

## ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ТЕХНОГЕННЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ ОБРАЗОВАНИЯХ КРАСНОЯРСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

Коротченко И.С.<sup>1</sup>, Мучкина Е.Я.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», Красноярск, e-mail: kisaspi@mail.ru;

<sup>2</sup>ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, e-mail: emuchkina@yandex.ru

---

Статья посвящена оценке загрязнения техногенных поверхностных образований в условиях городской агломерации. Проведено сравнение загрязнения техногенных поверхностных образований тяжелыми металлами по предельно-допустимой концентрации. Исследование содержания тяжелых металлов проводилось на территориях, прилегающих к Красноярским теплоэлектроцентралям, паркам города. При проведении количественного анализа городских почв на наличие тяжелых металлов обнаружено повышенное содержание ряда тяжёлых металлов в почвах, из которых основными элементами, присутствующими в техногенных потоках загрязнения, являются свинец, цинк, медь, никель. Суммарное загрязнение по валовому содержанию тяжелых металлов показало, что наиболее загрязненной территорией является зона, прилегающая к ТЭЦ-2. Полученные результаты могут служить основой для дальнейших исследований на территории Красноярской агломерации, показана необходимость разработки критериев оценки загрязнения городских почв с учетом подвижных форм тяжелых металлов.

---

Ключевые слова: тяжелые металлы, почвенный покров – техногенные поверхностные образования, агломерация, Красноярск.

## HEAVY METALS IN TECHNOGENIC SURFACE FORMATIONS OF KRASNOYARSK AGGLOMERATION

Korotchenko I.S.<sup>1</sup>, Muchkina E.Y.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>FSBEI HE «Krasnoyarsk State Agrarian University», Krasnoyarsk, e-mail: kisaspi@mail.ru;

<sup>2</sup>FSAEI HE «Siberian Federal University», Krasnoyarsk, e-mail: emuchkina@yandex.ru

---

The article is devoted to the estimation of contamination of technogenic surface formations in the conditions of city agglomeration is considered. Comparison of pollution of technogenic surface formations by heavy metals on maximum-permissible concentration is carried out. Research of content of heavy metals was conducted in the territories adjacent to Krasnoyarsk combined heat and power plants, parks of the city. When carrying out the quantitative analysis of city soils on availability of heavy metals the increased maintenance of a number of heavy metals in soils from which the basic elements which are present at technogenic streams of pollution are lead, zincum, copper, nickel is revealed. Cooperative pollution on the bulk content of heavy metals showed that the most polluted territory is the zone adjacent to combined heat and power plant-2. The received results can form a basis for further researches in the territory of Krasnoyarsk agglomeration, need of development of criteria for evaluation of pollution of city soils taking into account the relative frame forms of heavy metals is shown.

---

Keywords: heavy metals, soil cover – technogenic surface formations, agglomeration, Krasnoyarsk.

В условиях крупных промышленных центров на функционирование экосистем и состояние их отдельных компонентов значимое влияние оказывает химическое загрязнение, источниками которого являются промышленные предприятия, автотранспорт и топливно-энергетический комплекс. Среди прочих поллютантов находятся соединения тяжелых металлов (ТМ), оказывающие влияние на качество природной среды. Почти все микроэлементы, являющиеся необходимыми для живых организмов, представлены тяжелыми металлами. Поступающие загрязнения из воздуха попадают на почвенный покров, водную поверхность, где в результате миграции аккумулируются и могут поступать по трофической цепи в различные компоненты биоты [5].

Оценка содержания ТМ является приоритетной в ряду мониторинга воздушной и почвенной сред. Опасность повышенного содержания ТМ в экосистеме обусловлена тем, что большинство металлов имеют высокую биологическую активность и в незначительных количествах способны вызывать токсический эффект у организмов. Также металлы не подвержены биодegradации, находясь в биогеохимическом цикле, они накапливаются и практически не выводятся из данного процесса.

В условиях Красноярской агломерации в ряду источников ТМ, поступающих с выбросами, являются теплоэлектроцентрали, работа которых основана на сжигании бурого угля. При сжигании угля на ТЭЦ с золой происходит значительный выброс тяжелых металлов, удельный выброс (мг/кг топлива) которых возрастает в ряду  $Cd_{30} < Co_{40} < Cu_{300} < Cr_{370} < Pb_{2100} < Zn_{2800}$  [4]. Тяжелые металлы чрезвычайно токсичны даже в следовых количествах. Они способны концентрироваться в живых организмах, вызывая при этом различные патологии развития.

