

УДК 504.064.2:546 (470.13)

**СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ И РАСТЕНИЯХ  
В ОКРЕСТНОСТИ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ПРИМЕРЕ  
ШАХТЫ «ВОРКУТИНСКАЯ» ГОРОДА ВОРКУТЫ РЕСПУБЛИКИ КОМИ**

© Е. Н. Северьянова

*Ульяновский государственный университет  
Россия, 432017 г. Ульяновск, ул. Льва Толстого, 42.**Тел.: +7 (842) 241 20 88.**Email: severyanoviv@mail.ru*

*В данной статье приведены результаты исследования почвенного и растительного покрова в окрестности шахты «Воркутинская» на содержание в них тяжелых металлов, дана характеристика степени загрязнения территории. Установлена зависимость концентрации тяжелых металлов в органах растений от их содержания в почвенном покрове на местах их произрастания.*

**Ключевые слова:** угольная шахта, тяжелые металлы, почвенный и растительный покров.

**Введение**

Шахта «Воркутинская» является структурным подразделением ОАО «Воркутауголь». Построена она на базе шахты №1 «Капитальная» и №40. Предприятие сдано в эксплуатацию в 1973 году с производственной мощностью 1,8 млн тонн угля в год. Шахта отрабатывает пласты «Тройной» и «Четвертной» [1].

Промышленные запасы шахты «Воркутинская» составляют около 40 миллионов тонн, что обеспечивает работу шахты с нынешней производственной мощностью почти на полвека. Чтобы освоить эти запасы на современном этапе перед руководством шахты стоят задачи по модернизации производства [2]. Кроме этого, необходимо уделить особое внимание мониторингу окружающей среды, поскольку по данным исследования, опубликованного в 2006 году, Республика Коми вносит наибольший вклад в общую сумму загрязненных земель среди субъектов Северо-Западного Федерального Округа, а именно 18%, затем идут Ленинградская и Архангельская области (15%), другие субъекты имеют от 4 до 12%. Непосредственно на территории республики 76% загрязненных земель сформировалось в четырех районах: Воркута, Ухта, Инта и Сыктывкарский район. Город Воркута на втором месте по количеству загрязненных земель: общая площадь загрязненной территории – 2562 кв. км, что в процентном соотношении – 10,6% [3]. Ухудшение экологической обстановки в районе деятельности горного производства происходит в результате того, что ареал отрицательного воздействия горного предприятия на природный ландшафт значительно превышает площадь земельного отвода [4].

Наиболее существенные нарушения природной среды в Печерском угольном бассейне происходит вокруг шахт. По данным Н. Б. Какунова зона максимального нарушения составляет 30–35 км<sup>2</sup> [5]. Основным фактором, влияющим на пространственное распределение выбросов относительно источника эмиссии, следует считать ветровой режим [6].

В работе Т. В. Корчагиной [7] установлено, что интенсивность формирования пылегазовых выбросов, сбросов и нарушения земель при добыче коксующихся углей подземным способом зависит от энергопотребления и производственной мощности шахт. При этом пылегазовые выбросы составляют 33,4 тыс. т/год, сбросы 17,6 млн. м<sup>3</sup>, нарушения земель 29,5 га.

В результате добычи ископаемых углей происходит высвобождение тяжелых металлов и их поступление в окружающую среду. Основным источником являются отвалы вскрышных пород. Например, вскрышные породы Экибастуза содержат (в процентах): меди – 0,2; кобальта – 0,005; свинца – 0,03; цинка – 0,08; молибдена – 0,003; никеля – 0,002; марганца – 0,7; хрома – 0,3, что на

1–2 порядка выше кларка этих металлов в осадочных породах. В вскрышных породах Кизелевского угольного бассейна содержатся следующие тяжелые металлы (в процентах): цинк – до 0,4; медь – до 0,2; мышьяк – до 0,01; висмут и кадмий – до 0,002. В случае возгорания этих пород дальность обнаружения загрязнения почв вышеуказанными металлами может достигать 30–50 км [4].

Несмотря на серьезность проблемы загрязнения и деградации почвенного покрова, которая впоследствии может привести к нарушению функционально-экологического равновесия биосферы, она незначительно заметна в обыденной жизни по сравнению с исчезновением многих редких видов животных и растений. Поэтому ускоряющийся процесс деградации почв называют «тихим экологическим кризисом планеты» и самой сильной угрозой благополучию человечества [8]. Как известно, состояние почвенного покрова является основным показателем величины происходящих изменений в окружающей природной среде.

**Цель исследования**

Определение концентрации и степени подвижности тяжелых металлов в системе «почва-растение» в зоне деятельности шахты «Воркутинская» в Воркутинском промышленном районе Республики Коми.

**Объекты и методы исследования**

Для осуществления поставленной цели были отобраны образцы естественного почвенного покрова Большеземельской тундры, техногенного почво-грунта с глубин 0–5 и 5–20 см и угольной породы с породных угольных отвалов и шлама (угольная пыль) в окрестности шахты «Воркутинская». Был отобран и исследован растительный материал с каждой точки отбора почвенных образцов на содержание тяжелых металлов. Для проведения исследования были взяты листья, ветки и корни популярных для Воркутинской тундры кустарников березы карликовой (лат. *Betula nana*) и полярной ивы (лат. *Salix polaris*), листья, стебли и корни лекарственного травянистого растения иван-чая (лат. *Chamaenerion*).

Почвенные разрезы закладывались по четырем сторонам света, при этом основным ориентиром являлась местная роза ветров, которая говорит о преобладании в городе Воркуте ветров Северного и Северо-Западного направлений. Отбор почвенных образцов был проведен в августе 2014 года в сухую безветренную погоду. Температура воздуха +20 °С, влажность воздуха 68 %.

Почвенные образцы после их отбора доставлены в лабораторию, где были доведены до воздушно-сухого состояния. Из почвы удалены все включения и новообразования, в том числе корешки растений. Затем почвенные частицы были пропущены через сито с отверстиями диаметром 1 мм, с целью подготовки почвенных образцов к дальнейшему химическому исследованию.

Таблица 1

Места отбора почвенных образцов в окрестности шахты «Воркутинская»

№ участка	Направление от шахтного ствола	Расстояние от шахты (м)	Участок отбора почвенного образца
1	Юг	400	Техногенный почво-грунт
2	Юг	500	Техногенный почво-грунт
3	Юг	1000	Техногенный почво-грунт
4	Юго-Запад	8000	Отвал угольной породы
5	Юго-Запад	7700	Естественный почвенный покров
6	Запад	7000	Отвал угольной породы
7	Запад	6500	Естественный почвенный покров
8	Северо-Запад	2000	Шлам (жидкий)
9	Северо-Запад	2200	Шлам (сухой)
10	Северо-Запад	2400	Отвал угольной породы
11	Север	2500	Отвал угольной породы
12	Север	3000	Естественный почвенный покров
13	Север	4000	Естественный почвенный покров
14	Восток	700	Техногенный почво-грунт

Основные химические показатели общего анализа почв были определены с использованием материала из «Лабораторного практикума по почвоведению» [9].

В исследуемом почвенном покрове были исследованы гранулометрический состав, физико-химические свойства. Актуальная кислотность почв определялась потенциометрическим методом с помощью рН-метра, содержание органического углерода мокрым сжиганием по Тюрину, насыщенность исследуемых почв обменными основаниями  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  комплексонометрическим методом [10], в почвах и растениях определялись концентрации тяжелых металлов (Cu, Zn, Cd, Pb, Ni, Mn) в вытяжках методом атомно-абсорбционной спектроскопии.

### Результаты и их обсуждение

#### Исследование почвенного покрова в окрестности шахты «Воркутинская»

Оценка степени загрязнения изучаемой территории может быть дана только при обязательном исследовании почвенного покрова, поскольку почва является долговременным депоном различных химических элементов, в том числе и тяжелых металлов. Для определения закономерности загрязнения почвенного покрова и распространения в нем химических элементов необходимо исследование его геохимических свойств. Естественный почвенный покров исследуемый в окрестности шахты «Воркутинская» имеет реакцию среды (рН) от сильно-кислой (3.7) до кислой (4.2), что характерно для почвенного покрова города Воркуты. Угольная порода с отвалов, шлам и техногенные почво-грунты, исследуемые в окрестности шахты «Воркутинская» имеют значение рН от слабокислой (5.1) до нейтральной (7.1), это объясняется щелочной реакцией угольной породы, которая присутствует в профиле техногенных почво-грунтов. Значение рН с глубиной от 0–5 см до 5–20 см не изменяется. В естественном почвенном покрове содержание гумуса в торфяном горизонте имеет значение 13%, вне торфяного горизонта данное значение изменяется от 2.6% до 4.2%, уменьшаясь с глубиной. На отвалах угольной породы содержание гумуса незначительное. На техногенных почво-грунтах, где почвенные частицы перемешаны с угольной породой и идет активный процесс почвообразования и формирования растительного покрова содержание гумуса в верхних горизонтах имеет значение 10%. Почвенно-поглощающий комплекс естественного почвенного покрова и техногенных почво-грунтов не насыщен обменными  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ . Это

связано с суровыми климатическими условиями, легким гранулометрическим составом и кислой реакцией почвенного раствора. Гранулометрический состав естественного почвенного покрова изменяется с глубиной от легкого и среднего суглинка до среднего и тяжелого суглинка. Гранулометрический состав техногенных почво-грунтов и угольной породы с отвалов представлен главным образом супесью.

По результатам геохимического анализа естественный почвенный покров в окрестности шахты «Воркутинская» соответствует тундровым почвам, то есть химические свойства почв незначительно изменились под воздействием угледобывающего предприятия.

#### Содержание тяжелых металлов в исследуемых почвах

Для установления наличия или отсутствия загрязнения почвенного покрова в окрестности шахты «Воркутинская» тяжелыми металлами были отобраны почвенные образцы с фонового участка в 15 км на Юго-Восток от Воркутинского промышленного района. Данный участок расположен в естественной тундре, где отсутствует прямое антропогенное воздействие на окружающую среду.

Почвенные образцы были исследованы на содержание валовых и подвижных форм тяжелых металлов (ТМ). Значение концентрации валового содержания ТМ в почвах говорит о степени их техногенного загрязнения, в работе был исследован данный показатель и результаты представлены в *табл. 2*.

По итогам проведенного исследования, результаты которого представлены в таблице, было установлено, что на участках с техногенным почво-грунтом, отвалах угольной породы и в шламе концентрация Ni и Cd превышает ПДК в 1.5 и более раз. В естественном почвенном покрове по данным металлам выявлено превышение фоновых значений, наибольшие концентрации установлены на участках вблизи угольных отвалов. Концентрации Cu, Pb, Mn и Zn на исследуемой территории превышают значения фона в 1.5–8 раз:  $\text{Pb} < \text{Mn} < \text{Zn} < \text{Cu}$ . При этом наибольшие концентрации данных элементов выявлено на техногенных почво-грунтах и отвалах угольной породы, в естественном почвенном покрове вблизи угольных отвалов.

Высокие концентрации тяжелых металлов на исследуемой территории свидетельствует о том, что данные элементы характерны для угольной породы, добываемой на шахте «Воркутинская».

