



## БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

### ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ

УДК 504.064.2:546 (470.13)

Е.Н. Северьянова

#### ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ПОЧВАХ И РАСТЕНИЯХ ВБЛИЗИ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ПРИМЕРЕ ШАХТЫ «КОМСОМОЛЬСКАЯ» ГОРОДА ВОРКУТЫ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

*В статье исследован почвенный и растительный покров Большеземельской тундры в окрестности шахты «Комсомольская» на содержание тяжелых металлов.*

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

E.N. Severyanova

#### HEAVY METALS IN SOILS AND PLANTS NEAR COAL MINES ON THE EXAMPLE OF THE MINE "KOMSOMOLSKAYA" OF VORKUTA CITY IN THE KOMI REPUBLIC

*The soil and plant cover of the Bolshezemelskaya tundra in the vicinity of the mine "Komsomolskaya" on the heavy metal content is researched in the article.*

**Key words:** coal mine, heavy metals, soil and plant cover.

**Введение.** Республика Коми развивалась с самого начала как топливно-энергетический регион. Топливно-энергетические ресурсы республики представлены промышленными запасами коксующихся и энергетических углей Печорского угольного бассейна [1]. Для Российской Федерации этот регион имеет особое значение как крупная сырьевая база для промышленности. Кроме этого, топливно-энергетический комплекс региона является ведущей отраслью народного хозяйства [2].

Но, как известно, любая хозяйственная деятельность является источником загрязнения в результате производства, использования, хранения, утилизации, обращения различных машин, оборудования и химических веществ. Характерные загрязнители свойственны определенным видам производственных территорий [3].

Наиболее существенные нарушения природной среды в Печорском угольном бассейне наблюдаются вокруг шахт. По данным Н.Б. Какунова, зона максимального нарушения составляет 30–35 км<sup>2</sup> [4]. Основным фактором, влияющим на пространственное распределение выбросов относительно источника эмиссии, следует считать ветровой режим [5].

В Воркутинском промышленном районе большинство угледобывающих предприятий расположено вблизи жилых поселков (шахта «Комсомольская» расположена на расстоянии менее километра от одноименного поселка). Кроме этого, природный почвенный покров на территории поселков Воркутинского промышленного района практически отсутствует. Поверхностный слой в них сложен нарушенными грунтами с примесью углисто-аргеллитовых и горелых пород. Поэтому поверхностные отложения являются техногенными почвогрунтами. Эколого-геохимическими исследованиями установлено, что практически вся их площадь представляет собой комплексные техногенные аномалии сходного геохимического спектра, являющиеся источником загрязнения связанных

природных сред. Основными элементами-загрязнителями являются Sr, Ba, Hg, Cu, Zn, Sn, Mo, Mn, Cr, Pb [6].

Таким образом, можно согласиться с утверждением, что важной частью стратегии развития угольной отрасли является обеспечение экологической безопасности и благоприятных жизненных условий для людей, проживающих в угольных регионах [7].

**Цель исследования.** Определение содержания тяжелых металлов в почвенном и растительном покрове в зоне деятельности шахты «Комсомольская» в городе Воркута Республики Коми.

**Объекты и методы исследования.** Для осуществления поставленной в данной работе 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 в окрестности шахты «Комсомольская». 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*).

Таблица 1

**Места отбора почвенных образцов в окрестности шахты «Комсомольская»**

Номер участка	Направление от шахтного ствола	Расстояние от шахты, м	Участок отбора почвенного образца
1	Север	300	Техногенный почвогрунт
2	Север	400	Техногенный почвогрунт
3	Север	500	Техногенный почвогрунт
4	Юг	150	Техногенный почвогрунт
5	Юг	600	Техногенный почвогрунт
6	Юг	700	Естественный почвенный покров
7	Юг	800	Естественный почвенный покров
8	Юг	1000	Естественный почвенный покров
9	Восток	400	Естественный почвенный покров
10	Восток	500	Естественный почвенный покров
11	Восток	10000	Естественный почвенный покров
12	Восток	10100	Отвал угольной породы
13	Запад	350	Техногенный почвогрунт
14	Запад	400	Техногенный почвогрунт
15	Запад	1000	Техногенный почвогрунт
16	Северо-Запад	300	Техногенный почвогрунт
17	Северо-Запад	400	Техногенный почвогрунт
18	Северо-Запад	500	Техногенный почвогрунт
19	Северо-Восток	3000	Естественный почвенный покров
20	Северо-Восток	3100	Отвал угольной породы

В почвенных образцах были изучены гранулометрический состав, физико-химические свойства, а именно: pH потенциометрическим методом, содержание органического углерода методом мокрого сжигания по Тюрину, содержание обменных катионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  комплексонометрическим методом [8]. В почвах и растениях определялись концентрации тяжелых металлов (Cu, Zn, Cd, Pb, Ni, Mn) в вытяжках методом атомно-абсорбционной спектроскопии.

**Результаты и их обсуждение.** При анализе степени загрязнения определенной территории необходимым условием является исследование почвенного покрова, поскольку почва является

долговременным депонентом опасных химических веществ. Для определения степени и закономерности загрязнения почвенного покрова на данной территории необходимо знание его геохимических свойств. Исследуемый в данной работе естественный почвенный покров имеет реакцию среды (pH) от сильнокислой (3,0) до слабокислой (5,9), что характерно для почвенного покрова Большеземельской тундры. Техногенные почвогрунты, угольная порода с отвалов имеют значения pH от слабокислой (5,7) до близкой к нейтральной (6,7), это объясняется щелочной реакцией угольной породы, которая присутствует в профиле техногенных почвогрунтов. Значение pH с глубиной от 0–5 см до 5–20 см изменяется незначительно. Содержание гумуса в естественном почвенном покрове вне торфяного горизонта небольшое – от 1,1 до 3,0 %, в пределах торфяного горизонта – до 12,0 %, вниз по профилю содержание гумуса снижается. В техногенных почвогрунтах содержание гумуса также меньше – 3,0 %, на данных участках почвенные частицы перемешаны с угольной породой, и здесь, как и на отвалах угольных пород, идет процесс почвообразования и формирования растительного покрова. Почвенно-поглощающий комплекс естественного почвенного покрова и техногенных почвогрунтов не насыщен обменными  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , что связано с суровыми климатическими условиями, легким гранулометрическим составом и кислой реакцией почвенного раствора.

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

С целью определения наличия или отсутствия в исследуемом районе загрязнения почв тяжелыми металлами был отобран почвенный материал с фонового участка в 15 км на юго-восток от Воркутинского промышленного района в открытой тундре, где нет прямого антропогенного воздействия на окружающую среду; поллютанты, если и могут попадать на данный участок, то воздушными потоками и лишь в ничтожных количествах.

Почвенные образцы были исследованы на содержание валовых и подвижных форм тяжелых металлов (ТМ), что дает возможность судить о степени техногенного загрязнения почв (табл. 2).

Таблица 2

## Содержание валовых форм тяжелых металлов в почвах

Номер точки отбора	Тяжелые металлы, мг/кг сухой массы						Участок отбора почвенных образцов
	Cu	Pb	Mn	Ni	Cd	Zn	
1	2	3	4	5	6	7	8
1 (С)	15,5	9,1	105,3	31,4	0,65	30,5	Техногенный почвогрунт
	15,8	9,0	107,5	32,5	0,67	30,8	
2 (С)	14,2	10,3	118,0	33,2	0,66	31,7	Техногенный почвогрунт
	28,0	10,6	119,9	30,4	0,64	30,8	
3(С)	14,0	10,8	114,4	32,4	0,63	31,8	Техногенный почвогрунт
	12,2	10,0	94,6	30,9	0,66	30,0	
4 (Ю)	23,2	11,3	136,4	26,5	0,70	36,5	Техногенный почвогрунт
	15,0	11,8	109,5	27,3	0,80	34,7	
5 (Ю)	21,9	17,5	129,0	25,1	0,75	35,2	Техногенный почвогрунт
	22,5	12,3	124,8	22,9	0,74	31,6	
6 (Ю)	15,2	11,5	115,5	25,8	0,68	30,3	Естественный почвенный покров
	8,7	9,8	107,4	20,8	0,55	26,9	
7 (Ю)	11,4	10,5	136,2	23,7	0,73	37,0	Естественный почвенный покров
	8,3	9,4	141,2	23,5	0,61	35,0	
8 (Ю)	5,8	7,4	28,0	14,9	0,52	22,0	Естественный почвенный покров
	9,8	9,8	113,2	23,9	0,72	31,5	

1	2	3	4	5	6	7	8
9 (B)	<b>11,6</b> <b>10,2</b>	9,8 9,9	<b>129,3</b> <b>112,2</b>	<b>23,6</b> <b>22,3</b>	<b>2,77</b> <b>0,64</b>	<b>29,8</b> <b>28,7</b>	Естественный почвенный покров
10 (B)	<b>14,8</b> <b>11,0</b>	11,6 9,9	<b>135,6</b> <b>107,6</b>	<b>21,8</b> <b>22,5</b>	<b>1,44</b> 0,52	<b>54,0</b> <b>29,7</b>	Естественный почвенный покров
11 (B)	<b>23,8</b> <b>24,1</b>	<b>15,6</b> <b>15,7</b>	<b>132,9</b> <b>130,8</b>	<b>74,3</b> <b>70,6</b>	<b>0,64</b> 0,60	<b>60,7</b> <b>61,2</b>	Естественный почвенный покров
12 (B)	<b>9,9</b> <b>8,1</b>	<b>13,3</b> 9,7	<b>132,8</b> <b>134,9</b>	<b>23,0</b> <b>22,0</b>	<b>1,22</b> <b>1,20</b>	<b>30,0</b> <b>26,3</b>	Отвал угольной породы
13 (3)	<b>51,6</b> <b>52,5</b>	<b>47,5</b> <b>49,8</b>	<b>120,7</b> <b>119,4</b>	<b>50,6</b> <b>51,0</b>	<b>1,08</b> <b>1,6</b>	<b>80,2</b> <b>76,8</b>	Техногенный почвогрунт
14 (3)	<b>36,9</b> <b>37,1</b>	<b>43,9</b> <b>42,6</b>	<b>101,7</b> <b>100,3</b>	<b>49,2</b> <b>45,4</b>	<b>0,8</b> <b>1,0</b>	<b>76,6</b> <b>74,9</b>	Техногенный почвогрунт
15 (3)	<b>26,5</b> <b>26,4</b>	<b>16,6</b> <b>16,9</b>	<b>120,5</b> <b>126,4</b>	<b>33,9</b> <b>46,7</b>	<b>1,25</b> <b>1,65</b>	<b>37,5</b> <b>33,4</b>	Техногенный почвогрунт
16 (C-3)	<b>50,5</b> <b>51,2</b>	<b>17,3</b> <b>16,9</b>	<b>131,1</b> <b>134,5</b>	<b>58,5</b> <b>57,6</b>	<b>1,26</b> <b>1,30</b>	<b>64,0</b> <b>61,4</b>	Техногенный почвогрунт
17 (C-3)	<b>48,3</b> <b>49,0</b>	<b>20,1</b> <b>22,3</b>	<b>127,3</b> <b>116,9</b>	<b>59,1</b> <b>60,3</b>	<b>2,0</b> <b>2,3</b>	<b>57,2</b> <b>54,3</b>	Техногенный почвогрунт
18 (C-3)	<b>43,9</b> <b>42,8</b>	<b>16,7</b> <b>18,5</b>	<b>118,6</b> <b>114,9</b>	<b>56,8</b> <b>57,7</b>	<b>1,8</b> <b>2,1</b>	<b>61,8</b> <b>60,2</b>	Отвал угольной породы
19 (C-B)	<b>64,2</b> <b>60,9</b>	<b>21,6</b> <b>22,4</b>	<b>134,7</b> <b>140,1</b>	<b>81,1</b> <b>79,4</b>	<b>0,67</b> 0,45	<b>37,3</b> <b>36,5</b>	Отвал угольной породы
20 (C-B)	<b>15,3</b> 5,4	<b>14,3</b> 8,6	<b>119,5</b> <b>116,6</b>	<b>23,6</b> <b>16,3</b>	<b>1,37</b> <b>1,5</b>	<b>29,8</b> <b>25,3</b>	Естественный почвенный покров
ПДК [150]	66	65	1500	40	1,0	110	Техногенный почвогрунт
Фон	6,6	12,2	96,0	14,2	0,60	27,6	Техногенный почвогрунт

