которых возможно существование и восстановление *Cladina stellaris* на загрязненных территориях. Выбор тест-объекта обосновывается повсеместным присутствием лишайников этого вида на незагрязненных (условно фоновых) территориях региона.

Разработанный способ позволяет разделить зону влияния металлургического предприятия на территории, способные к самовосстановлению после прекращения производственной деятельности, а также зоны, где необходимость рекультивации почв является однозначной. Принципиальной схемой такого разделения является построение ореолов загрязнения почвенного покрова ТМ. Выявление условий существования одного из самых чувствительных индикаторов техногенного загрязнения *Cladina stellaris* позволит выделить области, способные к естественному природному восстановлению.

Работа выполнена в Центре коллективного пользования научным оборудованием Горного университета при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг.