

Эколого-функциональная оценка состояния почв в зоне аэротехногенного воздействия Норильского промышленного комплекса

Т. В. ПОНОМАРЕВА, О. В. ТРЕФИЛОВА, А. В. БОГОРОДСКАЯ, О. А. ШАПЧЕНКОВА

*Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН
660036, Красноярск, Академгородок, 50/28
E-mail: bashkova_t@mail.ru*

АННОТАЦИЯ

Проведен анализ экологического и функционального состояния почв в зоне аэротехногенного воздействия промышленных предприятий Норильска. В качестве критериев оценки использованы содержание тяжелых металлов и серы и микробиологическая активность почв. Выявлены основные элементы-загрязнители. Наиболее выраженные концентрации тяжелых металлов в почвах располагаются по направлениям господствующих ветров от источника эмиссии. Отмечены структурно-функциональные нарушения в почвенном микробном комплексе при сильном нарушении растительного покрова.

Ключевые слова: техногенные экосистемы, почвы, тяжелые металлы, сера, микробиологическая активность.

В зоне воздействия предприятий цветной металлургии основными загрязнителями являются тяжелые металлы (ТМ) и сера [Лукина, 1996]. Крупнейшим предприятием цветной металлургии на территории Средней Сибири является Норильский промышленный комплекс (НПК). В выбросах этого предприятия преобладают соединения серы (S) и тяжелые металлы (Cu, Ni, Co, Pb). Несмотря на то, что техногенное загрязнение почв тяжелыми металлами имеет преимущественно локальный характер, определенная часть промышленных выбросов с пылью и в виде аэрозолей может переноситься на большие расстояния. В связи с этим территория, подверженная техногенному воздействию со стороны Норильского промышленного комплекса, достаточно обширна. Границы нарушенных экосистем требуют уточнения.

Оценка воздействия таких предприятий на почвы сопредельных территорий представля-

ет собой комплексную научно-практическую задачу. Многие исследователи [Ильин, 1995; Добровольский, 1999; Сорокин, 2011] отмечают, что целесообразно использовать ограниченный ряд приоритетных показателей, которые объективно позволяют оценить эколого-функциональное состояние и устойчивость почвы.

Многочисленными работами [Виноградов, 1957; Иванова, 1967; Ильин, 1992; Лукина, 1996] по изучению содержания тяжелых металлов в совокупности почв разных регионов доказано, что пределы содержания тяжелых металлов отличаются друг от друга в разы. Для интегральной оценки содержания металлов в почвах в качестве критериев используют уровни превышения определенных эталонов [Добровольский, 1999]: гигиенических (предельно или относительно допустимых концентраций ПДК и ОДК) [Ильин, 1992] или экологических (значений регионального гео-

химического фона), показатели устойчивости почв к загрязнению (емкость катионного обмена, степень насыщенности основаниями, содержание гумуса, реакция среды) [Ильин, 1995]. Наряду с оценкой химического состояния, методика оценки биологической активности почвы может служить составной частью комплексной системы показателей мониторинга состояния почв в условиях антропогенных загрязнений [Благодатская, 2008; Сорокин, 2011; Богородская, 2012]. В нашей работе в качестве критерия оценки использована количественная и функциональная реакция микробных комплексов почв.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Специфика рассматриваемой территории заключается в том, что ее почвы и ландшафты формировались в условиях наличия двух природных зон – горно-равнинной лесотундры и равнинной тундры. Климат данного региона холодный и умеренно холодный, семигумидный, резко континентальный. Сумма температур выше 10 °С колеблется от 600 до 800 °С на севере и от 800 до 1200 °С на юге.

Территория исследований в лесотундре относится к Таймырско-Североземельской горно-равнинной стране и находится на Пясинской моренно-морской равнине [Средняя Сибирь, 1964]. Почвы этой части исследуемой территории относятся к тундровым почвам западной провинции, которые развиваются преимущественно на почвообразующих породах морского и ледникового происхождения, покрытых мохово-лишайниковой растительностью и болотами. Обследованная территория представляет плоскую террасированную поверхность, расчлененную долинами рек и озерными котловинами. Повсеместно развита многолетняя мерзлота, наличие которой стимулирует образование криогенного микро- и мезорельефа (полигонального, пучинного, термокарстового). Почвы представлены в основном криоземами грубогумусовыми, в том числе глееватыми, торфяно-криоземами (торфяно-криоземами глееватыми) [Васильевская, 1980; Пономарева, 2006]. С востока этот район гра-

ничит с горными структурами плато Путорана.

На территории плато Путорана почвообразующими породами являются продукты выветривания пород трапповой формации (долеритов, базальтов и др.), имеющие разный генезис и гранулометрический состав. В почвах отмечается накопление большого количества органических веществ и аморфных соединений полуторных окислов, слабое проявление глеевого и элювиально-иллювиального процессов [Соколов, 1975]. В автономных условиях господствуют грануземы и подбуры, в гетерономных (подчиненных) развиваются криоземы и торфяно-криоземы.

Территория НПП расположена в пределах северо-западной части Средне-Сибирского плоскогорья плоскогорной лесорастительной области Путоранской горной провинции северотаежных редкостойных лесов и горных тундр, примыкающей к Северо-Сибирской (Таймырской) низменности. Растительность подчиняется широтной и вертикальной зональности. Северная часть региона, а также горные области принадлежат к тундровому почвенно-биоклиматическому поясу, остальная территория входит в бореальный почвенно-биоклиматический пояс, а именно в таежные и горно-таежные зоны [Коротков, 1991].

Изучение почвенного покрова в зоне аэротехногенного загрязнения предприятиями Норильского промышленного комплекса проводилось в ходе маршрутных исследований и закладки рекогносцировочных профилей. На основании полученных данных подобраны ключевые участки (КУ), заложены постоянные пробные площади. В качестве объектов исследования были выбраны почвы КУ, расположенных на различном расстоянии от источника аэротехногенного загрязнения ТМ и серой. На равнинной территории обследовано четыре участка (Оганер, Валек, Рыбная, Богонидское), почвы представлены криоземами. В горной части обследовано три участка (Ергалах, Талнах, Ирбэ), почвы представлены подбурами.

На каждой пробной площади закладывали почвенные разрезы и выполняли их морфологическое описание. Для аналитических

и микробиологических работ образцы отбирались в начале августа по общепринятым методикам [Методические рекомендации..., 1981; Методы..., 1991]. Образцы для микробиологических исследований отбирали по слоям: органогенный горизонт (О) и минеральные 0–5, 5–10, 10–20 см; для определения основных свойств – по горизонтам почвы с учетом их техногенной нарушенности.

В почвенных пробах определяли актуальную (потенциметрически), обменную (по Соколову) и гидролитическую кислотность, содержание гумуса (на элементном анализаторе Elementar), обменные катионы (ГОСТ 26487-85), гранулометрический состав – по Качинскому [Вадюнина, 1973]. Содержание основных загрязняющих веществ – тяжелых металлов (Ni, Cu, Co, Pb) и общей серы в образцах почв определялось методом атомно-абсорбционной спектрометрии. Численность колонеобразующих единиц (КОЕ) разных эколого-трофических групп микроорганизмов (ЭКТГМ) методом посева на диагностические среды [Методы..., 1991]. Для изучения экофизиологических параметров функциональной активности определяли содержание микробной биомассы ($C_{\text{мик}}$) методом субстрат-индуцированного дыхания [Anderson, 1978] и базальное дыхание почв – хроматографически [Ананьева, 2003]. Концентрацию выделяющегося почвой CO_2 определяли с помощью газового хроматографа Agilent Technologies 6890N (Центр коллективного пользования Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, г. Красноярск), снабженного пламенно-ионизационным детектором и метанатором (Hewlett-Packard, США).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Первоначальная оценка состояния экосистем проведена по визуальному обследованию фитоценозов на ключевых участках, в результате чего они были разделены на сильно нарушенные, умеренно нарушенные и слабо нарушенные фитоценозы или условно фоновые территории (табл. 1).

Согласно этому делению ключевые участки можно расположить в следующий ряд: Оганер = Ергалах = Рыбная > Валек = Таллах > Боганидское = Ирбэ.

Тесной корреляционной зависимости между содержанием в почве валового количества тяжелого металла и накоплением его в растениях в большинстве случаев нет. Изменение химического состава растений начинается при увеличении содержания валового количества тяжелых металлов в десятки раз по сравнению с фоновым [Ильин, 1991]. Валовое содержание тяжелых металлов в почве является фактором емкости, отражающим в первую очередь потенциальную опасность загрязнения растительной продукции, инфильтрационных и поверхностных вод. Тем не менее при исследовании влияния выбросов ТМ и серы на экологическое состояние почв на больших площадях широко используют показатели валового содержания элементов.

Территория, на которую распространяется аэротехногенное воздействие НПК, неоднородна по геохимии почвообразующих пород. По данным А. И. Архипова [1971], концентрации элементов в интрузивных траппах, продукты выветривания которых служат почвообразующими на большей части территории исследования, сильно варьируют: S – 100–3110 мг/кг, Ni – 2–1009, Cu – 2–3423, Co – 2–113 мг/кг. Фоновые содержания изучаемых элементов загрязнителей в почвах таежных ландшафтов на территории НПК колеблются в широких пределах и составляют соответственно Ni – 10–190 мг/кг, Cu – 10–140, Co – 10–100 мг/кг и превышают глобальные и региональные средние значения, что связано с природными геохимическими аномалиями.

Для оценки загрязнения почв несколькими тяжелыми металлами удобно использовать не абсолютные значения концентраций этих элементов, а кларки концентрации (КК – это отношение содержания элемента в конкретном объекте к его кларку в литосфере). В работе для расчетов использованы кларки элементов по А. П. Виноградову [1957]: S – 470 мг/кг, Ni – 58, Cu – 47, Co – 18, Pb – 16 мг/кг.

Почвенно-геохимический фон рассматриваемой территории характеризуется значительной вариабельностью. Установлено, что между ключевыми участками наблюдаются различия по кларку концентрации (КК1) тя-

Характеристика ключевых участков по местоположению, состоянию фитоценоза, типу почв

КУ	Удаленность от источника загрязнения и направление ключевого участка	Тип /состояние растительности	Тип почвы
Зона сильной нарушенности			
1	“Оганер”, 3 км на юг	Древостой и моховой покров погибли, в живом напочвенном покрове доминируют злаки, хвощи и кустарнички	Торфяно-криозем оглеенный
2	“Ергалах”, 10 км на север	Древостой и моховой покров погибли, заменяется злаковой растительностью. На поверхности почвы много валежа, выходы скальных пород	Подбур грубогумусовый
3	“Рыбная”, 30 км на юг	Древостой и моховой покров погибли, кустарники в угнетенном состоянии, листья с многочисленными следами ожога, много валежа	Криозем типичный
Зона умеренной нарушенности			
4	“Валек”, 7 км на север	Древостой из лиственницы и березы с сильным поражением и интенсивным отпадом, подлесок ольховниковый с березой карликовой. Мохово-лишайниковый покров погиб и заменился на злаковую растительность и хвощи	Криозем типичный
5	“Талнах”, 25 км на северо-восток	Древесный ярус представлен лиственницей. В напочвенном покрове доминируют мхи, кустарнички, лишайники, выходы скальных пород	Подбур грубогумусовый
Фоновые территории			
6	“Боганидское”, 40 км на северо-запад	Древесная растительность (лиственница, береза) не повреждена. Кустарниковый ярус представлен ивами, ольховником, березой карликовой. В напочвенном покрове мхи, кустарнички (голубика, шикша, брусника, морошка), хвощи, лишайники, осока	Торфяно-криоземы глееватые
7	“Ирбэ”, 130 км на юг	Древесная растительность (лиственница, береза) не повреждена. Кустарниковый ярус представлен ольховником, березой карликовой. В напочвенном покрове мхи, кустарнички (голубика, шикша, брусника, морошка), лишайники, осока	Подбур грубогумусовый

желых металлов и серы в почвообразующих породах, по некоторым элементам в 6 раз (табл. 2). Наиболее высокие значения характерны для ключевых участков, расположенных на расстоянии до 30 километров от источника выбросов по исследуемым направлениям. Обогащение элементами почвообразующей породы на ключевых участках наблю-

дается незначительное и не превышает кларки более чем в 2 раза.

