

М. Г. Опекунова, Е. Ю. Елсукова, В. А. Чекушин, О. В. Томила, Р. Салминен¹, К. Рейманн²

МОНИТОРИНГ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОМБИНАТА «СЕВЕРНИКЕЛЬ».

I. МИГРАЦИЯ И АККУМУЛЯЦИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВОГРУНТАХ г. МОНЧЕГОРСКА

Комбинат «Североникель» (г. Мончегорск), входящий в состав крупнейшего в мире объединения производителей цветных и драгоценных металлов РАО «Норильский никель», – мощный источник загрязнения окружающей среды Кольского полуострова. На предприятии перерабатываются медно-никелевые руды с получением 14 видов продукции – никеля, меди, кобальта, концентратов благородных металлов и металлов платиновой группы, серной кислоты.

Комбинат «Североникель» открылся в 1937 г., но вплоть до 1967 г. очистка промышленных отходов не производилась. С начала его работы в воздушный бассейн поступают сернистый ангидрид, окись углерода, окислы азота, углеводороды, тяжелые металлы (ТМ), соединения фтора и другие вредные химические вещества. В 1969 г. в связи с исчерпанием собственных медно-никелевых месторождений и переходом на норильскую руду с высоким содержанием серы (до 22–23%) существенно увеличился объем выбросов двуокиси серы в атмосферу: их уровень достиг 250–280 тыс. т в год. В результате в 1970-х годах произошла видимая деградация природной среды в радиусе 20–30 км от комбината. Кислотные дожди стали причиной иссушения древостоя, исчезновения мохово-лишайникового яруса и увеличения числа пожаров. Деятельность лесхоза, направленная на вырубку древостоев, увеличила захламленность территории. К середине 1980-х годов вокруг комбината «Североникель» сформировалось несколько зон деградации экосистем [1]:

зона полного разрушения экосистем площадью около 300 км² в радиусе 5–10 км вокруг промышленного узла;

зона сильно разрушенных бывших таежных экосистем площадью 800–1000 км², шириной от 5–8 до 10–12 км;

зона существенно разрушенных бывших таежных экосистем в 18–20 км от источника загрязнения площадью 2500–3000 км², шириной от 6–7 до 15 км;

зона начальной стадии деградации экосистем сомкнулась, объединив промышленные узлы комбината «Североникель», Оленегорского, Ковдорского, Ловозерского ГОКов, Мурманска, ПО «Апатит», комбината «Печенганикель».

В 1990 г. доля лесов, поврежденных комбинатом «Североникель», составила почти 70% от общей площади поврежденных лесов на Кольском полуострове. С 1989 г. объемы переработки норильской руды стали снижаться и к 1999 г. составили 4% от уровня 1990 г., тогда как объем производства всех товарных металлов в 1999 г. достиг 72,8% от уровня 1990 г. [2]. Значительному понижению выбросов вредных веществ в воздушный и водный бассейны способствовал также переход комбината в конце 1990-х годов на новые технологии (рисунк). В связи с этим большой интерес вызывают изучение реакции лесных экосистем на уменьшение антропогенной нагрузки и оценка возможности их самовосстановления.

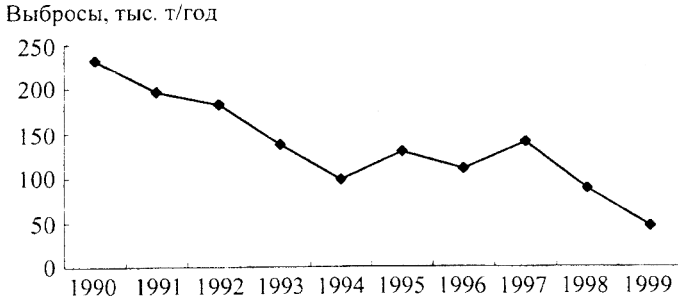
Экологическая обстановка в зоне воздействия комбината изучалась многими коллективами исследователей. и к настоящему времени накоплены материалы по содержанию и динамике поллютантов в окружающей среде [1, 3–20 и др.]. К ним относятся результаты эколого-геохимического опробования восточной части Баренц-региона, про-

¹ Геологическая служба Финляндии.

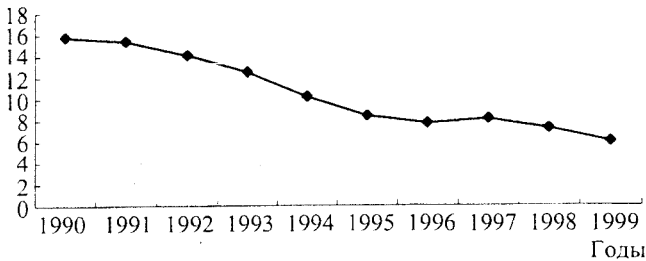
² Геологическая служба Норвегии.