Примечание. В числителе указаны значения для глубины 0,5 см, в знаменателе – для глубины 5–20 см, жирным выделены концентрации, превышающие фон, подчеркиванием – ПДК.

По результатам, представленным в таблице 2, видно, что в естественном почвенном покрове на участках, расположенных в непосредственной близости от шахты «Комсомольская» и зооотвала, в угольной породе на породных отвалах и техногенных почвогрунтах выявлено превышение ПДК по Ni и Cd в 1,5–3 раза. Кроме этого, по всем исследуемым металлам было установлено превышение их концентраций относительно фона (в раз): Cu – до 9,7; Pb – до 4; Mn – до 1,5; Ni – до 5,7; Cd – до 4,6; Zn – до 2,9. Что касается распределения между горизонтами 0–5 м и 5–20 м, то значительных колебаний в концентрациях не установлено.

Большие значения концентраций тяжелых металлов в почвах окрестности шахты «Комсомольская» объясняются тем, что данные элементы характерны для угольной породы, добываемой на шахте [9]. Концентрации Cd и Ni в естественном почвенном покрове на участках 10, 11 и 20 превышают ПДК, что связано с высоким содержанием гумуса в торфянистом горизонте (7,4–12 %).

По результатам валового анализа, почвенный покров в окрестности шахты «Комсомольская» можно отнести к техногенно-загрязненным. Чтобы дать характеристику миграции металлов из почвы в растение, мы провели исследование на содержание в почвенном покрове подвижных форм тяжелых металлов (табл. 3).