Кларки концентрации, рассчитанные для верхних органогенных горизонтов, подтверждают аэротехногенное происхождение элементов, т. е. резкое снижение КК2 по мере удаления от источника выбросов. Основной ареал загрязненных почв приурочен к эпи-

Кларки концентраций элементов (отношение содержания элементов в почвообразующей породе (КК1) и в верхних органических горизонтах (КК2) к кларку литосферы) на исследуемых ключевых участках

	Расстояние от источника техногенных элементов, км	КК1				КК2					
		Cu	Ni	Co	Pb	S	Cu	Ni	Co	Pb	S
Оганер Валек Рыбная Боганидское	3	1,8	1,1	1,4	0,1	1,0	185,3	63,6	8,6	3,0	4,1
	7	—*	—	—	—	—	102,6	54,6	7,4	3,9	3,4
	30	0,9	1,6	1,6	0,6	0,3	11,1	15,0	1,7	1,4	2,3
	40	0,6	0,7	1,0	0,6	0,1	1,7	1,1	0,6	0,0	1,1
Ергалах Талнах Ирбэ	10	1,2	1,0	1,2	0,3	0,7	25,10	15,4	2,8	1,6	2,2
	25	1,0	1,8	1,4	0,3	0,2	6,48	3,4	0,9	1,1	1,9
	130	0,3	0,2	0,2	1,0	0,7	0,49	0,3	0,6	0,8	0,5

Примечание. Прочерк – не определялось.

центру эмиссии (5–10 км). Валовые концентрации элементов выше кларка более чем в 2 раза отмечаются для почв ближней к источнику загрязнения тридцатикилометровой зоны.

Территорию исследования можно разделить на зону максимального загрязнения КК > 10 (Оганер, Валек, Ергалах, Рыбная), зону умеренного загрязнения КК 2–10 (Талнах) и незагрязненные (условно фоновые) территории КК < 2 (Ирбэ, Богонидское), что совпадает с делением участков по состоянию фитоценозов.

По КК2 тяжелых металлов и серы в верхних органических горизонтах почвы ключевые участки можно расположить в следующем порядке: Оганер > Валек > Ергалах > > Рыбная > Талнах > Богонидское > Ирбэ. Максимальные концентрации элементов наблюдаются в криогидроморфных тяжелых по гранулометрическому составу почвах (независимо от их происхождения), формирующихся вблизи источника выбросов.

Таким образом, по величине КК2 мы выделили условно фоновые почвы ключевых участков Богонидское (криоземы) и Ирбэ (подбуры), характеристики которых можно использовать для дальнейшей экологической оценки состояния почв.

Выявлена степень аномальности эколого-геохимического состояния почв по коэффициентам техногенного накопления ($K_{\text{ТН}}$), представляющим собой отношение содержания элемента в рассматриваемом техногенно загрязненном объекте к его фоновому содержанию в компонентах природной среды (рис. 1).

Наиболее высокие коэффициенты техногенного накопления отмечены для меди и никеля, что позволяет отнести их к приоритетным загрязнителям в почвах исследуемой территории. Для остальных элементов $K_{\text{ТН}}$ заметно ниже. По $K_{\text{ТН}}$ меди и никеля в верхних органических горизонтах почвы ключевые участки можно расположить в следующем порядке: Оганер > Ергалах > Валек > > Талнах > Рыбная.

Проведено сравнение валовых концентраций элементов с гигиеническими нормативами (табл. 3), в качестве которых выбраны ОДК для меди, никеля и свинца в кислых



Рис. 1. Коэффициенты техногенного накопления ($K_{тн}$) тяжелых металлов и серы в почвах ключевых участков равнинной и горной территории

(криоземах) и близких к нейтральным почвам (подбурах), что обусловлено генетическими свойствами исследуемых почв, приведенных ниже.

Из табл. 3 следует, что концентрации валовых форм меди и никеля в верхних горизонтах криоземов превышают гигиенические нормативы на всех ключевых участках, в том числе несущественно и на фоновом участке Богонидское. В подбурах превышение величин ОДК для меди наблюдается лишь на КУ Ергалах, для никеля на КУ Ергалах и Талнах. В криоземах показатели превышения допустимых концентраций элементов значительно выше, чем в подбурах. Этот факт объясняется резкой градацией значе-

ний ОДК для почв кислых и близких к нейтральным.

На КУ с высокими концентрациями ТМ выявлено изменение свойств почв: емкости катионного обмена, содержания органического вещества, рН среды верхних органо-генных горизонтов.