© М. Г. Опекунова, Е. Ю. Елсукова, В. А. Чекушин, О. В. Томила, Р. Салминен, К. Рейманн, 2006

А



Б



Динамика выбросов в атмосферу диоксида серы (А) и твердых веществ (Б) комбинатом «Североникель».

веденного службами России, Финляндии и Норвегии в рамках международного проекта «Экогеохимия Баренцевого региона», и работ кафедры геоэкологии и природопользования СПбГУ, осуществленных в Мончегорском районе в 2001–2002 гг. при финансовой поддержке программы «Университеты России – фундаментальные исследования» (тема № 4222 «Биохимическая оценка состояния окружающей среды») и Федеральной целевой программы «Интеграция» (проект «Оценка экологического риска в районах разработки рудных месторождений»), положенные в основу настоящей статьи.

Пробные площадки на обследуемой территории располагались в соответствии с розой ветров – в южном и северном направлениях от источника загрязнения. В 2001 г. изучено 97 эталонных площадей (ЭП) на четырех участках к югу от комбината согласно схеме изысканий проекта «Экогеохимия Баренцевого региона», проведенных в 1994 и 1999 гг. Три из них представляют собой водосборы ручьев, впадающих в оз. Имандра: водосбор 2 расположен восточнее трассы Мурманск–Кандалакша возле пос. Верхний Нюд на расстоянии 6–7 км от комбината; водосбор 6 находится в 10–12 км от комбината; водосбор 4 удален на 21–23 км. Четвертый участок на юго-восточном берегу Чунозера выбран в качестве условно фоновой территории (40–45 км от комбината). В 2002 г. исследованы городские кварталы и территория на расстоянии до 18 км к северу от комбината «Североникель» в сторону г. Оленегорска, на которой было заложено 72 ЭП.

Для изучения распределения поллютантов и их миграции, обеспечения комплексности подхода к решению данных задач для каждой ЭП размером 20×25 м (в соответствии с ГОСТом 17.4.3.01-83) дано детальное физико-географическое описание по стандартному плану: особенности геологического строения, рельефа и экспозиционное положение; условия увлажнения; морфологическая характеристика почв и ведущий почвообразовательный процесс; наличие дорог, линий электропередач, промышленных объектов, замусоренность; оценка древостоя: состав, сомкнутость, минимальная, максимальная и средняя высота, средний диаметр стволов, количество сухостоя (%); возраст и класс хлороза хвои, высота отторгнутой корки сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.); описание подроста (состав, сомкнутость, высота), травяно-кустарничкового яруса (общее проективное покрытие, состав, проективное покрытие и высота отдельных видов, обилие по Друде), мохово-лишайникового яруса (состав, проективное покрытие).

При установлении источников поступления химических поллютантов в почву важную роль играет характер распределения их концентраций в почвенном покрове с глубиной. С этой целью на ЭП на разных почвообразующих породах, орографических уровнях и формах рельефа заложены почвенные разрезы с описанием и отбором

проб из всех генетических горизонтов. Для определения характера латеральной миграции и перераспределения химических элементов изучены ЭП по различным фациям элементарного геохимического ландшафта. На площадках отобраны пробы подстилки и иллювиального горизонта почв, являющиеся наиболее показательными для оценки антропогенного воздействия, поскольку в условиях гумидного климата при азротехногенном загрязнении лишь часть поллютантов задерживается в составе органического вещества верхнего органогенного горизонта. Основное их количество мигрирует вниз по почвенному профилю, осаждаясь в иллювиальном горизонте. На участках южно-юго-западного направления отобрано 234 пробы почв и 108 проб индикаторных видов растений (брусники (*Vaccinium vitis-idaea* L.), черники (*Vaccinium myrtillus* L.), багульника болотного (*Ledum palustre* L.), голубики (*Vaccinium uliginosum* L.), вороники (*Empetrum nigrum* L.), корки и хвои сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), грибов подосиновиков (*Leccinum auranticum*) и подберезовиков (*Leccinum scabrum*)), на участках северного направления – 185 проб почв и 197 проб растений. В программу работ входило определение морфометрических параметров хвои сосны обыкновенной. С этой целью на 36 ЭП измерена длина 100 хвоинок, а также зафиксированы их возраст и состояние.

Для оценки загрязнения почвогрунтов (далее – почв) в г. Мончегорске выделены участки, приблизительно одинаковые по площади (200×200 м). Отбор проб почв осуществлен с глубины 0–10 см методом конверта в соответствии с ГОСТом 17.4.4.02-84. Границы проведены условно по улицам и проспектам с учетом особенностей планировки. Для каждого участка даны характеристики застройки, интенсивности движения, ширины и покрытия дорог (грунт, асфальт и др.), описаны скверы, зеленые насаждения. Зафиксированы возраст и класс хлороза хвои, высота отторгнутой корки и состояние сосны обыкновенной. На территории города отобрано 60 проб индикаторных видов растений.

По стандартным методикам [21] в почвах определены актуальная (pH_{H_2O}) и потенциальная (pH_{KCl}) кислотность, содержание общей серы и механический состав. Для изучения экологического состояния природно-территориальных комплексов (ПТК) большое значение имеет количество подвижных форм ТМ в почве [8, 13, 15]. Анализ содержания Cu, Zn, Fe, Mn, Pb, Cd, Ni, Co в растениях и подвижных форм ТМ в почвах, извлекаемых аммонийно-ацетатным буфером с $pH = 4,8$, осуществлен методом атомно-абсорбционной спектроскопии в БИН РАН на приборе КВАНТ-АФА. Оценка уровня химического загрязнения почв как индикатора неблагоприятного воздействия на здоровье населения проводилась с использованием показателя суммарного загрязнения (Z_c), рассчитанного по концентрациям подвижных форм ТМ относительно предельно допустимой концентрации (ПДК) [22].

Физико-географические особенности района исследований определяют специфический характер распространения загрязняющих веществ. Территория комбината с востока ограничена оз. Имандра и Хибинским горным массивом, с запада к ней подходят горные системы Волчьих, Монче- и Чуна-тундр. Промплощадка комбината расположена на слабохолмистой местности и примыкает к северным подножиям гор Монча и Сопча. Их относительное превышение над уровнем комбината составляет около 250 м. С запада от комбината простирается хр. Чуна-тундра, имеющий относительное превышение над его уровнем около 800 м и служащий естественной преградой распространению токсичных выбросов. В соответствии с этим основная масса загрязненного воздуха перемещается меридианально, преимущественно в южном направлении.

Мурманская обл. практически полностью находится за Северным полярным кругом. К климатическим особенностям относятся общий недостаток тепла, короткий вегетационный период и избыточное увлажнение. Область относится к Атлантико-Арктической зоне умеренного климата с преобладанием теплых воздушных потоков с Северной Атлантики и холодных из Атлантического сектора Арктики. Для нее характерно преобладание циклонических атмосферных образований в холодное время года и антициклонических – в теплое. Активная циклоническая деятельность с умеренными и сильными ветрами способствует рассеиванию загрязняющих веществ. Климатические условия на Кольском полуострове малоблагоприятны для формирования и функционирования устойчивых лесных сообществ. Они препятствуют оптимальному развитию древесных растений, ограничивают продуцирование органического вещества и разложение органических остатков.

Исследованный район в соответствии с почвенно-географическим районированием находится в Кольско-Карельской провинции карликовых подзолистых иллювиально-многогумусовых почв [23]. Почвообразующими породами служат главным образом песчаные и супесчаные грубозернистые и завалуненные моренные и водно-ледниковые наносы, в долинах рек – суглинистые моренные и морские отложения. Холодный влажный климат, расчле-

ненный рельеф и интенсивная антропогенная нагрузка определяют своеобразие почвенного покрова. На рассматриваемой территории преобладают подзолистые иллювиально-железистые почвы [24], широко распространены эродированные подзолы. Они характеризуются неровными границами между почвенными горизонтами, сильно нарушенным или смытым органоманным горизонтом, наличием включений угля, что является следствием сильного нарушения растительного покрова и частых пожаров.

Все разновидности этих почв, несмотря на богатство почвообразующих пород первичными материалами, имеют сильноокислую реакцию и низкую насыщенность основаниями верхних горизонтов. Так, например, в иллювиально-гумусовой среднеподзолистой почве на супесях актуальная кислотность меняется от 3,12 в горизонте A_0 до 4,27 в горизонте A_1 , снижаясь до 5,35 в горизонте C . Обменная кислотность меняется от 2,65 в горизонте A_0 до 4,11 в горизонте C . В тундровой слабоподзолистой маломощной иллювиально-железистой почве на супесях показатель $pH_{\text{водный}}$ повышается от 3,71 в горизонте A_0 до 5,90 в горизонте B_2 , затем уменьшается в горизонте B_3 до 5,32. Обменная кислотность меняется от 3,34 в горизонте A_0 до 5,02 в горизонте C .

По механическому составу исследованные почвы относятся к супесям пылевато-песчаным, встречается также песок связный. Легкий механический состав и высокая кислотность почвенных растворов определяют подвижность ТМ в пределах элементарного геохимического ландшафта. По данным О. Г. Чертова и др. [15], в органоманных горизонтах почв на разном удалении от комбината «Североникель» минимальная растворимость Fe наблюдается при $pH = 4$; при величинах $pH > 4-5$ растворимость Ni, Cu и Mn снижается в 10–40 раз.

Согласно ботанико-географическому районированию, территория района исследований находится в Кольско-Печорской подпровинции североевропейской таежной провинции Евразийской таежной области. Для нее типично развитие редкостойных лишайниково-зеленомошных и лишайниковых еловых, а также елово-сосновых и березово-сосновых лесов с участием *Picea obovata* Ledeb., *Pinus sylvestris* L. и *Betula pubescens* Ehrh. Подлесок не развит и представлен единичными экземплярами можжевельника сибирского (*Juniperus sibirica* Burgsd.) и различных видов ив (*Salix caprea* L., *S. lapponum* L. и др.). Напочвенный покров сплошной, с преобладанием зимне-зеленых кустарничков – брусники (*Vaccinium vitis-idaea* L.), вороники (*Empetrum nigrum* L.), а также черники (*Vaccinium myrtillus* L.), линнеи (*Linnaea borealis* L.), плауна годичного (*Lycopodium annotinum* L.) и др. Отличительной особенностью северотаежных фитоценозов является участие на плакорах специфических для болот видов вороники, багульника болотного (*Ledum palustre* L.), голубики (*Vaccinium uliginosum* L.), морозники (*Rubus chamaemorus* L.) и др. Характерна примесь травянистых вечнозеленых растений – луговика (*Avenella flexuosa* (L.) Drejer) и ожики волосистой (*Luzula pilosa* (L.) Willd). Моховой ярус образован несколькими видами зеленых мхов: *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt., *Hylocomium splendens* (Hedw.) Schimp., *Dicranum* sp., а также *Polytrichum commune* Hedw., причем в сосновых лесах мхи обычно сочетаются с лишайниками *Cladonia rangiferina* (L.) Weber ex Wigg., *C. stellaris* (Opiz) Pouzar and Vezda, *Cetraria islandica* (L.) Ach. Распределение цветковых растений и куртин мхов крайне неравномерное: выделяются пятна с преобладанием зеленых мхов, сфагнов, долгомошников и лишайников, а также куртины черники, голубики, морозники и др.

Растительность исследованного района в радиусе до 15–20 км от комбината сильно нарушена. К северу от города преобладают главным образом сильно поврежденные пожарами различной давности длительнопроизводные березово-сосновые вороничные (*Betuleto-Pinetum empetrosum*) и березово-сосновые багульниковые (*Betuleto-Pinetum ledosum*) леса, сформировавшиеся на месте коренных еловых фитоценозов. Здесь произрастают также вторичные березовые (*Betuletum myrtillosum*) и сосново-березовые, черничные, голубичные и багульниковые (*Pineto-Betuletum myrtillosum*, P.-B. *uliginosum*, P.-B. *ledosum*) сообщества.

Наиболее пострадали в результате антропогенного воздействия площади к югу от комбината. На расстоянии до 5–10 км некоторые участки представляют собой «техногенную пустыню» с отдельно стоящими живыми экземплярами подроста березы. По результатам геоботанических описаний изученных ЭП, на водосборах 2 и 6 наиболее распространены следующие растительные сообщества: мертвopoкpoвный подрост березы (*Betuletum nudum*), березовый подрост с разнотравьем (*Betuletum herbosum*), сосново-березовый разнотравный лес (*Pineto-Betuletum herbosum*), чернично-вороничный сосняк (*Pinetum myrtillosum-empetrosum*) и елово-березовый разнотравный лес (*Piceeto-Betuletum herbosum*). Древостои с преобладанием ели практически отсутствуют, изредка встречаются лишь редкостойные мертвopoкpoвные ельники (*Piceetum nudum*). На всех площадках древостой сильно разрежен, сомкнутость редко превышает 0,2, обилен сухостой сосен и елей, суховершинность достигает 40%, мохово-лишайниковый ярус отсутствует.

Еловые леса встречаются на удалении 20–25 км к югу от г. Мончегорска на водосборе р. Курка (водосбор 4) и представлены главным образом еловыми брусничными (*Piceetum vaccinosum*), березово-еловыми вороничными (*Betuleto-Piceetum empetrosum*) и сосново-еловыми багульниковыми (*Pineto-Piceetum ledosum*) ассоциациями. Обычно в составе древостоя велика примесь березы и сосны. Показателями нарушения сообществ в результате пожаров, вырубки, выпадения кислотных дождей и загрязнения ТМ являются также участие в составе фитоценозов луговика извилистого (*Avenella flexuosa* (L.) Drej.), вереска обыкновенного (*Calluna vulgaris* (L.) Hull.), иван-чая обыкновенного (*Chamaenerion angustifolium* L.) и отсутствие мхов и лишайников.