Таблица 2

## Содержание валовых форм тяжелых металлов в почвах

№ точки отбора	Тяжелые металлы, мг/кг сухой массы						Участок отбора почвенных образцов
	Cu	Pb	Mn	Ni	Cd	Zn	
1 (Ю)	<b>50.2</b>	<b>15.0</b>	<b>116.0</b>	<b>77.0</b>	<b>1.10</b>	<b>38.4</b>	Техногенный почво-грунт
	<b>35.7</b>	<b>44.2</b>	<b>106.9</b>	<b>68.1</b>	<b>1.04</b>	<b>37.5</b>	
2 (Ю)	<b>52.8</b>	<b>13.6</b>	<b>105.0</b>	<b>83.0</b>	<b>1.03</b>	<b>37.0</b>	Техногенный почво-грунт
	<b>36.5</b>	11.9	<b>103.6</b>	<b>73.1</b>	<b>0.91</b>	<b>34.1</b>	
3 (Ю)	<b>33.5</b>	<b>14.8</b>	<b>109.4</b>	<b>70.5</b>	<b>1.22</b>	<b>35.6</b>	Техногенный почво-грунт
	<b>38.0</b>	<b>13.0</b>	<b>110.2</b>	<b>77.0</b>	<b>0.93</b>	<b>33.6</b>	
4 (Ю-3)	<b>27.3</b>	<b>15.6</b>	<b>104.6</b>	<b>79.0</b>	<b>0.87</b>	<b>34.0</b>	Отвал угольной породы
	<b>23.0</b>	11.9	<b>102.5</b>	<b>71.0</b>	<b>0.70</b>	<b>32.7</b>	
5 (Ю-3)	<b>6.9</b>	<b>13.8</b>	<b>99.9</b>	<b>18.5</b>	<b>0.79</b>	<b>33.0</b>	Естественный почвенный покров
	5.5	<b>12.9</b>	91.2	17.6	<b>0.70</b>	<b>30.3</b>	
6 (З)	<b>34.3</b>	<b>14.4</b>	<b>101.1</b>	<b>70.3</b>	<b>6.53</b>	<b>34.5</b>	Отвал угольной породы
	<b>28.7</b>	12.8	<b>102.4</b>	<b>68.5</b>	<b>5.01</b>	<b>29.9</b>	
7 (З)	<b>11.1</b>	9.7	<b>124.2</b>	<b>30.5</b>	<b>0.61</b>	<b>27.3</b>	Естественный почвенный покров
	<b>11.0</b>	11.2	<b>111.0</b>	<b>28.5</b>	<b>0.63</b>	<b>26.8</b>	
8 (С-3)	<b>18.9</b>	6.9	91.1	<b>48.2</b>	<b>0.96</b>	<b>28.7</b>	Шлам (свежий)
	<b>16.3</b>	5.9	87.0	<b>43.9</b>	<b>0.67</b>	25.7	
9 (С-3)	<b>17.0</b>	5.5	87.0	<b>47.0</b>	<b>0.76</b>	26.7	Шлам (сухой)
	<b>15.2</b>	4.9	83.2	<b>44.3</b>	<b>0.56</b>	22.7	
10 (С-3)	<b>18.3</b>	7.8	<b>98.1</b>	<b>51.9</b>	<b>1.2</b>	<b>32.6</b>	Отвал угольной породы
	<b>15.0</b>	6.9	<b>100.6</b>	<b>48.5</b>	<b>0.9</b>	<b>30.7</b>	
11 (С)	<b>31.3</b>	<b>15.6</b>	<b>114.5</b>	<b>81.0</b>	<b>0.97</b>	<b>39.0</b>	Отвал угольной породы
	<b>28.0</b>	10.9	<b>112.6</b>	<b>72.0</b>	<b>0.76</b>	<b>36.7</b>	
12 (С)	<b>12.1</b>	11.6	<b>115.0</b>	<b>30.5</b>	<b>0.76</b>	<b>29.3</b>	Естественный почвенный покров
	<b>11.0</b>	9.7	<b>112.5</b>	<b>26.7</b>	<b>0.69</b>	<b>27.8</b>	
13 (С)	<b>11.3</b>	9.3	84.0	<b>26.3</b>	0.58	27.0	Естественный почвенный покров
	<b>12.0</b>	11.7	<b>128.5</b>	<b>31.7</b>	0.56	<b>28.3</b>	
14 (В)	<b>53.2</b>	<b>23.4</b>	<b>121.7</b>	<b>83.6</b>	<b>1.4</b>	<b>54.4</b>	Техногенный почво-грунт
	<b>47.1</b>	<b>19.6</b>	<b>109.3</b>	<b>65.4</b>	<b>1.3</b>	<b>43.9</b>	
ПДК [150]	66	65	1500	40	1.0	110	Техногенный почво-грунт
Фон	6.6	12.2	96.0	14.2	0.60	27.6	Техногенный почво-грунт

Примечание: в числителе указаны значения для глубины 0.5 см, в знаменателе – для глубины 5–20 см, полужирным выделены концентрации превышающие фон, подчеркиванием – ПДК.