Криозем на фоновом КУ Богонидское имеет типичное строение и химические свойства. Содержание гумуса в горизонте СR не превышает 1,6 %, в надмерзлотном горизонте снижается до 0,8 %. Реакция водной вытяжки из органо-генных горизонтов кислая или слабокислая: 4,2–4,9. В нижних минеральных горизонтах, с появлением карбонатов величины рН переходят в нейтральную область, увеличиваясь с глубиной до 8,5. Почвенный поглощающий комплекс насыщен основаниями, преобладает кальций и магний. Ненасыщенность характерна только для органо-генных горизонтов (40–62 %). Механический состав криозема легко(средне)суглинистый. Полученные данные согласуются с характеристиками почв Среднесибирского плоскогорья, опубликованными ранее [Васильевская, 1980; Пономарева, 2006].

В почвах КУ Оганер и Рыбная наблюдается нарушение стратификации почвенного профиля. Подстилочно-торфяной горизонт криоземов постепенно минерализуется, в профиле нарушенной почвы наблюдается формирование дернового горизонта мощностью порядка 10 см. Сведение мохово-лишайникового охеса на поверхности почв лесотундры, как правило, сопровождается улучшением термического режима и увеличением мощности ежегодно оттаивающего слоя.

Т а б л и ц а 3

Коэффициенты превышения гигиенических нормативов ($K_{одк}$) тяжелых металлов в почвах ключевых участков

Ключевой участок	$K_{одк}$ тяжелых металлов		
	Cu	Ni	Pb
	Криоземы		
ОДК	66	40	65
Оганер	132,0	92,3	0,8
Валек	73,1	79,2	1,0
Рыбная	7,9	21,8	0,3
Богонидское	1,2	1,6	0,7
	Подбуры		
ОДК	132	80	130
Ергалах	8,9	11,2	0,2
Талнах	0,1	2,5	0,1
Ирбэ	0,1	0,1	0,1