В районе городского комплекса произрастают виды растений, часто не свойственные этой природной зоне: тополь (*Populus* sp.), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.), черемуха (*Radus avium* Mill.), иван-чай (*Chamaenerion angustifolia* L.), крапива (*Urtica dioica* L.), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.), одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale* Wigg.), борщевик (*Heracleum sphondylium* L.), щавель конский (*Rumex confertus* Willd.), щавелек малый (*R. acetosella* L.), купырь лесной (*Anthriscus sylvestris* (L.) Hoffm.) и др. На склонах сопок, с юго-востока примыкающих к жилым кварталам, а также в некоторых наиболее крупных зеленых зонах встречаются брусника, вороника, режа – черника, из древесных пород – сосна обыкновенная и береза пушистая.

Комбинат «Североникель» сформировался как градообразующее предприятие. Численность населения в г. Мончегорске на 1 января 2001 г. составляла 56,2 тыс. человек, площадь города – 3650 га. Почвы г. Мончегорска отличаются значительной концентрацией подвижных форм ТМ, что обусловлено кислой реакцией почвенных растворов (рН = 5,2–5,8) при высоком их валовом содержании. Как показал проведенный анализ, главным источником загрязнения городской среды является комбинат «Североникель» – основные поллютанты представлены типоморфными для руды металлами: Cu, Ni и Co. Подтверждением этого служит крайне высокое содержание ТМ, обнаруженное в почвах промзоны (табл. 1, 2).

Таблица 1. Содержание подвижных форм ТМ в почвах г. Мончегорска (мг/кг)

Привязка	Кол-во проб	Cd	Co	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
г. Мончегорск	44	$\frac{0,05}{0,01-0,43}$	$\frac{2}{0,1-10}$	$\frac{64}{1-449}$	$\frac{58}{11-285}$	$\frac{8}{0,4-20}$	$\frac{40}{0,7-146}$	$\frac{4}{0,1-17}$	$\frac{13}{2-60}$
Промзона	3	$\frac{0,17}{0,01-0,5}$	$\frac{13}{5-16}$	$\frac{704}{263-1083}$	$\frac{97}{55-131}$	$\frac{21}{11-40}$	$\frac{200}{79-281}$	$\frac{5}{2-9}$	$\frac{40}{16-64}$
ПДК		–	5	3	–	80	4	6	23

Примечание. В числителе указано среднее значение, в знаменателе – минимальное–максимальное.

Таблица 2. Содержание ТМ в почвах участков г. Мончегорска (мг/кг)