Таблица 3

## Содержание подвижных форм тяжелых металлов в почвах

№ участка отбора	Тяжелые металлы, мг/кг сухой массы						Участок отбора почвенных образцов
	Cu	Pb	Mn	Ni	Cd	Zn	
1 (Ю)	<b>5.75</b>	0.90	<b>53.5</b>	<b>4.60</b>	<b>0.24</b>	<b>7.10</b>	Техногенный почво-грунт
	<b>1.33</b>	<b>3.50</b>	<b>49.5</b>	<b>1.50</b>	<b>0.15</b>	<b>7.50</b>	
2 (Ю)	<b>4.85</b>	<b>1.75</b>	<b>59.9</b>	<b>4.50</b>	<b>0.24</b>	<b>9.20</b>	Техногенный почво-грунт
	<b>2.95</b>	<b>1.15</b>	<b>53.4</b>	<b>3.0</b>	<b>0.15</b>	<b>7.81</b>	
3 (Ю)	<b>1.39</b>	0.90	<b>65.5</b>	<b>2.40</b>	<b>0.15</b>	<b>5.5</b>	Техногенный почво-грунт
	<b>4.85</b>	<b>1.00</b>	<b>44.5</b>	<b>4.70</b>	<b>0.21</b>	<b>5.0</b>	
4 (Ю-3)	<b>1.10</b>	0.70	<b>44.5</b>	<b>2.35</b>	<b>0.15</b>	2.1	Отвал угольной породы
	<b>1.50</b>	<b>1.2</b>	<b>45.1</b>	<b>1.98</b>	<b>0.21</b>	<b>3.90</b>	
5 (Ю-3)	<b>0.36</b>	<b>1.15</b>	<b>39.9</b>	<b>1.15</b>	<b>0.11</b>	1.55	Естественный почвенный покров
	<b>0.25</b>	0.90	<b>19.4</b>	<b>0.75</b>	<b>0.10</b>	0.51	
6 (З)	<b>1.70</b>	<b>2.50</b>	<b>28.5</b>	<b>2.05</b>	<b>0.77</b>	1.70	Отвал угольной породы
	<b>1.25</b>	<b>1.65</b>	<b>25.5</b>	<b>1.40</b>	<b>0.62</b>	1.45	
7 (З)	<b>0.45</b>	0.70	<b>36.0</b>	<b>2.60</b>	<b>0.10</b>	0.69	Естественный почвенный покров
	<b>0.44</b>	0.95	<b>34.0</b>	<b>1.65</b>	<b>0.11</b>	0.71	
8 (С-3)	<b>1.08</b>	<b>1.35</b>	<b>38.6</b>	<b>3.91</b>	<b>0.45</b>	<b>7.43</b>	Шлам (свежий)
	<b>1.20</b>	<b>1.24</b>	<b>40.5</b>	<b>3.80</b>	<b>0.30</b>	<b>7.04</b>	
9 (С-3)	<b>1.10</b>	<b>0.95</b>	<b>20.5</b>	<b>3.01</b>	<b>0.15</b>	<b>7.00</b>	Шлам (сухой)
	<b>1.30</b>	<b>1.05</b>	<b>41.5</b>	<b>2.80</b>	<b>0.10</b>	<b>6.74</b>	
10 (С-3)	<b>1.30</b>	<b>1.4</b>	14.9	<b>3.80</b>	<b>0.24</b>	<b>9.5</b>	Отвал угольной породы
	<b>1.50</b>	<b>1.0</b>	<b>19.9</b>	<b>3.05</b>	<b>0.21</b>	<b>8.7</b>	
11 (С)	<b>1.51</b>	<b>1.98</b>	<b>20.9</b>	<b>3.90</b>	<b>0.51</b>	<b>10.5</b>	Отвал угольной породы
	<b>1.30</b>	<b>1.60</b>	<b>19.9</b>	<b>3.76</b>	<b>0.34</b>	<b>8.9</b>	
12 (С)	<b>0.33</b>	<b>1.15</b>	<b>41.9</b>	<b>1.10</b>	<b>0.12</b>	0.90	Естественный почвенный покров
	<b>0.38</b>	0.70	<b>17.5</b>	<b>1.30</b>	<b>0.13</b>	0.62	
13 (С)	<b>0.45</b>	<b>1.67</b>	<b>39.8</b>	<b>1.08</b>	<b>0.16</b>	0.82	Естественный почвенный покров
	<b>0.39</b>	0.98	<b>27.8</b>	<b>1.15</b>	<b>0.14</b>	0.72	
14 (В)	<b>3.7</b>	<b>0.95</b>	<b>57.3</b>	<b>6.8</b>	<b>0.43</b>	<b>4.3</b>	Техногенный почво-грунт
	<b>2.8</b>	<b>1.30</b>	<b>55.2</b>	<b>5.1</b>	<b>0.67</b>	<b>4.6</b>	
ПДК (155) [150]	3.0	6	600	4.0	0.5	23.0	
Фон	0.22	0.9	19.0	0.35	0.09	2.3	Естественный почвенный покров

Примечание: в числителе указаны значения для глубины 0.5 см, в знаменателе – для глубины 5–20 см, полужирным выделены концентрации превышающие фон, подчеркиванием – ПДК.

Результаты валового анализа почвенного покрова в окрестности шахты «Воркутинская» дают нам возможность отнести его к техногенно-загрязненным. При этом мы не можем сказать о доступности исследуемых элементов для растений. Поэтому был проведен анализ содержания в почвенных образцах подвижных форм тяжелых металлов, с целью оценить миграцию исследуемых элементов из почвы в растения. Результаты представлены в *табл. 3*.

По данным представленным в таблице видно, что на всех участках концентрации исследуемых металлов превышают значения фона:  $Mn < Pb < Zn < Cd < Cu < Ni$ . При этом наибольшие значения установлены на отвалах угольной породы и участках с техногенными почво-грунтами, где идет процесс почвообразования. Кроме этого, на участках 1 (400 м), 2 (500 м), 3 (1000 м), 6 (7000 м), 14 (700 м) установлено превышение ПДК по

Cu, Ni, Cd. При этом, никель и кадмий – металлы характерные для угольной породы шахты «Воркутинская», а превышение ПДК по меди объясняется тем, что ее высокая концентрация установлена на участках с техногенными почво-грунтами, где кроме отходов угольной промышленности имеется и строительный мусор.

Как известно, подвижность микроэлементов в почвенном растворе и их доступность растениям определяются несколькими показателями: pH среды, гранулометрическим составом, насыщенностью почв основаниями, водным и температурным режимом. Исследуемые нами почвенные образцы имеют реакцию почвенного раствора от сильно кислой до слабо кислой, легкий гранулометрический состав, ненасыщенные основаниями ( $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$  – основные антагонисты тяжелых металлов) и формируются они в условиях постоянного переувлажнения и низких температур. Таким образом, исследуемые тундровые почвы и техногенные почво-