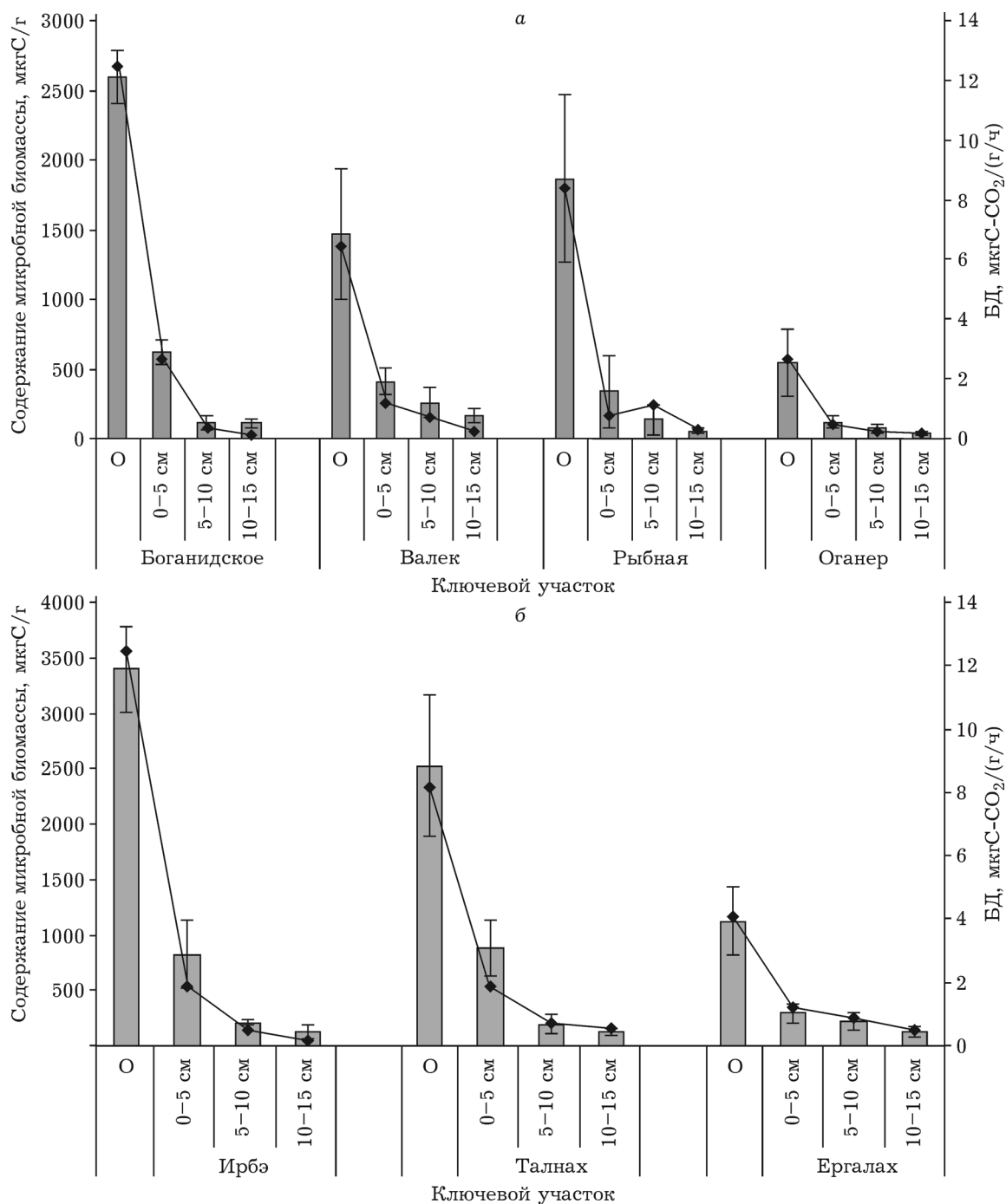


Рис. 2. Содержание микробной биомассы (диаграммы) и интенсивность базального дыхания (графики) в разных типах почв ключевых участков НПР (а – криоземы; б – подбурь)

В криоземе, расположенном в 3 км от Норильского промышленного района, слой многолетней мерзлоты в конце лета находится за пределами почвенного профиля. Увеличение кислотности поверхностного органического горизонта до 3,7 регистрируется

в профиле криозема КУ Оганер, при этом снижение величин рН характерно для в верхнего 0–5 см слоя. Профильное распределение величин кислотности более глубоких слоев аналогично фоновому. Следствием снижения актуальной кислотности, ве-

роятно, стало выщелачивание карбонатов кальция и магния, а также мобилизация алюминия.

Подбуры на фоновом КУ Ирбэ характеризуются высоким содержанием гумуса, в горизонтах ВНГ достигает 12,2 %. Гранулометрический состав почв от супесчаного до суглинистого. Реакция почвенного раствора в органогенных и органоминеральных горизонтах слабокислая (pH_{H_2O} 4,5–6,5), в материнских породах приближается к нейтральной или слабощелочной. Почвы характеризуются высокой гидролитической кислотностью (33,5–61,6 ммоль/100 г) и низкой степенью насыщенности обменными основаниями в верхних горизонтах. Вниз по профилю почв гидролитическая кислотность снижается до 13,9–1,06 ммоль/100 г, а степень насыщенности основаниями возрастает до 68–97 %.

В подбурах на сильно нарушенном КУ Ергалах в верхнем органогенном горизонте наблюдается снижение pH до 3,8. В минеральной толще кислотность не меняется, оставаясь в пределах 5,6–6,0.

Функциональная оценка почв на основе микробиологических критериев показала, что наибольшей сбалансированностью микробиологических процессов деструкции органических веществ характеризуются почвы при слабой и умеренной нарушенности растительности (КУ “Ирбэ”, “Боганидское”, “Талнах” и “Валек”). Отмечается высокая скорость продуцирования углекислоты в верхних органогенных слоях почв лесотундры (от 12,5 до 6,5 мкг С–СО₂ г/ч) и не уступающие более южным регионам величины содержания микробной биомассы (от 3400 до 1500 мкг С/г) и численности гетеротрофной микрофлоры. Среди ЭКТГМ отмечена высокая численность аммонификаторов, микроорганизмов, использующих минеральный азот и сложные углеводы, и олиготрофных группировок. Отмечено значительное преобладание микроорганизмов, использующих минеральный азот, над аммонификаторами, что свидетельствует об интенсивных процессах микробиологической минерализации органического вещества.