Таблица 3

## Содержание подвижных форм тяжелых металлов в почвах

Номер участка отбора	Тяжелые металлы, мг/кг сухой массы						Участок отбора почвенных образцов
	Cu	Pb	Mn	Ni	Cd	Zn	
1 (С)	<b>0,55</b> <b>0,50</b>	0,90 1,25	<b>39,0</b> <b>21,5</b>	<b>1,05</b> <b>1,15</b>	<b>0,175</b> <b>0,13</b>	1,0 0,48	Техногенный почвогрунт
2 (С)	<b>0,25</b> <b>1,95</b>	0,85 1,15	<b>59,0</b> <b>54,5</b>	<b>0,85</b> <b>1,0</b>	<b>0,10</b> <b>0,12</b>	0,40 0,41	Техногенный почвогрунт
3 (С)	<b>0,55</b> <b>0,45</b>	0,40 0,50	17,6 14,9	<b>1,15</b> <b>0,85</b>	<b>0,125</b> <b>0,130</b>	0,54 0,47	Техногенный почвогрунт
4 (Ю)	<b>2,40</b> <b>2,50</b>	<b>2,2</b> 4,2	<b>59,3</b> <b>43,8</b>	<b>1,70</b> <b>4,5</b>	<b>0,21</b> <b>0,22</b>	0,60 <b>7,90</b>	Техногенный почвогрунт
5 (Ю)	<b>0,87</b> <b>0,76</b>	0,98 0,67	<b>54,5</b> <b>50,3</b>	<b>0,68</b> <b>0,76</b>	<b>0,81</b> <b>0,5</b>	1,79 1,90	Техногенный почвогрунт
6 (Ю)	<b>0,65</b> <b>0,25</b>	0,80 0,65	<b>42,8</b> <b>12,5</b>	<b>0,70</b> <b>0,40</b>	<b>0,11</b> <b>0,12</b>	1,27 0,45	Естественный почвенный покров
7 (Ю)	<b>0,39</b> <b>0,25</b>	<b>1,0</b> 0,65	<b>62,5</b> <b>23,0</b>	<b>0,80</b> 0,25	<b>0,11</b> 0,09	<b>3,90</b> 0,72	Естественный почвенный покров
8 (Ю)	<b>0,30</b> <b>0,49</b>	0,55 0,55	1,5 5,1	0,20 <b>0,70</b>	0,085 0,065	0,35 0,49	Естественный почвенный покров
9 (В)	<b>0,25</b> <b>0,30</b>	0,80 <b>1,0</b>	<b>59,1</b> <b>41,5</b>	<b>1,25</b> <b>1,10</b>	<b>0,76</b> <b>0,10</b>	<b>5,1</b> 0,74	Естественный почвенный покров
10 (В)	<b>0,40</b> <b>0,30</b>	<b>1,8</b> 0,6	<b>62,0</b> <b>29,9</b>	<b>0,8</b> <b>1,05</b>	<b>0,17</b> <b>0,13</b>	<b>21,0</b> 0,6	Естественный почвенный покров
11 (В)	0,21 0,20	<b>1,85</b> <b>1,76</b>	<b>49,0</b> <b>49,5</b>	<b>1,0</b> <b>1,2</b>	0,07 <b>0,10</b>	<b>2,55</b> 2,30	Естественный почвенный покров
12 (В)	<b>0,28</b> 0,20	0,90 0,80	<b>68,4</b> <b>28,3</b>	<b>0,95</b> <b>0,80</b>	<b>0,11</b> 0,08	<b>3,25</b> 1,50	Отвал угольной породы
13 (З)	<b>2,4</b> <b>2,9</b>	<b>2,40</b> <b>2,56</b>	<b>55,2</b> <b>56,8</b>	<b>2,70</b> <b>2,80</b>	<b>0,28</b> <b>0,20</b>	<b>34,30</b> <b>35,61</b>	Техногенный почвогрунт
14 (З)	<b>1,8</b> <b>2,0</b>	<b>2,1</b> <b>2,3</b>	<b>50,4</b> <b>51,2</b>	<b>3,1</b> <b>3,4</b>	<b>0,31</b> <b>0,87</b>	<b>32,4</b> <b>34,6</b>	Техногенный почвогрунт
15 (З)	<b>0,58</b> <b>0,65</b>	0,90 0,70	<b>41,7</b> <b>34,3</b>	<b>0,90</b> <b>1,10</b>	<b>0,25</b> <b>0,22</b>	<b>6,60</b> <b>4,70</b>	Техногенный почвогрунт
16 (С-З)	<b>5,10</b> <b>5,6</b>	0,85 <b>1,3</b>	<b>57,5</b> <b>50,6</b>	<b>3,50</b> <b>3,67</b>	<b>0,24</b> <b>0,50</b>	<b>8,05</b> <b>8,10</b>	Техногенный почвогрунт
17 (С-З)	<b>5,13</b> <b>5,0</b>	0,95 <b>1,2</b>	<b>56,5</b> <b>50,9</b>	<b>3,60</b> <b>3,07</b>	<b>0,33</b> <b>0,45</b>	<b>8,2</b> <b>9,0</b>	Техногенный почвогрунт
18 (С-З)	<b>4,94</b> <b>4,50</b>	0,96 0,50	<b>55,7</b> <b>60,8</b>	<b>3,30</b> <b>2,78</b>	<b>0,27</b> <b>0,70</b>	<b>7,93</b> <b>9,60</b>	Отвал угольной породы
19 (С-В)	<b>6,85</b> <b>6,90</b>	<b>1,20</b> <b>1,01</b>	<b>47,2</b> <b>50,7</b>	<b>4,0</b> <b>4,3</b>	<b>0,15</b> <b>0,13</b>	<b>6,0</b> <b>5,6</b>	Отвал угольной породы
20 (С-В)	<b>0,43</b> <b>0,28</b>	<b>1,0</b> 0,60	<b>62,8</b> <b>24,5</b>	<b>1,5</b> 0,30	<b>0,10</b> <b>0,10</b>	<b>4,75</b> 0,95	Естественный почвенный покров
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, жирным выделены концентрации, превышающие фон, подчеркиванием – ПДК.

В результате проведенного исследования выявлено превышение значений концентрации тяжелых металлов относительно фоновых значений (в раз): Cu – до 8; Pb – до 2,8; Mn – 3,6; Ni – 12,8; Cd – 9,6; Zn – 15,4. При этом наибольшие значения концентраций тяжелых металлов выявлены в естественном почвенном покрове на исследуемых участках в непосредственной близости от шахты «Комсомольская», а именно на участках 9 (300 м) и 10 (500 м), также в техногенных почвогрунтах и породных отвалах.

Превышения ПДК по исследуемым металлам не установлено, кроме никеля – до 1,1 ПДК и кадмия – до 1,6 ПДК. Данные результаты были получены на участках с естественным почвенным покровом на расстоянии 300 и 500 м в восточном направлении от шахты. Повышенное содержание кадмия определяется тем, что элемент наиболее активен в почвах с реакцией почвенного раствора менее 5 [10]. На отвалах угольной породы и техногенных почвогрунтах превышение ПДК по кадмию и никелю объясняется наличием данных элементов в породе.

Кроме этого, 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 почвы (естественный почвенный покров) имеют кислую реакцию почвенного раствора, легкий гранулометрический состав, ненасыщенные основаниями (Ca и Mg – основные антагонисты тяжелых металлов) и формируются они в условиях постоянного переувлажнения и низких температур. Таким образом, исследуемые тундровые почвы имеют все физико-химические свойства, способствующие фитодоступности микроэлементов.