Таблица 4

Содержание тяжелых металлов в органах Chamaenerion

№ участка	Части растений	Тяжелые металлы, мг/кг сухой массы						Участок отбора почвенных образцов
		Cu	Pb	Mn	Ni	Cd	Zn	
1 (Ю)	Листья	5.1	<b>2.3</b>	19.1	5.0	0.20	<b>30.5</b>	Техногенный почво-грунт
	Стебли	3.6	0.85	9.4	<b>5.4</b>	0.20	<b>17.0</b>	
	Корни	<b>8.5</b>	<b>1.5</b>	<b>13.1</b>	<b>11.5</b>	<b>0.30</b>	<b>16.9</b>	
2 (Ю)	Листья	<b>6.00</b>	1.9	11.9	4.2	0.18	<b>36.0</b>	Техногенный почво-грунт
	Стебли	2.95	<b>2.7</b>	10.7	<b>6.9</b>	<b>0.27</b>	<b>26.3</b>	
	Корни	8.00	<b>3.6</b>	<b>13.6</b>	9.1	<b>0.28</b>	<b>37.5</b>	
3 (Ю)	Листья	2.6	<b>2.81</b>	10.7	<b>6.7</b>	<b>0.27</b>	21.3	Техногенный почво-грунт
	Стебли	2.0	<b>2.05</b>	2.5	<b>4.6</b>	0.20	9.8	
	Корни	3.4	0.65	<b>14.1</b>	1.3	<b>0.52</b>	<b>60.8</b>	
4 (Ю-3)	Листья	<b>6.1</b>	<b>2.7</b>	<b>34.2</b>	<b>10.1</b>	<b>0.31</b>	<b>22.5</b>	Отвал угольной породы
	Стебли	3.8	<b>2.2</b>	<b>25.5</b>	<b>7.2</b>	0.18	<b>22.6</b>	
	Корни	6.4	<b>1.9</b>	<b>19.6</b>	<b>14.5</b>	<b>0.6</b>	<b>56.8</b>	
5 (Ю-3)	Листья	4.7	1.3	<b>48.4</b>	5.3	0.19	15.0	Естественный почвенный покров
	Стебли	<b>6.1</b>	<b>2.7</b>	<b>31.8</b>	<b>6.4</b>	<b>0.50</b>	<b>25.1</b>	
	Корни	<b>9.6</b>	<b>2.1</b>	<b>15.3</b>	<b>10.5</b>	<b>0.71</b>	<b>62.6</b>	
6 (З)	Листья	<b>7.9</b>	1.8	<b>53.2</b>	<b>6.3</b>	<b>0.35</b>	<b>25.1</b>	Отвал угольной породы
	Стебли	<b>6.5</b>	<b>3.4</b>	<b>34.2</b>	<b>7.1</b>	<b>0.90</b>	<b>27.6</b>	
	Корни	<b>10.1</b>	<b>2.6</b>	<b>16.4</b>	<b>11.4</b>	<b>0.89</b>	<b>65.3</b>	
7 (З)	Листья	<b>7.5</b>	<b>2.3</b>	<b>25.9</b>	<b>8.1</b>	<b>0.45</b>	19.6	Естественный почвенный покров
	Стебли	<b>6.9</b>	<b>1.6</b>	<b>21.7</b>	<b>7.3</b>	<b>0.24</b>	10.0	
	Корни	<b>9.7</b>	<b>3.2</b>	<b>25.3</b>	<b>10.8</b>	<b>0.50</b>	<b>18.7</b>	
8 (С-3)	Листья							Шлам (свежий)
	Стебли			Не отбирались				
	Корни							
9 (С-3)	Листья	4.6	<b>3.0</b>	13.1	<b>6.6</b>	0.15	13.5	Шлам (сухой)
	Стебли	3.2	<b>3.1</b>	10.5	<b>6.5</b>	<b>0.25</b>	12.5	
	Корни	<b>8.4</b>	<b>3.4</b>	<b>14.7</b>	<b>10.8</b>	<b>0.27</b>	<b>14.9</b>	
10 (С-3)	Листья	<b>7.8</b>	<b>3.5</b>	<b>30.1</b>	<b>8.5</b>	<b>0.43</b>	<b>28.1</b>	Отвал угольной породы
	Стебли	<b>5.8</b>	<b>3.4</b>	<b>29.4</b>	<b>8.2</b>	<b>0.53</b>	<b>25.7</b>	
	Корни	<b>10.4</b>	<b>5.2</b>	<b>18.4</b>	<b>16.3</b>	<b>0.49</b>	<b>21.9</b>	
11 (С)	Листья	<b>8.7</b>	<b>4.7</b>	<b>47.1</b>	<b>9.1</b>	<b>0.74</b>	<b>30.2</b>	Отвал угольной породы
	Стебли	<b>6.9</b>	<b>5.0</b>	<b>31.3</b>	<b>10.6</b>	<b>0.81</b>	<b>29.0</b>	
	Корни	<b>11.4</b>	<b>7.9</b>	<b>28.6</b>	<b>17.9</b>	<b>0.56</b>	<b>24.6</b>	
12 (С)	Листья							Естественный почвенный покров
	Стебли			Не отбирались				
	Корни							
13 (С)	Листья	<b>6.2</b>	<b>2.6</b>	<b>28.2</b>	<b>6.2</b>	0.22	<b>49.7</b>	Естественный почвенный покров
	Стебли	<b>4.5</b>	1.2	<b>26.3</b>	<b>5.7</b>	<b>0.59</b>	<b>56.3</b>	
	Корни	<b>9.3</b>	<b>1.4</b>	<b>16.9</b>	<b>13.2</b>	<b>0.8</b>	<b>57.3</b>	
14 (В)	Листья	<b>9.2</b>	<b>4.2</b>	<b>86.0</b>	<b>8.5</b>	<b>0.63</b>	<b>34.9</b>	Техногенный почво-грунт
	Стебли	<b>7.7</b>	<b>3.7</b>	<b>48.5</b>	<b>5.8</b>	<b>0.71</b>	<b>46.8</b>	
	Корни	<b>10.3</b>	<b>3.1</b>	<b>65.9</b>	<b>16.3</b>	<b>0.71</b>	<b>52.9</b>	
	Фон:							
	Листья	5.8	2.2	24.4	5.9	0.22	21.3	Естественный почвенный покров
	Стебли	4.3	1.2	20.6	4.5	0.22	18.9	
	Корни	8.2	0.9	12.4	9.2	0.17	9.0	

Примечание: полужирным выделены концентрации превышающие фон, подчеркиванием – ПДК.

Таблица 5

Содержание тяжелых металлов в органах *Salix polaris*

№ участка	Части растений	Тяжелые металлы, мг/кг сухой массы						Участок отбора почвенных образцов
		Cu	Pb	Mn	Ni	Cd	Zn	
1 (Ю)	Листья	5.2	2.2	117.5	5.95	1.34	63.5	Техногенный почво-грунт
	Стебли	6.6	1.4	59.4	7.40	0.95	60.5	
	Корни	6.8	1.9	28.5	6.31	0.45	59.5	
2 (Ю)	Листья	6.8	2.3	69.8	5.7	1.60	58.4	Техногенный почво-грунт
	Стебли	5.9	2.4	27.6	4.0	0.87	56.6	
	Корни	10.2	4.6	28.8	18.1	0.22	53.3	
3 (Ю)	Листья	5.4	3.9	23.4	8.2	0.61	64.5	Техногенный почво-грунт
	Стебли	6.8	1.2	19.1	3.4	0.37	53.5	
	Корни	8.7	1.8	20.8	6.5	0.43	60.0	
4 (Ю-3)	Листья	3.5	1.9	107.4	5.0	0.35	55.1	Отвал угольной породы
	Ветки	7.2	1.3	29.8	3.9	0.36	57.1	
	Корни	4.3	1.4	32.5	4.8	0.23	51.3	
5 (Ю-3)	Листья	4.8	3.3	116.9	11.9	0.57	63.5	Естественный почвенный покров
	Ветки	4.8	1.3	34.2	2.8	0.22	57.2	
	Корни	4.9	2.8	56.2	10.6	0.39	58.7	
6 (З)	Листья			Не отбирались				Отвал угольной породы
	Ветки			Не отбирались				
	Корни			Не отбирались				
7 (З)	Листья	4.5	0.9	20.5	3.4	0.13	9.0	Естественный почвенный покров
	Ветки	4.2	2.5	49.7	7.6	2.20	55.9	
	Корни	6.3	3.6	52.0	9.5	2.90	58.1	
8 (С-3)	Листья			Не отбирались				Шлам (свежий)
	Ветки			Не отбирались				
	Корни			Не отбирались				
9 (С-3)	Листья			Не отбирались				Шлам (сухой)
	Ветки			Не отбирались				
	Корни			Не отбирались				
10 (С-3)	Листья			Не отбирались				Отвал угольной породы
	Ветки			Не отбирались				
	Корни			Не отбирались				
11 (С)	Листья	8.1	5.1	47.3	9.1	0.53	49.2	Отвал угольной породы
	Ветки	5.2	3.8	28.9	5.7	7.90	58.6	
	Корни	4.2	3.3	51.9	3.9	4.10	56.5	
12 (С)	Листья	6.1	3.2	72.1	7.4	2.14	65.3	Естественный почвенный покров
	Ветки	5.1	2.0	18.7	3.8	0.91	64.8	
	Корни	5.6	1.8	25.0	3.7	1.65	57.6	
13 (С)	Листья	3.7	1.4	111.7	7.2	0.34	59.2	Естественный почвенный покров
	Ветки	3.0	2.1	37.2	4.8	0.34	58.8	
	Корни	4.9	2.1	58.9	7.2	0.97	57.4	
14 (В)	Листья	7.9	4.9	26.4	9.4	2.9	62.7	Техногенный почво-грунт
	Ветки	4.5	3.0	22.5	5.1	2.26	61.7	
	Корни	6.3	3.3	24.1	2.8	0.85	59.5	
Фон:								
	Листья	2.1	1.2	21.6	3.4	0.15	36.5	Естественный почвенный покров
	Стебли	1.9	1	19.4	2.7	0.12	29.8	
	Корни	1.2	1	18.9	2.5	0.1	26.9	

Примечание: полужирным выделены концентрации превышающие фон, подчеркиванием – ПДК.

грунты имеют все физико-химические свойства, способствующие фитодоступности микроэлементов.

Чтобы дать полную характеристику исследуемой территории на предмет загрязнения тяжелыми металлами, был изучен растительный материал.

#### Исследование растительного покрова

Одним из основных вопросов в исследовании влияния промышленности на окружающую среду является фитодоступность. В табл. 4, 5, 6 представлены результаты исследования органов иван-чая (лат. *Chamaenerion*), ивы полярной (лат. *Salix polaris*) и березы карликовой (лат. *Betula nana*) на содержание тяжелых металлов и сопоставлены с концентрациями данных элементов в растениях на фоновом участке и ПДК. Необходимо пояснить, что для исследования с участков с естественным почвенным покровом были отобраны образцы органов иван-чая, березы карликовой и ивы полярной, с породных угольных отвалов и участков с техногенными почво-

грунтами главным образом иван-чая. Исключение составили участки 1, 2, 3, 4, 11, 14, где на техногенном почво-грунте произрастает ива полярная, которая была взята нами для проведения исследования.

По данным, приведенным в таблицах видно, что на всех исследуемых участках в окрестности шахты «Воркутинская» концентрации тяжелых металлов в органах растений превышают их фоновые значения. Основная причина – это производственная деятельность угледобывающего предприятия и работа автомашин на дизельном топливе. Кроме этого, стоит отметить, что наибольшие значения концентраций тяжелых металлов установлены в листьях, стеблях и корнях *Chamaenerion*, *Salix polaris* и *Betula nana*, отобранных на отвалах угольной породы и естественном почвенном покрове на участках, расположенных в непосредственной близости от этих породных отвалов.

В органах исследуемых растений установлены концентрации Ni и Pb превышающие ПДК [11–16], но

