

УДК 504.5: 621.311.22

ОСОБЕННОСТИ ДЕПОНИРОВАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕННОМ ПОКРОВЕ ТЕРРИТОРИЙ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ

Делигодина Ю.Н., Захарова О.Л., Савельева И.Н., Шанина Е.В.

ФГБОУ ВО «Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова», Абакан,
e-mail: olgazaharova4691@mail.ru

В работе проведена оценка влияния предприятий теплоэнергетики различной мощности (Минусинская и Абаканская ТЭЦ) на загрязнение почв тяжёлыми металлами и выявлены особенности их распространения в почвенном покрове прилегающих территорий. По результатам исследования выявлено, что средние концентрации тяжёлых металлов (Pb, Cd, Zn, Hg) в регионе не превышают нормативы предельно допустимых концентраций (ПДК). При этом среднее содержание ионов меди в почвах всех исследуемых территорий приближается к нормативному значению. Буферные свойства почв вблизи исследуемых предприятий в разной степени компенсируют техногенную нагрузку данных источников загрязнения. Почвы вокруг Минусинской ТЭЦ, охарактеризованные как низкобуферные, в большей степени подвержены загрязнению тяжёлыми металлами. Наиболее высокий уровень загрязнения почвенного покрова тяжёлыми металлами выявлен в северо-восточном направлении от границ исследуемых предприятий, что обусловлено комплексом природных условий, которые определяют интенсивное распространение аэротехногенных выбросов в этом направлении по сравнению с юго-западным.

Ключевые слова: загрязнение почв, тяжёлые металлы, пространственные особенности распространения, буферная способность почв, воздействие предприятий теплоэнергетики

FEATURES OF DEPOSITION OF HEAVY METALS IN THE SOIL COVER OF TERRITORIES OF INFLUENCE OF THE ENTERPRISES OF POWER SYSTEM OF DIFFERENT POWER

Deligodina Yu.N., Zakharova O.L., Saveleva I.N., Shanina E.V.

The Khakass State University of N.F. Katanov, Abakan, e-mail: olgazaharova4691@mail.ru

In work the assessment of influence of the enterprises of power system of various power (The Minusinsk and Abakan combined heat and power plant) on pollution of soils is carried out by heavy metals and features of their distribution in a soil cover of adjacent territories are revealed. By results of a research it is revealed that average concentration of heavy metals (Pb, Cd, Zn, Hg) in the region don't exceed standards of the threshold limit values (TLV). At the same time, the average content of ions of copper in soils of all explored territories approaches standard value. Buffer properties of soils near the studied enterprises in different degree compensate technogenic loading of these sources of pollution. The soils around the Minusinsk combined heat and power plant characterized as low-buffer are more subject to pollution by heavy metals. The highest level of pollution of a soil cover is revealed by heavy metals in the northeast direction from borders of the studied enterprises that is caused by a complex of an environment which defines intensive distribution of aero technogenic emissions in this direction in comparison with southwest.

Keywords: pollution of soils, heavy metals, spatial features, distribution, buffer ability of soils, influence of the enterprises, power system

Развитие промышленного производства обуславливает поступление в природную среду значительных объёмов химических веществ, при этом их количество ежегодно возрастает [1].

Предприятия теплоэнергетики являются одними из основных источников загрязнения. Приоритетными загрязнителями данных предприятий выступают тяжёлые металлы, относящиеся к категории суперэкоотоксикантов, они обладают мутагенными и канцерогенными свойствами, а также способностью к накоплению в объектах окружающей среды [2].

Прогрессирующее загрязнение природных сред газообразными, твердыми и жидкими вредными выбросами от предприятий теплоэнергетики приводит к нарушению важнейшего принципа природы – принци-

па самовосстановления. В данном процессе почвенный покров выполняет важные экологические функции [3].

В связи с этим исследование, направленное на выявление уровня загрязнения и особенностей распространения тяжёлых металлов в почвенном покрове в зоне влияния предприятий теплоэнергетики, является актуальным.

Цель данного исследования – оценить влияние предприятий теплоэнергетики различной мощности на загрязнение почв тяжёлыми металлами и выявить особенности их депонирования в почвенном покрове прилегающих к предприятиям территорий.