Для полного представления о загрязнении тяжелыми металлами прилегающей к шахте «Комсомольская» территории был изучен растительный материал. Фитодоступность ТМ – один из основных вопросов в экологии при исследовании влияния промышленных предприятий на окружающую среду. В таблицах 4–6 показаны результаты исследования частей иван-чая (лат. *Chamaenerion*), ивы полярной (лат. *Salix polaris*) и березы карликовой (лат. *Betula nana*) на содержание тяжелых металлов в окрестности шахты «Комсомольская» 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 частей иван-чая, березы карликовой и ивы полярной, с породных угольных отвалов и участков с техногенными почвогрунтами главным образом иван-чая. Исключение составили участки 13–17, где на техногенном почвогрунте произрастает ива полярная, которая была взята нами для проведения исследования.

Таблица 4

Содержание тяжелых металлов в частях *Chamaenerion*

Номер участка	Органы растений	Тяжелые металлы, мг/кг сухой массы						Участок отбора почвенных образцов
		Cu	Pb	Mn	Ni	Cd	Zn	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 (C)	Листья	11,6	2,9	42,9	10,3	0,27	45,8	Техногенный почвогрунт
	Стебли	8,25	1,7	20,7	6,65	0,27	38,8	
	Корни	7,6	7,35	118,3	11,3	0,35	27,5	
2 (C)	Листья	1,56	2,4	38,1	11,5	0,32	41,5	Техногенный почвогрунт
	Стебли	8,2	1,9	20,9	6,1	0,29	32,5	
	Корни	6,7	7,1	69,3	11,9	0,31	24,3	

Продолжение табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3 (С)	Листья Стебли Корни	6,4 5,4 9,5	3,6 1,2 3,0	28,4 22,5 34,1	6,95 7,9 10,4	0,25 0,3 0,3	24,3 21,9 11,4	Техногенный почвогрунт
4 (Ю)	Листья Стебли Корни	6,7 6,1 8,7	4,6 1,2 2,1	34,2 25,5 19,6	10,1 7,2 14,5	1,21 0,24 0,56	61,9 57,3 54,5	Техногенный почвогрунт
5 (Ю)	Листья Стебли Корни	6,4 4,5 13,3	2,2 3,2 3,0	32,3 27,8 16,8	6,3 7,3 16,4	0,24 0,22 0,40	36,1 21,6 10,4	Техногенный почвогрунт
6 (Ю)	Листья Стебли Корни	9,6 8,3 12,5	2,4 2,2 1,7	40,5 29,0 38,5	9,1 8,7 9,6	0,61 0,34 0,31	31,7 19,8 21,3	Естественный почвенный покров
7 (Ю)	Листья Стебли Корни	5,9 4,8 9,7	4,0 1,9 2,7	120,8 35,1 20,4	10,4 11,0 11,9	0,87 0,76 0,21	61,1 59,0 25,0	Естественный почвенный покров
8 (Ю)	Листья Стебли Корни	4,0 5,4 5,2	1,7 2,4 3,2	142,4 13,2 15,0	5,9 5,0 9,5	0,28 0,53 0,68	54,1 27,0 60,1	Естественный почвенный покров
9 (В)	Листья Стебли Корни	6,1 6,0 9,6	2,9 3,4 1,6	50,2 56,6 23,0	6,8 8,9 12,7	0,4 0,5 0,3	55,0 31,3 60,0	Естественный почвенный покров
10 (В)	Листья Стебли Корни	2,95 5,3 3,3	2,7 2,9 1,3	48,8 55,2 21,0	4,6 8,8 4,0	0,31 0,31 0,15	53,4 28,0 55,5	Естественный почвенный покров
11 (В)	Листья Стебли Корни	6,95 5,4 10,6	4,3 1,8 1,6	44,1 28,9 49,9	7,9 4,9 10,4	0,24 6,08 0,76	41,3 55,0 51,0	Естественный почвенный покров
12 (В)	Листья Стебли Корни	7,4 4,9 12,4	3,5 1,2 1,0	32,4 143,6 30,0	6,8 5,5 12,6	0,31 0,5 0,21	22,4 19,1 10,6	Отвал угольной породы
13 (З)	Листья Стебли Корни	6,2 4,5 9,3	2,6 1,2 1,4	28,2 26,3 16,9	6,2 5,7 13,2	0,22 0,59 0,8	49,7 56,3 57,3	Техногенный почвогрунт
14 (З)	Листья Стебли Корни	8,2 6,7 9,3	2,2 2,7 2,1	81,0 28,5 15,9	6,5 4,8 14,3	0,43 0,31 0,41	22,9 22,8 52,9	Техногенный почвогрунт
15 (З)	Листья Стебли Корни	6,6 4,9 9,1	4,9 3,9 2,5	26,5 28,5 15,4	7,2 5,1 11,2	0,36 0,43 0,23	33,0 23,7 19,05	Техногенный почвогрунт
16 (С-З)	Листья Стебли Корни	6,1 5,4 8,9	3,9 1,8 1,8	25,9 20,9 14,1	8,1 6,4 51,4	0,36 3,9 0,53	41,3 60,95 40,9	Техногенный почвогрунт
17 (С-З)	Листья Стебли Корни	7,1 5,9 9,1	5,3 3,9 1,6	30,1 25,6 18,5	8,4 10,6 12,8	1,2 0,375 1,4	24,5 36,25 53,9	Техногенный почвогрунт
18 (С-З)	Листья Стебли Корни	6,2 5,7 9,1	3,0 1,6 2,0	44,2 41,2 16,0	6,1 5,25 10,7	0,26 0,31 0,28	50,0 35,0 32,5	Отвал угольной породы