№ участка	Привязка, границы участков	Mn	Zn	Pb	Ni	Fe	Cu	Cd	Co	Z _c
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Z _c < 8 (7 участков)										
30	ул. Бредова, ул. Комсомольская, участок 31	1,7 0,4	3,2 3,9	<0,1 <0,1	0,7 1,8	17 147	1,8 1,4	<0,02 <0,02	<0,2 <0,2	- -
9	Городская больница	1,1	1,7	1,1	12,1	155	2,7	<0,02	1,2	3,0
17	ул. Ферсмана, ул. Гагарина, ул. Комарова	5,2	2,9	1,4	9,1	99	5,5	<0,02	0,8	3,1
21	ул. Бредова, ул. Северная, проспект Ленина	8,4	2,1	<0,1	3,8	105	6,9	<0,02	0,9	2,3
25	ул. Красноармейская, ул. Лесная	7,2	8,9	<0,1	8,2	27	12,8	<0,02	<0,2	5,3
27	ул. Северная, ул. Бредова, Комсомольский проезд	2,9	1,5	<0,1	8,8	285	0,9	<0,02	0,9	2,2
Z _c = 8–16 (10 участков)										
ЭП 10	проспект Metallургов, д. 33	8,8	3,6	2,2	20,2	48	27,0	<0,02	1,3	13,0
5	ул. Новопроложенная, ул. Стахановская, проспект Metallургов	6,9	5,9	1,9	17,2	34	33,1	<0,02	1,1	14,3
8	Участок 9, проспект Кирова	6,1	2,2	12,3	15,5	61	8,7	<0,02	1,4	8,8
10	проспект Кирова, участок 11	7,4	12,6	1,3	26,3	69	24,3	<0,02	1,6	13,7
19	проспект Ленина, ул. Комарова	7,8	7,7	2,2	18,6	113	30,8	<0,02	1,2	13,9
24	ул. Лесная, ул. Кондрикова	15,1	20,0	1,7	27,0	37	23,6	<0,02	1,8	13,6
26	ул. Подгорная	20,4	29,2	7,5	36,0	25	17,5	<0,02	1,3	14,4
29	ул. Комсомольская, проспект Ленина	4,7	12,9	1,8	5,2	14	9,7	0,43	<0,2	11,1
32	ул. Железнодорожная, проспект Ленина, ул. Комсомольская	7,0	20,1	2,0	22,2	27	24,7	<0,02	2,0	12,8
40	ул. Железнодорожная, ул. Комсомольская, ул. Новопроложенная	4,9	8,1	4,9	10,9	15	32,3	<0,02	0,8	12,5
Z _c = 16–32 (11 участков)										
ЭП 7	проспект Metallургов, д. 12	11,2	10,3	2,7	33,0	48	37,0	<0,02	2,1	19,6
4	наб. Климентьева, ул. Кумужинская, ул. Стахановская	5,7	4,9	2,5	21,4	55	42,6	<0,02	1,9	18,5
7	Парк на проспекте Кирова	16,3	7,4	10,6	45,8	93	19,0	<0,02	2,7	17,6
12	проспект Кирова, участок 13	8,0	7,0	1,6	43,7	46	39,3	<0,02	2,7	23,0
15	Ленинградская наб., школа № 1	16,6	8,4	5,9	58,9	80	40,5	<0,02	1,8	27,2
18	ул. Гагарина, ул. Бредова	6,5	8,1	6,1	29,4	30	52,5	<0,02	1,4	23,9
20	ул. Гагарина, проспект Metallургов	12,9	13,1	5,2	41,7	63	42,3	<0,02	3,1	23,5
22	ул. Кондрикова, ул. Северная, участок 23	8,4	25,3	3,6	48,9	16	38,0	<0,02	1,7	24,0
34	ул. Кольская, проспект Metallургов, Никелевое шоссе	5,7	7,0	7,6	22,6	32	42,3	<0,02	1,5	19,0
37	ул. Кольская, ул. Стахановская, ул. Комсомольская	4,3	6,9	2,4	30,7	53	54,4	<0,02	2,0	24,8
39	ул. Стахановская, ул. Комсомольская, ул. Новопроложенная	4,0	13,1	3,0	16,1	21	70,4	<0,02	1,0	26,5
Z _c = 32–64 (14 участков)										
ЭП 6	проспект Metallургов, техникум	17,4	19,9	4,0	138,6	80	82,5	0,13	8,3	63,4
ЭП 8	проспект Metallургов, д. 17	8,6	12,8	3,5	65,0	15	131,3	0,08	1,0	59,6
1	ул. Строительная, ул. Царевского, наб. Климентьева, озеро	8,3	9,2	3,0	37,7	49	72,4	<0,02	2,6	32,6
3	проспект Metallургов, участок 1	16,7	21,3	9,6	35,4	36	96,2	0,11	2,9	41,8
6	Участки 5, 7	9,7	29,8	16,7	65,9	130	78,4	<0,02	3,5	43,7
11	Ленинградская наб., участок 10	10,0	11,2	2,8	79,6	55	88,2	<0,02	5,6	48,4
14	проспект Кирова, проспект Metallургов, ул. Котульского	12,2	17,0	4,7	90,3	74	86,2	0,12	6,3	52,0
16	Ленинградская наб., ул. Ферсмана	8,1	5,5	2,9	61,3	84	58,1	<0,02	2,9	33,7
23	ул. Кондрикова, ул. Северная, участок 22	9,9	19,4	2,3	59,9	13	66,9	0,12	2,6	37,7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
31	ул. Комсомольская, Комсомольский проезд, участок 30	5,9	60,2	13,6	12,1	67	90,2	<0,02	1,5	35,0
33	ул. Бредова, участок 36	7,1	10,2	1,7	41,5	19	147,8	<0,02	2,1	58,6
38	ул. Комсомольская, Комсомольский проезд, ул. Бредова, участок 36	11,2	15,4	4,4	22,7	23	168,5	0,12	2,7	62,2
41	ул. Строительная, ул. Царевского, проспект Metallургов	7,7	30,3	7,0	85,8	11	117,3	<0,02	2,1	60,2
ЭП 14	проспект Metallургов, ул. Ферсмана	6,5	5,3	2,3	46,0	26	63,9	0,08	0,9	32,4
$Z_c = 64-128$										
ЭП 2	Промзона	11,1	15,7	9,1	78,7	131	262,7	<0,02	5,4	106,8
2	ул. Кумужинская, ул. Строительная, ул. Царевского	10,5	11,3	1,5	146,0	15	265,1	0,15	3,7	125,9
$Z_c > 128$ (3 участка)										
ЭП 1	Промзона	39,9	38,7	3,9	280,7	104	1083	<0,02	16,4	431,8
ЭП 3	"	12,7	64,0	2,2	240,4	55	766,3	0,5	16,3	327,6
36	ул. Комсомольская, участок 38, ул. Кольская, ул. Бредова	6,2	15,1	8,1	138,0	38	449,4	0,34	10,1	190,4