Объект исследования – почвы, находящиеся в зоне влияния Минусинской и Абаканской ТЭЦ.

Таблица 1

Технологические показатели Минусинской и Абаканской ТЭЦ
(филиалы ОАО «Енисейская ТГК (ТГК-13)»)

Технологические показатели предприятия	ОАО «Енисейская ТГК (ТГК-13)»	
	Минусинская ТЭЦ	Абаканская ТЭЦ
Электрическая мощность, МВт	85	406
Тепловая мощность, Гкал/ч	330,4	700
Основное топливо	бурый уголь Ирша-Бородинского месторождения	бурый уголь Ирша-Бородинского месторождения
Высота дымовой трубы, м	100	120
Газоочистное оборудование	батареиные циклоны типа БЦУ-М	электрофильтр типа Alstom Power
Эффективность газоочистного оборудования, %	84,6	99,7
Объём выбросов, т/год	2334,1	8820,0

Для определения содержания и характера распространения ионов тяжелых металлов (Pb, Cd, Cu, Zn, Hg), в почвах, прилегающих к Абаканской и Минусинской ТЭЦ (филиалы ОАО «Енисейская ТГК (ТГК-13)»), на заложенных трансектах были отобраны почвенные образцы.

Абаканская ТЭЦ расположена на западной окраине г. Абакана, на левом берегу р. Ташеба. Жилая зона города находится в 3 км от промышленной площадки ТЭЦ. Минусинская ТЭЦ отнесена на 5 км в юго-восточном направлении от административных границ г. Минусинска.

Отбор почвенных проб производился в двух направлениях от границ предприятий с учётом розы ветров: северо-восточном и юго-западном по мере удаления от источника загрязнения. Пробы отбирали по ГОСТу 17.4.3.01-83 на пробных площадях размером 1×1 м, расположенных на расстоянии 100, 500, 700, 1000, 2000 м от границ предприятий, в пределах заложенных трансект. Взятие проб осуществлялось в слое 0–20 см. В пределах исследуемых территорий было отобрано 200 почвенных образцов.

Содержание тяжелых металлов в почве определяли по общепринятым методикам. Концентрацию подвижной формы ионов свинца, кадмия, меди и цинка – методом инверсионной вольтамперометрии, концентрацию ртути – атомно-абсорбционным методом холодного пара.

Для целостного представления о процессах накопления и трансформации загрязняющих веществ, происходящих в почвенном покрове исследуемых территорий и оценки буферной способности почв, были определены необходимые почвенные показатели: содержание гумуса в слое 0–20 см,

гранулометрический состав, рН водной вытяжки. Полученные данные были обработаны статистически.

Оценка буферной способности почв исследуемых территорий проводилась по шкале В.Б. Ильина и А.И. Сысо [4].

Минусинская и Абаканская ТЭЦ относятся к предприятиям второго класса опасности, которые вырабатывают энергию в процессе сжигания минерального топлива – угля. Санитарно-защитная зона (СЗЗ), установленная в соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03, для каждого предприятия составляет 500 м.

Данные предприятия теплоэнергетики различаются как источники загрязнения окружающей среды. Так, объёмы производственных выбросов в атмосферу Абаканской ТЭЦ в 3,8 раза больше по сравнению с Минусинской ТЭЦ, что отчасти обусловлено технологическими показателями и эффективностью используемого газоочистного оборудования [5] (табл. 1).

Буферность – это защитные возможности почвы, влияющие на подвижность химических элементов, что определяет их воздействие на контактирующие среды. Чем меньшими буферными свойствами обладает почва, тем большую опасность представляет её загрязнение химическими веществами [6].

Согласно шкале В.Б. Ильина и А.И. Сысо (2001) [4], основными показателями, учитываемыми при оценке буферной способности почв, являются гранулометрический состав, степень гумусированности и водородный показатель ($pH_{водн}$).

Результаты диагностики свидетельствуют о том, что почвы территории, прилегающей к Абаканской ТЭЦ, характеризуются как среднесуглинистые, где доля механических фракций физической глины и фи-

зического песка составляет 30 и 70% соответственно. Среднее содержание гумуса в верхнем слое почвы – 1,73%, что позволяет отнести их к низкогумусным. Значение водородного показателя ($pH_{\text{водн.}}$) равно 7,36, что характеризует среду почвенного раствора как щелочную (табл. 2).