1	2	3	4	5	6	7	8	9
19 (С-В)	Листья Стебли Корни	<b>5,8</b> <b>4,9</b> <b>9,3</b>	<b>2,7</b> <u><b>5,1</b></u> <b>2,9</b>	<b>46,8</b> <b>50,5</b> <b>38,3</b>	<b>7,3</b> 4,7 <b>10,5</b>	<b>0,31</b> <b>0,31</b> <b>0,23</b>	<b>41,3</b> <b>59,6</b> <b>15,3</b>	Отвал угольной породы
20 (С-В)	Листья Стебли Корни	<b>6,7</b> <b>4,8</b> 7,0	<b>2,4</b> <b>3,95</b> <b>3,5</b>	<b>30,7</b> <b>21,9</b> <b>16,6</b>	<b>6,5</b> <b>5,4</b> <b>11,5</b>	<b>0,3</b> 0,28 <b>1,2</b>	<b>23,5</b> <b>52,6</b> <b>68,9</b>	Естественный почвенный покров
Фон: Листья Стебли Корни		5,8 4,3 8,2	2,2 1,2 0,9	24,4 20,6 12,4	5,9 4,5 9,2	0,22 0,22 0,17	21,3 18,9 9,0	Естественный почвенный покров

Примечание. Жирным выделены концентрации, превышающие фон, подчеркиванием – ПДК.

Таблица 5

Содержание тяжелых металлов в частях *Salix polaris*

Номер участка	Органы растений	Тяжелые металлы, мг/кг сухой массы						Участок отбора почвенных образцов
		Cu	Pb	Mn	Ni	Cd	Zn	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 (С)	Листья Стебли Корни	Не отбирались						Техногенный почвогрунт
2 (С)	Листья Стебли Корни	Не отбирались						Техногенный почвогрунт
3 (С)	Листья Стебли Корни	Не отбирались						Техногенный почвогрунт
4 (Ю)	Листья Ветки Корни	<b>5,9</b> <b>5,8</b> <b>4,8</b>	<u><b>5,1</b></u> <b>1,4</b> <b>2,4</b>	<b>23,1</b> <b>23,5</b> <b>21,7</b>	<u><b>12,2</b></u> <b>3,1</b> <b>4,8</b>	<b>1,4</b> 0,12 <b>0,62</b>	<b>63,5</b> <b>61,6</b> <b>57,7</b>	Техногенный почвогрунт
5 (Ю)	Листья Ветки Корни	Не отбирались						Техногенный почвогрунт
6 (Ю)	Листья Ветки Корни	<b>5,3</b> <b>10,5</b> <b>5,6</b>	<b>3,3</b> <b>2,1</b> <b>2,0</b>	<b>36,5</b> <b>30,4</b> <b>28,9</b>	<b>7,3</b> <b>6,7</b> <b>7,6</b>	<b>0,4</b> <b>0,54</b> <b>0,42</b>	54,9 59,6 54,3	Естественный почвенный покров
7 (Ю)	Листья Ветки Корни	<b>4,8</b> <b>3,8</b> <b>3,3</b>	<b>4,3</b> <b>1,5</b> 0,85	<b>111,9</b> <b>32,9</b> <b>41,4</b>	<b>8,1</b> <b>10,4</b> <b>5,0</b>	<b>0,75</b> <b>0,55</b> <b>0,37</b>	55,0 58,3 55,0	Естественный почвенный покров
8 (Ю)	Листья Ветки Корни	Не отбирались						Естественный почвенный покров
9 (В)	Листья Ветки Корни	<b>3,9</b> <b>3,3</b> <b>4,0</b>	<b>3,4</b> <b>1,3</b> <b>1,6</b>	<b>79,0</b> <b>21,0</b> <b>23,0</b>	<b>9,7</b> <b>4,0</b> <b>5,0</b>	<u><b>2,8</b></u> 0,15 <b>0,3</b>	<b>59,1</b> <b>55,5</b> <b>60,0</b>	Естественный почвенный покров

Окончание табл. 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
10 (В)	Листья Стебли Корни	Не отбирались						Естественный почвенный покров
11 (В)	Листья Ветки Корни	7,1 4,2 3,2	4,1 2,8 2,3	46,3 29,9 52,9	8,1 4,7 2,9	0,43 6,9 3,1	45,1 56,9 53,2	Естественный почвенный покров
12 (В)	Листья Ветки Корни	Не отбирались						Отвал угольной породы
13 (З)	Листья Ветки Корни	5,1 4,9 4,9	2,4 1,3 1,3	71,4 17,7 15,0	6,4 2,3 3,1	1,14 0,61 1,05	64,1 63,3 58,3	Техногенный почвогрунт
14 (З)	Листья Ветки Корни	6,9 3,5 5,3	3,9 2,0 2,3	25,4 21,2 23,1	10,4 4,0 2,95	2,2 1,26 0,35	61,7 60,7 58,95	Техногенный почвогрунт
15 (З)	Листья Ветки Корни	5,7 4,8 4,7	5,9 1,6 1,7	22,3 21,6 19,5	10,5 3,8 5,1	1,06 0,34 0,42	66,4 58,0 57,0	Техногенный почвогрунт
16 (С-З)	Листья Ветки Корни	3,4 6,1 7,0	1,8 2,3 2,0	31,2 20,1 19,6	7,1 7,4 53,0	6,3 4,2 0,49	58,9 61,8 60,6	Техногенный почвогрунт
17 (С-З)	Листья Ветки Корни	6,0 6,4 7,4	3,9 1,3 1,9	22,4 24,7 19,6	12,8 4,6 5,7	4,4 3,3 1,75	65,7 59,4 55,5	Техногенный почвогрунт
18 (С-З)	Листья Ветки Корни	Не отбирались						Отвал угольной породы
19 (С-В)	Листья Стебли Корни	Не отбирались						Отвал угольной породы
20 (С-В)	Листья Ветки Корни	2,8 3,2 4,8	1,2 4,5 2,8	31,0 22,3 25,4	4,6 2,9 8,4	0,44 0,43 0,57	55,5 53,1 54,8	Естественный почвенный покров
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. Жирным выделены концентрации, превышающие фон, подчеркиванием – ПДК.