Согласно исследованиям [1, 9] в г. Красноярске и его пригородной зоне существуют локализованные загрязнения тяжелыми металлами: Zn, W, Cd, Mo, Cu, Sn, Co, Pb, As, Ni, Be, Cr. Аномалии тяжелых металлов, как правило, распространяются на расстояния до 10 км от источника поступления, что связано с преимущественной приуроченностью металлов к пылевой фракции промышленных выбросов. Метеорологические условия и рельеф местности могут определять возможное распространение загрязнения в направлении господствующих ветров на 15–30 км, реже – до 100 км. Аномалии подвижных форм элементов значительно протяженнее и контрастнее, чем определяемые по валовому содержанию.

В качестве критериев оценки уровня загрязнения окружающей среды могут быть использованы суммарный показатель загрязнения почв (Zс), ПДК [2].

Как правило, в крупных промышленных городах почвенный покров видоизменен и представлен техногенными поверхностными образованиями (ТПО).

**Цель исследования** – изучение концентрации ТМ в техногенных поверхностных образованиях (ТПО) Красноярской городской агломерации.

**Материал и методы исследования.** *Объект исследования* – ТПО Красноярской городской агломерации.

*Предмет исследования* – содержание тяжелых металлов 1 класса опасности (Pb, Cd, Zn), 2 класса опасности (Cu, Co, Ni) в ТПО. Классы опасности приведены согласно [7, 8].

Красноярск – крупный промышленный город площадью 385,8 км<sup>2</sup>, состоит из двух частей – левобережной и правобережной, имеет 7 административных районов: 4 на левом берегу, 3 на правом берегу р. Енисей. В районе расположения города преобладает западное и

юго-западное направление ветра, среднее годовое количество осадков составляет 316 мм. На правобережье Красноярска работают две теплоэлектроцентрали – ТЭЦ-1, ТЭЦ-2. Исследованием охвачена значительная территория Красноярской промышленной агломерации. С учетом техногенной, рекреационной нагрузки выделено 2 зоны и 8 точек для отбора проб (рис. 1).

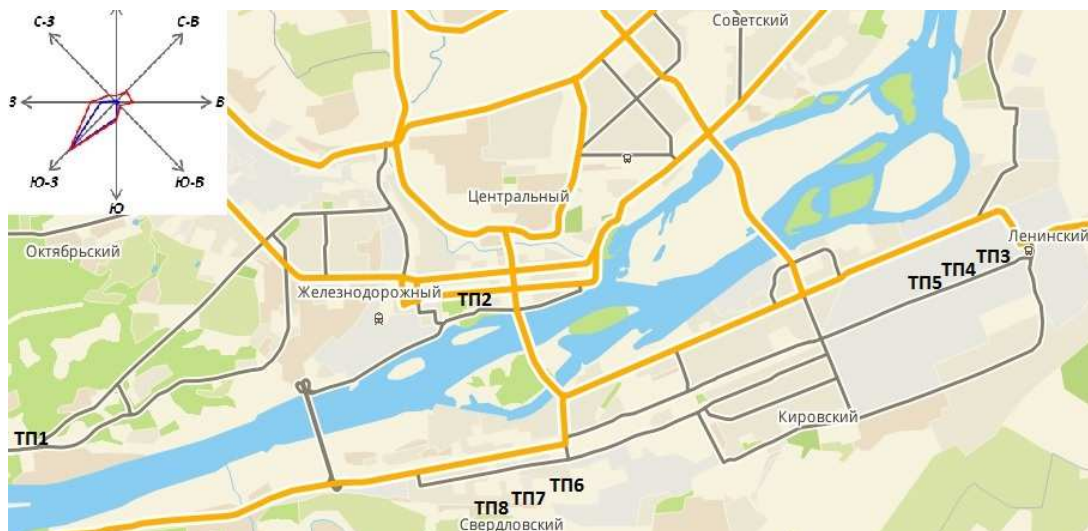


Рис. 1. Схема расположения точек отбора (ТП) почвенных образцов на территории г. Красноярска

**Рекреационная зона:** ТП1 – п. Удачный (конечная остановка по маршруту № 12 в Красноярске); ТП2 – Центральный парк расположен в Центральном районе на ул. Карла Маркса, 151. Площадь парка – 15 га. Место для отдыха большинства горожан.