Отличие от данных почв, почвы территории, прилегающей к Минусинской ТЭЦ, имеют более лёгкий гранулометрический состав (15% физической глины и 85% физического песка) и относятся к супесчаным разновидностям. По показателю содержания гумуса в слое 0–20 см почвы исследуемых территорий близки. Для данных почв $pH_{\text{водн.}}$ составляет 6,82 и определяет их как нейтральные.

В соответствии со шкалой буферности почв по отношению к тяжелым металлам, по совокупности показателей, почва территории, прилегающей к Абаканской ТЭЦ, количественно оценивается в 24,5 балла и характеризуется средней буферной способностью.

Буферность почв, расположенных вблизи Минусинской ТЭЦ, оценивается в 17 баллов и характеризуется как низкая. Данные различия обуславливают особенности механизма накопления и миграции тяжелых металлов в пределах верхнего слоя относительно источника загрязнения (табл. 3).

Среднее содержание подвижных форм свинца ($1,92 \pm 0,44$ мг/кг) и цинка ($4,41 \pm 1,37$ мг/кг) в почвах, прилегающих к Абаканской ТЭЦ, в 1,2; 1,4 раза больше, чем в почвах зоны влияния Минусинской ТЭЦ (табл. 4).

Обратная тенденция зафиксирована для ионов меди. Их концентрация в почвах территории, прилегающей к Минусинской ТЭЦ, выше по сравнению с почвами территории Абаканской ТЭЦ и в среднем составляет $2,95 \pm 0,62$ мг/кг

Содержание ртути в почвенном компоненте исследуемых территорий характеризуется близкими значениями и составляет в среднем $0,003 \pm 0,001$ и $0,0020 \pm 0,0006$ мг/кг, соответственно. Подвижные формы ионов кадмия в исследуемых почвах не обнаружены. Это может быть связано с тем, что концентрация данного элемента в почвах ниже предела чувствительности метода, для которого этот порог составляет 0,10 мг/кг. В целом средние концентрации данных поллютантов не превышают нормативы предельно допустимых концентраций (ПДК). Однако необходимо отметить, что среднее содержание ионов меди приближается к нормативному значению, это характерно для почв всех исследуемых территорий.

Таблица 2

Среднестатистические значения некоторых показателей почв зоны воздействия Абаканской и Минусинской ТЭЦ, $n = 4$

Приуроченность почв	Механические фракции		Содержание гумуса в слое 0–20 см, %	$pH_{\text{водн.}}$	Характеристика почвы
	Физическая глина (< 0,01 мм), %	Физический песок (> 0,01 мм), %			
территория, прилегающая к Абаканской ТЭЦ	30,00	70,00	$1,73 \pm 0,73$	$7,36 \pm 0,20$	среднесуглинистая, низкогумусная, щелочная
территория, прилегающая к Минусинской ТЭЦ	15,00	85,00	$2,00 \pm 0,84$	$6,82 \pm 0,20$	супесчаная, низкогумусная, нейтральная

Таблица 3

Оценка буферной способности почвенного покрова территорий воздействия Абаканской и Минусинской ТЭЦ по В.Б. Ильину и А.И. Сысо (2001) [4]

Показатели	Предприятие теплоэнергетики	
	Абаканская ТЭЦ	Минусинская ТЭЦ
Содержание физической глины, % / количество баллов	30,0/10,0	15,0/5,0
Содержание гумуса, % / количество баллов	1,7/2,0	2,0/2,0
pH / количество баллов	7,4/12,5	6,8/10,0
Итого баллов по совокупности показателей	24,5	17,0

Примечание. Числитель – величина показателя; знаменатель – соответствующее количество баллов.