Здесь средние концентрации подвижных форм Cu и Ni в почвах превышают ПДК соответственно в 235 и 50 раз, а максимальные – соответственно в 360 и 70 раз. В этих же условиях отмечается загрязнение Zn и Co на уровне 2–3 ПДК. В жилых кварталах города среднее количество подвижных форм Ni в почвах выше ПДК в 10 раз, а Cu – в 20 раз, причем максимальные концентрации этих металлов достигают 37 ПДК и 150 ПДК соответственно. Содержание подвижных форм Co в почвах жилых микрорайонов несколько ниже, но также превышает нормативный показатель в 2 раза.

Обращает на себя внимание загрязнение городских почв Zn и Pb, максимальные значения которых превосходят ПДК в 3 раза. Высокими показателями подвижных форм в почвах характеризуется также Cd (2 ПДК). Причиной этого служат прежде всего автомобильный транспорт, а также более мелкие предприятия городской инфраструктуры. Количество подвижных форм Mn в почвах не превышает ПДК. Концентрации всех ТМ, за исключением Mn, отличаются высоким варьированием, что обусловлено неравномерным антропогенным загрязнением территории.

Показатель суммарного загрязнения почв Z_c меняется в широких пределах (табл. 2). На большей части города он превышает допустимый уровень. В соответствии с оценочной шкалой опасности загрязнения почв, 25% площади города относится к умеренно опасной категории загрязнения почв ($Z_c = 16-32$), что может привести к увеличению общей заболеваемости населения, а 32% – к опасной категории ($Z_c = 32-64$) с угрозой увеличения числа часто болеющих детей и детей с хроническими заболеваниями. Почвы двух участков (5% площади), где Z_c попадает в интервал 64–128 или превышает 128, относятся к чрезвычайно опасной категории загрязнения почв с возможностью негативного влияния на репродуктивную функцию женщин. Наиболее загрязненные участки ($Z_c > 32$) находятся на западе и востоке города, что обусловлено расположением города относительно комбината и перераспределением воздушных масс в условиях городской застройки. В центральной части города вдоль проспекта Metallургов Z_c меняется от 16 до 32.

Таким образом, почвогрунты г. Мончегорска отличаются аномально высоким содержанием подвижных форм изученных ТМ, в десятки раз превышающим не только фоновые значения, но нормативные показатели. Превышение ПДК наблюдается по Cu, Zn, Pb, Ni, Co. Основными источниками антропогенного загрязнения являются комбинат «Североникель» и автомобильный транспорт. В настоящее время, несмотря на установку очистных соору-

жений и значительное снижение выбросов загрязняющих веществ, сказывается многолетнее загрязнение окружающей среды. В условиях сурового климата это может способствовать росту заболеваемости всех слоев населения и требует безотлагательной рекультивации земель. Одними из первоочередных мероприятий могут быть подсыпка чистого грунта, обустройство и озеленение дворов и улиц с целью уменьшения поднятия в воздух токсичной пыли. Кроме того, легкий механический состав и высокая кислотность почвогрунтов способствуют значительной подвижности ТМ, за содержанием которых необходим постоянный контроль.

Summary

Opekunova M. G., Elsuikova E. Yu., Chekushin V. A., Tomilina O. V., Salminen R., Reimann C. Environmental condition monitoring in the districts of industrial complex «Severonikel». I. Migration and accumulation of chemical elements in soils in Monchegorsk-city.

The complex ecological-biogeochemical investigation was conducted in the districts of industrial complex «Severonikel» and in Monchegorsk-city (Kola Peninsula). In the first part of the article the peculiarity of chemical composition of soils in Monchegorsk-city and their pollution are considered. The contents of mobile forms Cu, Zn, Ni, Co, Fe, Mn, Cr, Cd, Pb that were extracted by ammonia-acetate buffer and SO_4^{2-} in soils are determined. The estimation of heavy metal pollution degree is made. The index of total pollution of soils is calculated.