Содержание тяжелых металлов в частях *Betula nana*

Номер участка	Органы растений	Тяжелые металлы, мг/кг сухой массы						Участок отбора почвенных образцов
		Cu	Pb	Mn	Ni	Cd	Zn	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 (С)	Листья Стебли Корни	Не отбирались						Техногенный почвогрунт
2 (С)	Листья Стебли Корни	Не отбирались						Техногенный почвогрунт
3 (С)	Листья Стебли Корни	Не отбирались						Техногенный почвогрунт
4 (Ю)	Листья Ветки Корни	Не отбирались						Техногенный почвогрунт
5 (Ю)	Листья Ветки Корни	Не отбирались						Техногенный почвогрунт
6 (Ю)	Листья Ветки Корни	3,8 9,4 4,3	1,9 1,9 1,9	197,1 45,3 37,2	8,3 4,7 4,9	0,22 0,45 0,24	52,6 57,1 52,9	Естественный почвенный покров
7 (Ю)	Листья Ветки Корни	Не отбирались						Естественный почвенный покров
8 (Ю)	Листья Ветки Корни	5,1 3,8 2,9	2,6 3,1 1,3	113,6 18,9 14,3	6,3 3,4 1,3	1,2 0,82 0,095	58,1 55,2 41,0	Естественный почвенный покров
9 (В)	Листья Ветки Корни	3,9 3,9 5,1	2,3 1,9 2,1	82,2 31,5 36,6	11,1 5,8 6,3	3,0 0,32 0,9	60,3 61,2 71,2	Естественный почвенный покров
10 (В)	Листья Стебли Корни	3,4 6,7 4,1	2,3 4,1 2,5	49,6 62,1 23,0	5,1 9,4 4,9	0,52 0,42 0,29	55,3 30,5 56,2	Естественный почвенный покров
11 (В)	Листья Ветки Корни	Не отбирались						Естественный почвенный покров
12 (В)	Листья Ветки Корни	Не отбирались						Отвал угольной породы
13 (З)	Листья Ветки Корни	Не отбирались						Техногенный почвогрунт

Окончание табл. 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9
14 (3)	Листья Ветки Корни	Не отбирались						Техногенный почвогрунт
15 (3)	Листья Ветки Корни	Не отбирались						Техногенный почвогрунт
16 (С-3)	Листья Ветки Корни	Не отбирались						Техногенный почвогрунт
17 (С-3)	Листья Ветки Корни	Не отбирались						Техногенный почвогрунт
18 (С-3)	Листья Ветки Корни	Не отбирались						Отвал угольной породы
19 (С-В)	Листья Стебли Корни	Не отбирались						Отвал угольной породы
20 (С-В)	Листья Ветки Корни	Не отбирались						Естественный почвенный покров
Фон: Листья Стебли Корни		2,3 1,8 1,5	1,8 1,4 1,2	25,6 11,4 9,8	4,1 2,4 1,7	0,29 0,2 0,18	31,4 24,9 21,3	Естественный почвенный покров

Примечание. Жирным выделены концентрации, превышающие фон, подчеркиванием – ПДК.

По результатам исследования растительного покрова было установлено, что на всех исследуемых участках в окрестности шахты «Комсомольская» концентрации тяжелых металлов в листьях, ветках и корнях *Salix polaris*, *Betula pana* и *Chamaenerion* превышают фоновые их значения, что является главным образом результатом производственной деятельности угледобывающего предприятия, работы железнодорожного транспорта и автомашин с дизельным топливом. Необходимо отметить, что концентрация увеличивается с близостью участка исследования к источнику эмиссии: в корнях растений на техногенном почвенном грунте и породном отвале, в листьях и стеблях на естественном почвенном покрове на расстоянии от 300 до 500 м от ствола шахты.

Полученные нами данные концентраций тяжелых металлов в листьях исследуемых растений относятся к избыточным или токсичным согласно данным сводной таблицы Кабата-Пендиас [11]. А именно – Pb, Ni и Cd в листьях иван-чая, березы и ивы на естественном почвенном покрове и на техногенном почвогрунте на расстоянии от 150 до 600 м от шахтного ствола. Данные показатели объясняются тем, что угольная пыль и частицы породы попадают на поверхность листьев в непосредственной близости от источника эмиссии.

При сравнении с ПДК металлов для растений, представленных многими авторами [12–17], в ветках, стеблях и корнях растений также установлены концентрации Ni и Pb, относящиеся к избыточным. Ива и иван-чай, в корнях которых установлено превышение ПДК по Pb, отобраны на участках с техногенным почвенным грунтом, представленным угольной породой, на расстоянии 300–

500 м, иван-чай, где концентрация Ni в стеблях превышает ПДК, отобран на отвале угольной породы. Кроме этого, необходимо отметить, что Ni, Cd и Pb – легкодоступные элементы для биоаккумуляции из почвенного покрова [17].

### Выводы

1. По результатам исследования почвенного покрова окрестности шахты «Комсомольская» было установлено, что концентрации валовых и подвижных форм тяжелых металлов превышают их фоновые значения по всем участкам отбора почвенных образцов. Превышение ПДК установлено по Cd и Ni на участках с естественным почвенным покровом вблизи шахты, с техногенным почвогрунтом и отвалах угольной породы.