Таблица 4

Среднестатистические значения концентраций тяжелых металлов в почвах исследуемых территорий, мг/кг (n = 100)

Предпри- ятие	Тяжёлые металлы	Статистические показатели					
		X_{\min}	X_{\max}	$X_{\text{ср.}}$	ПДК	σ	V, %
1	2	3	4	5	6	7	8
Абаканская ТЭЦ	Pb ⁺²	0,00	7,58 ± 1,72	1,92 ± 0,44	6,00	2,37	1,14
	Cd ⁺²	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00
	Cu ⁺²	0,27 ± 0,06	9,36 ± 1,96	2,2 ± 0,46	3,00	1,62	0,51
	Zn ⁺²	0,26 ± 0,08	16,79 ± 5,22	4,1 ± 1,37	23,00	1,34	0,81
	Hg ⁺	0,00	0,025 ± 0,001	0,003 ± 0,001	2,10	0,21	0,95
Минусинская ТЭЦ	Pb ⁺²	0,00	4,60 ± 1,04	1,58 ± 0,36	6,00	2,66	1,54
	Cd ⁺²	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00
	Cu ⁺²	0,00	9,03 ± 1,90	2,95 ± 0,62	3,00	1,48	1,03
	Zn ⁺²	0,00	8,77 ± 2,73	3,03 ± 0,95	23,00	1,26	0,92
	Hg ⁺	0,00	0,006 ± 0,002	0,0020 ± 0,0006	2,10	0,34	0,47

Примечание. *За нулевое значение концентрации принято содержание металла в почве, оказавшееся ниже предела чувствительности метода исследования (предел чувствительности метода исследования для свинца – 0,50 мг/кг, кадмия – 0,10 мг/кг, меди – 1,0 мг/кг, цинка – 1,0 мг/кг, ртути – 0,001 мг/кг) (ПНД Ф 16.1:2:2:2:3.48-06; МУК 4.1.1471-03).

Характер накопления подвижных форм тяжёлых металлов в почвах северо-восточного и юго-западного направлений различен. Так, в почвах северо-восточного направления от границ предприятия Абаканской ТЭЦ содержание свинца, меди и цинка больше по сравнению с их концентрацией в почвах юго-западного направления (рис. 1).

При этом уровни накопления данных элементов, независимо от направления, находятся в пределах норматива ПДК. Исключением является медь, концентрация ионов которой в почвах северо-восточного направления составляет 1,17 ПДК.

Подобная тенденция накопления подвижных форм тяжёлых металлов сохраняется и в почвенном покрове территории, прилегающей к промышленной площадке Минусинской ТЭЦ (рис. 2).

Анализ полученных результатов выявляет некоторые различия в уровнях накопления токсикантов данной группы. Так, концентрация ионов свинца и цинка в почвах, расположенных в северо-восточном направлении от границы Абаканской ТЭЦ, выше их содержания в почвах этого же направления, прилегающих к Минусинской ТЭЦ, в 1,5 и 1,8 раза соответственно. Значения концентраций ионов меди в почвах, локализованных на северо-востоке от гра-

ниц исследуемых предприятий, сходны, но в почвах юго-западного направления от промышленной площадки Минусинской ТЭЦ содержание ионов меди в 2 раза выше по сравнению с почвами окрестностей Абаканской ТЭЦ и достигает в среднем 2,3 мг/кг.

Наиболее высокий уровень загрязнения почвенного покрова тяжёлыми металлами в северо-восточном направлении от границ исследуемых предприятий, вероятно, обусловлен комплексом природных условий, которые определяют интенсивное распространение азротехногенных выбросов в этом направлении по сравнению с юго-западным.

Несмотря на то, что Абаканская ТЭЦ является более мощным региональным предприятием теплоэнергетики в сравнении с Минусинской ТЭЦ, уровень загрязнения почвенного покрова тяжёлыми металлами на исследуемых территориях различается незначительно. Это может быть связано со свойствами почв, прилегающих к данным предприятиям. Так, почвы, расположенные вблизи Абаканской ТЭЦ, обладают средними буферными свойствами, которые в некоторой степени компенсируют техногенную нагрузку данного источника загрязнения на почвенный покров, определяя существующие уровни загрязнения.