Литература

1. *Крючков В. В., Макарова Т. Д.* Аэротехногенное воздействие на экосистемы Кольского Севера. Апатиты, 1989.
2. *Состояние окружающей природной среды в Мурманской области в 2000 году: Доклад комитета природных ресурсов по Мурманской области / Ред. кол. Л. П. Амосова, В. И. Артоболевский, Н. И. Бичук и др.* Мурманск, 2001.
3. *Алещукин Л. В.* Геохимия меди и никеля в основных типах почв Мурманского заполярья: Автореф. канд. дис. М., 1964.
4. *Алещукин Л. В.* Геохимия меди, никеля и железа в почвах Мурманского заполярья // *Материалы по геохимии ландшафтов Кольского полуострова / Под ред. В. В. Добровольского.* М., 1972.
5. *Добровольский В. В., Алещукин Л. В.* Некоторые ландшафтно-геохимические особенности северной тайги Кольского полуострова // *Почвоведение.* 1964. № 10.
6. *Кацулина Г. М.* Содержание и запасы тяжелых металлов в подстилке ельников, подверженных техногенному воздействию // *Антропогенное воздействие на экосистемы Кольского Севера / Под ред. В. В. Крючкова.* Апатиты, 1988.
7. *Лукина Н. В., Никонов В. В.* Биогеохимические циклы в лесах севера в условиях аэротехногенного загрязнения: В 2 ч. Апатиты, 1996.
8. *Никонов В. В., Лукина Н. В., Дером Д.* и др. Миграция и аккумуляция соединений никеля и меди в Al-Fe-гумусовых подзолистых почвах сосновых лесов в условиях аэротехногенного загрязнения // *Почвоведение.* 1993. № 11.
9. *Никонов В. В., Лукина Н. В., Фронтасьева М. В.* Рассеянные элементы в Al-Fe-гумусовом подзолообразовательном процессе // *Почвоведение.* 1997. № 11.
10. *Опекунова М. Г., Елсуикова Е. Ю., Сенькин О. В., Арестова И. Ю.* Мониторинг состояния окружающей среды в зоне воздействия комбината «Североникель» с применением методов биоиндикации // *Материалы II Всерос. науч.-практ. конференции «Проблемы экологии и охраны природы. Пути их решения».* Ульяновск, 2004.
11. *Опекунова М. Г., Елсуикова Е. Ю., Сенькин О. В., Арестова И. Ю.* Оценка загрязнения Мончегорска методами биоиндикации // *Материалы междунар. науч.-практ. конференции «Экология фундаментальная и прикладная».* Екатеринбург, 2005.
12. *Опекунова М. Г., Елсуикова Е. Ю., Сенькин О. В., Арестова И. Ю.* Воздействие комбината «Североникель» (г. Мончегорск) на экологическое состояние почв и растительного покрова // *Материалы регион. обществ.-науч. конференции с международным участием «Северо-Западная Россия: проблемы экологии и социально-экономического развития».* Псков, 2004.
13. *Переверзев В. Н., Свейтструп Т. Е., Стрелкова М. С.* Аккумуляция никеля и меди в лесных подзолах в результате выбросов предприятий цветной металлургии // *Почвоведение.* 2002. № 3.
14. *Рассеянные элементы в бореальных лесах / Отв. ред. А. С. Исаев.* М., 2004.
15. *Чертов О. Г., Лянгузова И. В., Кордюкова Е. В.* Подвижность тяжелых металлов в загрязненных гумусово-иллювиальных подзолистых почвах // *Почвоведение.* 1985. № 5.
16. *Kashulina G., Gregorauskiene V.* Complete soil profiles – technical report from the catchment stage of Barents ecogeochemistry project: Geol. Survey of Finland, Rep. № S/41/0000/11/2000. Espoo, 2000.
17. *Chekushin V., Tomilina O., Glavatskih S.* Distribution of elements in the organic layer from the catchment stage of the Barents ecogeochemistry project: Geol. Survey of Finland, Rep. № S/41/0000/3/2000. Espoo, 2000.
18. *Reimann C., Chekushin V. A., Ayras M., Chekushin V.* et al. Environmental geochemical atlas of the central Barents region. Trondheim, 1998.
19. *Reimann C., Ayras M., Chekushin V.* et al. Environmental geochemical atlas of the central Barents region. Trondheim, Grytting, 1998.
20. *Salminen R., Chekushin V., Tenhola M.* et al. Geochemical atlas of eastern Barents region. Amsterdam, 2004.
21. *Арунушкина Е. В.* Руководство по химическому анализу почв. М., 1970.
22. *Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами: Нормативные материалы.* М., 1993.
23. *Афанасьева Т. В., Василенко В. И., Терещина Т. В.* и др. Почвы СССР. М., 1979.
24. *Классификация и диагностика почв России / Отв. ред. Г. В. Добровольский.* Смоленск, 2004.

Статья поступила в редакцию 10 сентября 2005 г.