Таблица 6

Содержание тяжелых металлов в органах *Betula pana*

№участка	Части растений	Тяжелые металлы, мг/кг сухой массы						Участок отбора почвенных образцов
		Cu	Pb	Mn	Ni	Cd	Zn	
1 (Ю)	Листья							Техногенный почво-грунт
	Стебли							
2 (Ю)	Корни							Техногенный почво-грунт
	Листья							
3 (Ю)	Стебли							Техногенный почво-грунт
	Корни							
4 (Ю-3)	Листья							Отвал угольной породы
	Ветки							
5 (Ю-3)	Корни							Естественный почвенный покров
	Листья	<b>5.8</b>	1.6	<b>153.9</b>	<b>6.4</b>	0.12	<b>55.9</b>	
	Ветки	<b>4.1</b>	<b>2.7</b>	<b>63.2</b>	<b>5.2</b>	<b>0.57</b>	<b>56.1</b>	
6 (З)	Корни	<b>3.2</b>	<b>3.1</b>	<b>15.4</b>	<b>3.9</b>	<b>0.91</b>	<b>59.3</b>	Отвал угольной породы
	Листья							
	Ветки							
7 (З)	Корни							Естественный почвенный покров
	Листья	<b>4.8</b>	3.9	<b>177.3</b>	<b>9.3</b>	<b>1.45</b>	<b>59.8</b>	
	Ветки	<b>9.8</b>	<b>2.7</b>	<b>65.1</b>	<b>6.1</b>	<b>0.65</b>	<b>67.3</b>	
8 (С-3)	Корни	<b>5.3</b>	<b>2.3</b>	<b>47.6</b>	<b>5.9</b>	<b>0.94</b>	<b>62.1</b>	Шлам (свежий)
	Листья							
	Ветки							
9 (С-3)	Корни							Шлам (сухой)
	Листья							
	Ветки							
10 (С-3)	Стебли							Отвал угольной породы
	Корни							
11 (С)	Листья							Отвал угольной породы
	Ветки							
	Корни							
12 (С)	Листья	<b>4.5</b>	<b>3.7</b>	<b>149.1</b>	<b>6.0</b>	<b>0.82</b>	<b>59.1</b>	Естественный почвенный покров
	Ветки	<b>7.3</b>	<b>5.3</b>	<b>68.1</b>	<b>8.9</b>	<b>0.62</b>	<b>38.1</b>	
	Корни	<b>5.2</b>	<b>3.6</b>	<b>33.7</b>	<b>5.1</b>	<b>0.38</b>	<b>54.6</b>	
13 (С)	Листья	<b>3.9</b>	<b>2.9</b>	<b>78.6</b>	<b>5.6</b>	<b>0.71</b>	<b>49.3</b>	Естественный почвенный покров
	Ветки	<b>6.4</b>	<b>4.8</b>	<b>59.1</b>	<b>8.0</b>	<b>0.60</b>	<b>28.9</b>	
	Корни	<b>4.8</b>	<b>2.9</b>	<b>25.0</b>	<b>3.7</b>	<b>0.28</b>	<b>46.9</b>	
14 (В)	Листья							Техногенный почво-грунт
	Ветки							
Фон:	Корни							Естественный почвенный покров
	Листья	2.3	1.8	25.6	4.1	0.29	31.4	
	Стебли	1.8	1.4	11.4	2.4	0.2	24.9	
	Корни	1.5	1.2	9.8	1.7	0.18	21.3	

Примечание: полужирным выделены концентрации превышающие фон, подчеркиванием – ПДК.

наибольшее превышение выявлено в корнях растений. Иван-чай, ива и береза, в органах которых установлено превышение ПДК по свинцу и никелю были отобраны на породных отвалах и на участках с естественным почвенным покровом на расстоянии 500 м от отвалов, на участках с техногенными почво-грунтами, на расстоянии 400 м и 700 м от шахтного ствола. Избыточное содержание свинца и кадмия на исследуемой территории объясняются тем, что они являются легкодоступными элементами для биоаккумуляции из почвенного покрова [16], а физико-химические свойства исследуемых почвенных образцов способствуют фитодоступности элементов, концентрации которых в почвах также превышают ПДК.

## ВЫВОДЫ

1. По итогам проведенного исследования было установлено, что содержание валовых и подвижных

форм тяжелых металлов (Cu, Zn, Cd, Pb, Ni, Mn) в окрестности шахты «Воркутинская» в естественном почвенном покрове, на отвалах угольной породы и участках с техногенными почво-грунтами превышают их фоновые значения. Превышение ПДК было выявлено по Cd и Ni на породных отвалах и участках с техногенными почво-грунтами, что связано с преобладанием данных металлов в угле, разрабатываемом на шахте. Кроме этого, в техногенном почво-грунте на расстоянии от 400 м до 1000 м, где на ряду с угольной породой встречается и строительный мусор, установлено превышение ПДК по Cu.

2. Исследование растительного покрова в окрестности шахты «Воркутинская» показало, что концентрации Cu, Zn, Cd, Pb, Ni, Mn в органах *Chamaenerion*, *Salix polaris* и *Betula pana* превышают их фоновые значения.

По Ni и Pb в корнях растений, произрастающих на техногенных почво-грунтах и отвалах угольной породы, установлено превышение ПДК.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шахта-Воркутинская. URL: <http://wikimapia.org/19568580/ru>
2. Шахта-Воркутинская. URL: <http://miningwiki.ru>
3. Проначева В. Г., Усачев В. Ф. Северо-Западный федеральный округ России. Загрязненные земли по городским поселениям и районам, в речных и озерных водосборах. Санкт-Петербург, 2006. 106 с.
4. М. Е. Певзнер, А. А. Малышев, А. Д. Мельков, В. П. Ушань. Горное дело и охрана окружающей среды. М.: Изд-во МГУ. 2000. 300 с.
5. Какунов Н. Б. Климат и геологическая среда: особенности и изменения под влиянием освоения // Эколого-экономические и социальные проблемы Воркутинского промышленного района (поиск путей решения и обеспечение стабильности). Сыктывкар, 2000. С. 7–13.
6. Абрамова М. И. Использование геоинформационных систем при мониторинге снежного покрова как индикатора техногенной нагрузки // Двенадцатая Молодежная научная конференция Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Актуальные проблемы биологии и экологии (материалы докладов). 4–7 апреля 2005 г. Сыктывкар, 2005. С. 6–8.
7. Корчагина Т. В. Совершенствование методики оценки воздействия подземной добычи коксующихся углей на окружающую среду // Дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. Тула, 2008. 143 с.
8. Стратегия жизни в условиях планетарного экологического кризиса / Под редакцией академика РАЕН Н. В. Красногорской. ТОМ III. Проблемы безопасности в условиях природно-антропогенных воздействий. Санкт-Петербург.: «Гуманистика», 2002, 315 с.
9. Завальцева О. А. Лабораторный практикум по почвоведению. Руководство для практических занятий по дисциплине «Почвоведение» для студентов специальностей 013000 – Почвоведение, 013100 – Экология, 013400 – Природопользование, 260400 – Лесное хозяйство. Федеральное агентство по образованию. ГОУ ВПО Ульяновский государственный университет. Ульяновск, 2009. 39 с.
10. Завальцева О. А. Лабораторный практикум по почвоведению. Ульяновск, 2009. 35 с.
11. Ильин В. Б., Степанов М. Д. Показатели для оценки загрязнения тяжелыми металлами системы почва-растение // Бюллетень почвенного института им. В. В. Докучаева. Вып. XXIV. 1980. С. 3–17.
12. Verloo M., Cottenie A., Landschoot G Van. Analytical and biological criteria with regard to soil pollution // Landwirtschaftliche Forschung // Kongressband. 1982. S.-H. 39. P. 394–403.
13. Лукин Н. В., Никонов В. В. Поглощение аэрогенных загрязнений растениями сосняков на северо-западе Кольского полуострова // Лесоведение. 1993. №6. С. 34–41.
14. Sauerbeckb. Welche Schwermetallgehalte in Pflanzendurben nicht überschritten werden, um Wachstumsbeeinträchtigungen zu vermeiden? // Landwirtschaftlicher Forschung. Kongressband. 1982. S.-H. 16. P. 59–72.
15. Cottenie A., Dhaese A., Camerlynck R. Plant quality response to the uptake of polluting elements // Qual. Plantarum. 1976. Vol. 26. №3. P. 293–319.
16. Kabata-Pendias A., Pendias H. Trace Elements in Soils and plants, 3-rd ed. CRC Press, Boca Raton, FL, 2001.