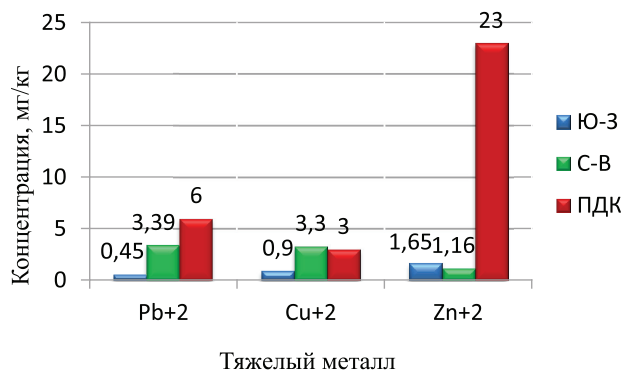


Рис. 1. Содержание ионов свинца, меди и цинка в почвах, прилегающих к Абаканской ТЭС, n = 100

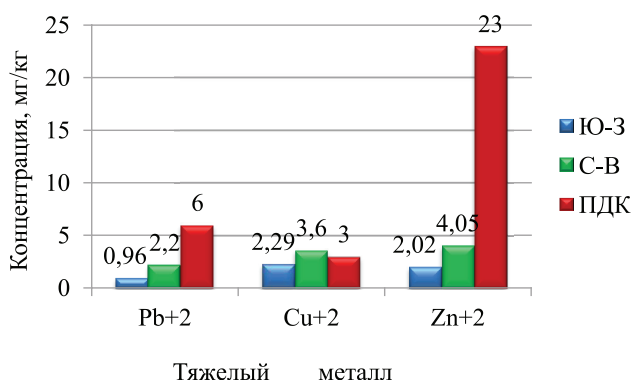


Рис. 2. Содержание ионов свинца, меди и цинка в почвах, прилегающих к границам Минусинской ТЭС, n = 100

Почвы вокруг Минусинской ТЭС, охарактеризованные как низкобуферные, в большей степени подвержены загрязнению тяжёлыми металлами, так как физические и физико-химические свойства данных почв не способствуют переводу токсикантов в связанное состояние и депонированию их в ходе активных поглощательных процессов.

На основе вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Средние концентрации тяжёлых металлов не превышают нормативы предельно допустимых концентраций. При этом среднее содержание ионов меди приближается к нормативному значению, и это характерно для почв всех исследуемых территорий.

2. Наиболее высокий уровень загрязнения почвенного покрова тяжёлыми металлами в северо-восточном направлении от границ исследуемых предприятий, вероятно, обусловлен комплексом природных условий, которые определяют интенсивное распространение аэротехногенных выбросов в этом направлении по сравнению с юго-западным.

3. Уровень загрязнения почвенного покрова тяжёлыми металлами на исследуе-

мых территориях различается незначительно из-за отличий в буферной способности этих почв. Средние буферные свойства почв вблизи Абаканской ТЭС в некоторой степени компенсируют техногенную нагрузку данного источника загрязнения. Низкая буферность почв, расположенных вокруг Минусинской ТЭС, снижает их способность переводить токсиканты в связанное состояние и депонировать тяжёлые металлы в ходе активных поглощательных процессов.

Список литературы

1. Попова Л.Ф. Особенности накопления тяжелых металлов почвами и растениями в условиях промышленного города / Л.Ф. Попова // *Фундаментальные исследования*. – 2005. – № 10. – С. 88–89.
2. Hooda P.S. A special issue on heavy metals in soils: editorial foreword // *Adv. Environ. Res.* – 2003. – V. 8. – P. 1–3.
3. Лукьянчиков Н.Н. Экономика и организация природопользования / Н.Н. Лукьянчиков. – М.: Тройка, 2002. – 687 с.
4. Ильин В.Б., Сысо А.И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области / В.Б. Ильин, А.И. Сысо. – Новосибирск: СО РАН, 2001. – 231 с.
5. Пономарева Д.Н. Проект реконструкции газоочистного оборудования на паровых котлоагрегатах БКЗ-75-39ФБ предприятия «Минусинская ТЭС» / Д.Н. Пономарева. – Абакан: Март, 2011. – 76 с.
6. Ерьсько М.Н. Кислотно-основная буферность почв как индикатор устойчивости экосистемы / М.Н. Ерьсько // *Земля Беларуси*. – 2014. – № 4. – С. 36–44.