Наибольшие структурно-функциональные нарушения в почвенном микробном комплексе отмечены при полном нарушении расти-

тельного покрова (КУ “Оганер”, “Ергалах”, “Рыбная-Орон”). Показатели функциональной активности микробных сообществ снижаются в 2–6 раз (рис. 2), в гетеротрофном комплексе микроорганизмов происходят структурно-таксономические перестройки [Богородская, 2012], что связано как с разной чувствительностью микрофлоры различных эколого-трофических групп к воздействию поллютантов, так и с трансформацией условий существования микрофлоры в техногенных почвах.

На основании экофизиологического состояния и структурно-функциональных изменений в почвенном микробном комплексе дана оценка степени нарушенности микробных сообществ почв лесотундровой зоны, подверженной аэротехногенному загрязнению. По состоянию микробных комплексов почв КУ “Ирбэ”, “Боганидское”, “Талнах” и “Валек” выделяются как ненарушенные и слабонарушенные. Микробные комплексы почв этих КУ характеризовались сбалансированностью микробиологических процессов и высокими показателями $S_{мик}$, БД и численностью гетеротрофной микрофлоры. Структура ЭКТГМ соответствовала таковой для данных типов почв. Таким образом, состояние микробных сообществ, отмеченных КУ свидетельствует об их экологической устойчивости.

Состояние микробных комплексов почв КУ “Оганер”, “Ергалах”, “Рыбная-Орон” соответствуют значительному (сильному) нарушению. Отмечено снижение в 2–6 раз экофизиологических параметров, микробиологические процессы деструкции органических веществ не всегда сбалансированы, отмечены значительные структурно-таксономические перестройки в гетеротрофном комплексе микроорганизмов. Вышеизложенное свидетельствует о снижении устойчивости почвы к воздействию неблагоприятных факторов, в том числе и к поллютантам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что в геохимическом отношении территория исследования неоднородна. При этом содержание валовых форм элементов в почвообразующей породе не превышает кларки более чем в 2 раза. Кларки концентрации, рассчитанные для верхних

горизонтов почв, позволяют выделить зону максимального загрязнения $КК > 10$ (Оганер, Валек, Ергалах, Рыбная), зону умеренного загрязнения $КК 2-10$ (Талнах) и незагрязненные (условно фоновые) территории $КК < 2$ (Ирбэ, Богонидское), что совпадает с делением участков по состоянию фитоценозов. Резкое уменьшение величин $КК$ по мере удаления от источника загрязнения подтверждает аэротехногенную природу поступления загрязнителей.

Почвенный покров загрязнен неравномерно, что связано с пространственно-временной изменчивостью техногенного воздействия. Наиболее высокие коэффициенты техногенного накопления отмечены для меди и никеля, что позволяет отнести их к приоритетным загрязнителям в почвах исследуемой территории. Для остальных элементов $К_{тн}$ заметно ниже. По $К_{тн}$ меди и никеля в верхних органогенных горизонтах почвы ключевые участки можно расположить в следующем порядке: Оганер > Ергалах > Валек > Талнах > Рыбная.

Концентрации валовых форм меди и никеля в верхних горизонтах криоземов превышают гигиенические нормативы на всех ключевых участках, в том числе несущественно и на фоновом участке Богонидское. В подбурках превышение величин ОДК для меди наблюдается только на КУ Ергалах, для никеля на КУ Ергалах и Талнах. В криоземах показатели превышения допустимых концентраций элементов значительно выше, чем в подбурках.

Выявлено, что в почвах загрязненных ТМ на сильно нарушенных ключевых участках повышается кислотность верхних органогенных горизонтов, что обуславливает снижение буферности.

В загрязненных тяжелыми металлами почвах отмечаются значительные структурно-таксономические перестройки в гетеротрофном комплексе микроорганизмов и несбалансированность процессов деструкции органических веществ. Наибольшие структурно-функциональные нарушения в почвенном микробном комплексе отмечены при полном нарушении растительного покрова (КУ "Оганер", "Ергалах", "Рыбная-Орон"). По состоянию микробных комплексов почв КУ "Ир-

бэ", «Богонидское», "Талнах" и "Валек" выделяются как ненарушенные и слабонарушенные.