*Поступила в редакцию 26.08.2015 г.*

**CONTENT OF HEAVY METALS IN SOILS AND PLANTS IN VICINITY OF  
THE COAL MINING ENTERPRISE ON EXAMPLE OF MINE  
“VORKUTINSKAYA” OF THE CITY VORKUTA IN THE KOMI REPUBLIC**

© E. N. Severyanova

*Ulyanovsk State University  
42 Lev Tolstoy St., 432017 Ulyanovsk, Russia.*

*Phone: +7 (842) 241 20 88.  
Email: severyanoviv@mail.ru*

In this paper, the results of the study of soils and plants in vicinity of mine “Vorkutinskaya” on content of heavy metals are given; the degree of pollution is characterized. Dependence of concentration of heavy metals in organs of *Chamaenerion*, *Salix polaris* and *Betula nana* on their content in soils has been determined. Study of soil samples in all selected areas has established the exceedance and background concentrations of Cu, Zn, Cd, Pb, Ni, Mn. The exceedance of Pb and Ni was established in organs of plants in technogenic soil and mound of coal rock. Concentrations of heavy metals in organs of *Chamaenerion*, *Salix polaris* and *Betula nana* at all areas is above background. Availability of investigated elements is explained by the physico-chemical properties of soil samplings: acidic reaction of environment, light granulometric composition, weak base saturation ( $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  – the main antagonists of heavy metals) and by the fact that they have formed in conditions of permanent wetlands and low temperatures.

**Keywords:** coal mine, heavy metals, soil and plants of the tundra.

Published in Russian. Do not hesitate to contact us at [bulletin\\_bsu@mail.ru](mailto:bulletin_bsu@mail.ru) if you need translation of the article.

## REFERENCES

1. Shakhta-Vorkutinskaya. URL: <http://wikimapia.org/19568580/ru>
2. Shakhta-Vorkutinskaya. URL: <http://miningwiki.ru>
3. Pronacheva V. G., Usachev V. F. Severo-Zapadnyi federal'nyi okrug Rossii. Zagryaznennye zemli po gorodskim poseleniyam i raionam, v rechnykh i ozernykh vodosborakh [Northwestern federal district of Russia. Contaminated land in settlements and urban areas at river and lake catchments]. Sankt-Peterburg, 2006.
4. M. E. Pevzner, A. A. Malyshev, A. D. Mel'kov, V. P. Ushan'. Gornoe delo i okhrana okruzhayushchei sredy [Mining and environmental protection]. Moscow: Izd-vo MGU, 2000.
5. Kakunov N. B. Ekologo-ekonomicheskie i sotsial'nye problemy Vorkutinskogo promyshlennogo raiona (poisk putei resheniya i obespechenie stabil'nosti). Syktyvkar, 2000. Pp. 7–13.
6. Abramova M. I. Dvenadtsataya Molodezhnaya nauchnaya konferentsiya Instituta biologii Komi NTs UrO RAN. Aktual'nye problemy biologii i ekologii (materialy dokladov). 4–7 aprelya 2005 g. Syktyvkar, 2005. Pp. 6–8.
7. Korchagina T. V. Dis. na soisk. uchen. stepeni kand. tekhn. nauk. Tula, 2008.
8. Strategiya zhizni v usloviyakh planetarnogo ekologicheskogo krizisa [Life strategy in conditions of the planetary ecological crisis] / Pod redaktsiei akademika RAEN N. V. Krasnogorskoi. TOM III. Problemy bezopasnosti v usloviyakh prirodno-antropogennykh vozdeistvii. Sankt-Peterburg.: «Gumanistika», 2002.
9. Zaval'tseva O. A. Laboratornyi praktikum po pochvovedeniyu. Rukovodstvo dlya prakticheskikh zanyatii po distsipline «Pochvovedenie» dlya studentov spetsial'nostei 013000 – Pochvovedenie, 013100 – Ekologiya, 013400 – Prirodopol'zovanie, 260400 – Lesnoe khozyaistvo [Laboratory practical work on soil science. Guidance for practical classes on discipline “soil science” for students of specialties 013000 – Soil science, 013100 – Ecology, 013400 – Nature management, 260400 Forestry]. Federal'noe agent-stvo po obrazovaniyu. GOU VPO Ulyanovskii gosudarstvennyi universitet. Ulyanovsk, 2009.
10. Zaval'tseva O. A. Laboratornyi praktikum po pochvovedeniyu [Laboratory practical work on soil science]. Ulyanovsk, 2009.
11. Il'in V. B., Stepanov M. D. Byulleten' pochvennogo instituta im. V. V. Dokuchaeva. Vyp. XXIV. 1980. Pp. 3–17.
12. Verloo M., Cottenie A. Landwirtschaftliche Forschung. Kongressband. 1982. S.-H. 39. Pp. 394–403.
13. Lukin N. V., Nikonov V. V. Lesovedenie. 1993. No. 6. Pp. 34–41.
14. Sauerbeckb. Welche Schwermetallgehalte in Pflanzen durben nicht uberschritten warden, um Wachstumsdeeintza chtigungen zu vermeiden?. Landwirtschaftlicher Forschung. Kongressband. 1982. S.-H. 16. Pp. 59–72.
15. Cottenie A., Dhaese A., Camerlynck R. Qual. Plantarum. 1976. Vol. 26. No. 3. Pp. 293–319.
16. Kabata-Pendias A., Pendias H. Trace Elements in Soils and plants, 3-rd ed. CRC Press, Boca Raton, FL, 2001.

*Received 26.08.2015.*