2. По результатам исследования растительного покрова также установлено превышение концентраций тяжелых металлов относительно их фоновых значений. Превышение ПДК установлено по Cd, Ni и Pb. Наибольшее содержание их в листьях растений установлено на участках в непосредственной близости от шахты, а в корнях и стеблях растений – на техногенных почвогрунтах и отвалах угольной породы.

### Литература

1. Минерально-сырьевой комплекс Республики Коми // Статистический сборник. – Сыктывкар, 1999.
2. Турубанов А.Н. Топливный комплекс Республики Коми в XX веке. – Сыктывкар, 2007. – 191 с.
3. Яжлев И.К. Экологическое восстановление загрязненных производственных территорий // Экология и промышленность России. – 2011. – № 3. – С. 48–51.
4. 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.
5. Абрамова М.И. Использование геоинформационных систем при мониторинге снежного покрова как индикатора техногенной нагрузки // Актуальные проблемы биологии и экологии: мат-лы 12-й молодеж. науч. конф. Ин-та биологии Коми НЦ УрО РАН (4–7 апреля 2005 г.). – Сыктывкар, 2005. – С. 6–8.
6. Рубцов А.И. Состояние воздушной среды г. Воркута по геохимии снежного покрова // Эколого-экономические и социальные проблемы Воркутинского промышленного района (поиск путей решения и обеспечения стабильности). – Сыктывкар, 2000. – С. 27–34.
7. Стоянова И.А. Эколого-экономическое обоснование увеличения добычи угля на шахтах России: дис. ... канд. экон. наук. – М., 2003. – 125 с.
8. Завальцева О.А. Лабораторный практикум по почвоведению. – Ульяновск, 2009. – 35 с.
9. Волковская С.Г., Грищенко А.Е. Исследование содержания металлов в продуктах сгорания угля // Тр. XII Междунар. науч.-практ. конф. (Воркута, 8–10 апреля 2009 г.). – Воркута, 2009. – Т. 3. – С. 441–443.
10. Кабата-Пендиас А. Проблемы современной биогеохимии микроэлементов // Рос. хим. журн. – 2005. – Т. XLIX. – № 3.
11. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях: пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
12. Ильин В.Б., Степанов М.Д. Показатели для оценки загрязнения тяжелыми металлами системы почва-растение // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. – 1980. – Вып. XXIV. – С. 3–17.
13. 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.
14. Лукин Н.В., Никонов В.В. Поглощение аэрогенных загрязнений растениями сосняков на северо-западе Кольского полуострова // Лесоведение. – 1993. – № 6. – С. 34–41.

15. Sauerbeckb. Welche Schwermetallgehalte in Pflanzendurben nicht überschritten werden, um Wachstumsbeeinträchtigungen zu vermeiden? // Landwirtschaftlicher Forschung. Kongressband. – 1982. – S.-H. 16. – P. 59–72.
16. Cottenie A., Dhaese A., Camerlynck R. Plant quality response to the uptake of polluting elements // Qual. Plantarum. 1976. – Vol. 26. – № 3. – P. 293–319.
17. Kabata-Pendias A., Pendias H. Trace Elements in Soils and plants. – 3-rd ed. –CRC Press, Boca Raton, FL, 2001.



УДК 633.878.32:581.522.5(571.51)

И.С. Коротченко

**ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА  
г. КРАСНОЯРСКА НА ВЕЛИЧИНУ ФЛУКТУИРУЮЩЕЙ АСИММЕТРИИ ЛИСТОВОЙ  
ПЛАСТИНКИ ТОПОЛЯ БАЛЬЗАМИЧЕСКОГО**

*Проведена оценка изменений стабильности развития тополя бальзамического, произрастающего в зоне влияния теплоэлектростанций, по величине флуктуирующей асимметрии. Установлена четкая закономерность изменения асимметрии в листьях исследуемого растения в зависимости от удаления объектов от источников загрязнения.*

**Ключевые слова:** флуктуирующая асимметрия, тополь бальзамический, загрязнение окружающей среды, урбосреда, фитоиндикация.

I.S. Korotchenko

**THE INFLUENCE OF THE KRASNOYARSK HEAT-POWER COMPLEX ON THE SIZE  
OF THE FLUCTUATING ASYMMETRY OF THE BALSAM POPLAR LEAF PLATE**

*The assessment of the development stability change of the balsam poplar, growing in the zone of the heat-power plant influence, on the fluctuating asymmetry size is carried out. The accurate regularity of the asymmetry change in leaves of the studied plant depending on the object distance from pollution sources is determined.*

**Key words:** fluctuating asymmetry, balsam poplar, environmental pollution, urban environment, phyto-indication.

---

**Введение.** Анализ состояния среды города Красноярска показал, что сложившаяся экологическая ситуация оказывает значительную дополнительную нагрузку на природный комплекс и обуславливает антропогенную модификацию сложных естественных факторов, характерных для данного региона, что сказывается на изменении свойств отдельных биотических компонентов и качества среды, которое должно рассматриваться и оцениваться с учетом потребностей всех живых организмов, а оценка отклонения параметров среды от их исходных значений возможна методом биоиндикации.

Экстремальными факторами городской среды Красноярска для древесной растительности выступают абиотические природные стрессоры, такие как природный повышенный уровень запыленности, подтопление, котловинность рельефа, низкая устойчивость ландшафтов в сочетании с техногенными стрессорами, в частности теплоэнергетический комплекс.