Эколого-функциональная оценка показала, что почвы в зоне аэротехногенного воздействия НПР претерпевают значительные трансформации. В связи с этим необходимо выделять группы антропогенно-преобразованных почв (хемоземы, химически-преобразованные, абраземы и др.), формирующихся во всех стволах почв.

ЛИТЕРАТУРА

- Ананьева Н. Д. Микробиологические аспекты самоочищения и устойчивости почв. М.: Наука, 2003. 222 с.
- Архипова А. И. Кларки интрузивных траппов и полезные ископаемые Норильского плато // Геология и полезные ископаемые Норильского района. Норильск, 1971. С. 87-88.
- Благодатская Е. В., Пампура Т. В., Богомолова И. Н., Копчик Г. Н., Лукина Н. В. Влияние выбросов медно-никелевого комбината на микробные сообщества почв лесных биогеоценозов Кольского полуострова // Изв. РАН. Сер. биол. 2008. № 2. С. 232-242.
- Богородская А. В., Пономарева Т. В., Шапченкова О. А., Шишкин А. С. Оценка состояния микробных комплексов почв лесотундровой зоны в условиях аэротехногенного загрязнения // Почвоведение. 2012. № 5. С. 582-593.
- Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв и грунтов. М.: Высш. шк., 1973. 400 с.
- Васильевская В. Д. Почвообразование в тундрах Средней Сибири. М.: Наука, 1980. 235 с.
- Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 238 с.
- Добровольский В. В. Ландшафтно-геохимические критерии оценки загрязнения почвенного покрова тяжелыми металлами // Почвоведение. 1999. № 5. С. 639-645.
- Иванова А. М., Егорова И. С., Куликов Ю. С. Геохимические методы поисков меди и никеля на северо-западе Сибирской платформы. Норильск, 1967. 560 с.
- Ильин В. Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. 151 с.
- Ильин В. Б. О надежности гигиенических нормативов содержания тяжелых металлов в почве // Агротехника. 1992а. № 12. С. 7-85.
- Ильин В. В. Оценка буферности почв по отношению к тяжелым металлам // Там же. 1995. № 10. С. 109-113.
- Лукина Н. В., Никонов В. В. Биогеохимические циклы в лесах Севера в условиях агротехногенного загрязнения: в 2-х ч. Апатиты: изд-во Кольского науч. центра РАН, 1996. Ч. 1. 213 с.
- Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при

- контроле загрязнения окружающей среды металлами. М.: Гидрометеиздат, 1981.
- Методы почвенной микробиологии и биохимии / под ред. Д. Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.
- Пономарева Т. В. Специфика формирования мерзлотных почв в условиях аэротехногенного воздействия // Проблемы использования и охраны природных ресурсов Красноярского края. 2006. Вып. 8. С. 116–120.
- Соколов И. А., Тонконогов В. Д. О почвах плато Путорана // Путоранская озерная провинция: тр. Лимнологич. ин-та СО АН СССР. Новосибирск: Наука, 1975. Т. 22 (40). С. 115–121.
- Сорокин Н. Д., Афанасова Е. Н. Микробная индикация почв, загрязненных промышленными эмиссиями // Сиб. экол. журн. 2011. № 5, С. 689–695.
- Средняя Сибирь. М.: Наука, 1964. 480 с.
- Anderson T.-H., Domsh K. H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soil // Soil Biol. and Biochem. 1978. Vol. 10. P. 215–221.

Ecological and Functional Estimation of Soil Condition within the Zone of Technogenic Impact of Norilsk Industrial Complex

T. V. PONOMAREVA, O. V. TREFILOVA, A. V. BOGORODSKAYA, O. A. SHAPCHENKOVA

*V. N. Sukachev Institute of Forest SB RAS
660036, Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50/28
E-mail: bashkova_t@mail.ru*

The analysis of ecological and functional state of soils within the zone of technogenic impact of Norilsk industrial plants was made. The criteria used for evaluation were: the content of heavy metals and sulfur as well as microbiological activity of the soil. The basic polluting elements were distinguished. As it was determined, the areas of extreme concentration of heavy metals in soils near the sources of emission were located along the directions of the prevailing winds. Structural and functional abnormalities in the soil microbial complex were marked out in case of strong disturbance of vegetation.

Key words: anthropogenic ecosystems, soils, heavy metals, sulfur, microbiological activity.