**Промышленная зона:** ТП3 – Красноярская ТЭЦ-1 (КрасТЭЦ). Высота дымовых труб– от 105 до 180 метров. Примерное расстояние от объекта «ТЭЦ-1» – 100 м; ТП4 – Примерное расстояние от объекта «ТЭЦ-1» – 500 м; ТП5 – Примерное расстояние от объекта «ТЭЦ-1» – 1000 м; ТП6 – Красноярская ТЭЦ-2. Высота дымовых труб – 180 метров. Примерное расстояние от объекта «ТЭЦ-2» – 100 м; ТП7 – Примерное расстояние от объекта «ТЭЦ-2» – 500 м; ТП8 – Примерное расстояние от объекта «ТЭЦ-2» – 1000 м. При оценке локального и регионального загрязнений в качестве фона служат почвы, удаленные от источников загрязнения на расстоянии 50–100 км, и в наименьшей степени подвержены антропогенному воздействию, поэтому в качестве фона определили пригородную часть агломерации – п. Удачный.

Отбор проб ТПО проводили на учетных точках с глубины 0-20 см, методом конверта в 3-х кратной повторности согласно общепринятым методикам [3]. Исследуемые ТПО относятся группе квазиземов, подгруппе урбоквиземов [6]. Далее по тексту по отношению к ТПО применялся термин почвенные образцы. Образцы почвы отбирали в осенний период

2014, 2015 гг. Содержание тяжелых металлов в почвенных образцах (воздушно-сухая масса, мг/кг) определяли атомно-абсорбционным методом на анализаторе PinAAcle 900T в 3-х кратной повторности. Учитывали подвижные и валовые формы.

На основании значений валовых форм тяжелых металлов рассчитывали суммарный показатель химического загрязнения почв ( $Z_c$ ):

$$Z_c = \sum_{i=1}^n \left( \frac{K_i}{K_{\phi}} \right) - (n - 1),$$

где  $Z_c$  – суммарный показатель загрязнения почв тяжелыми металлами;  $K_i$  – концентрация в почве конкретного элемента, мг/кг;  $K_{\phi}$  – фоновая концентрация конкретного элемента, мг/кг;  $n$  – число суммируемых элементов. Критические значения, позволяющие охарактеризовать суммарное загрязнение  $Z_c$  по степени опасности, таковы: при  $Z_c < 16$  загрязнение считается допустимым; при  $16 < Z_c < 32$  – умеренно опасным; при  $32 < Z_c < 128$  – высоко опасным [2]. Статистическую обработку проводили с использованием программ Microsoft Excel, Statistica.

**Результаты исследования и их обсуждение.** На исследуемых участках на основании данных, представленных на рисунке 2, выявлено, что содержание валовых форм свинца в почвенных образцах превышает ПДК на участках – ТП3, ТП6, ТП7, ТП8, наибольшее его значение выявлено на участке – ТП6 (кратность превышения ПДК (32 мг/кг) – в 4 раза). Концентрация валовых форм цинка не превышает ПДК (100 мг/кг), кроме участка ТП8, в котором отмечено превышение ПДК в 6,5 раз (2014 год) и 6,7 раз (2015 год). Концентрация валовых форм кадмия в 2015 году на изучаемой территории не была выше величины ПДК (1 мг/кг), а в 2014 году превышала ПДК на участке ТП7 в 1,2 раза.

Содержание подвижных форм свинца во всех анализируемых почвенных образцах, кроме фона, превышает ПДК (6 мг/кг): рекреационная зона – ТП2 – в 3,3 раза; промышленная зона ТЭЦ-1 – до 4,2 раза, ТЭЦ-2 – до 3,2 раза. При изучении содержания подвижных форм цинка в городских почвах выявлены незначительные превышения ПДК (23 мг/кг). Не обнаружено превышение содержания подвижных форм Cd в исследуемых нами почвенных образцах. Следует отметить идентичную картину по превышениям ПДК подвижных форм ТМ рекреационной и промышленной зоны (рис. 3).

Концентрация валовых форм никеля и кобальта в почвенных образцах 2014 и 2015 гг. находилась в пределах ПДК (85 мг/кг и 16,2 мг/кг соответственно). Содержание валовых форм меди превышало ПДК (55 мг/кг) в 2 раза на двух точках – ТП6, ТП7 (рис. 4). Содержание подвижных форм кобальта, в основном, не превышало ПДК (5 мг/кг) (рис. 5).

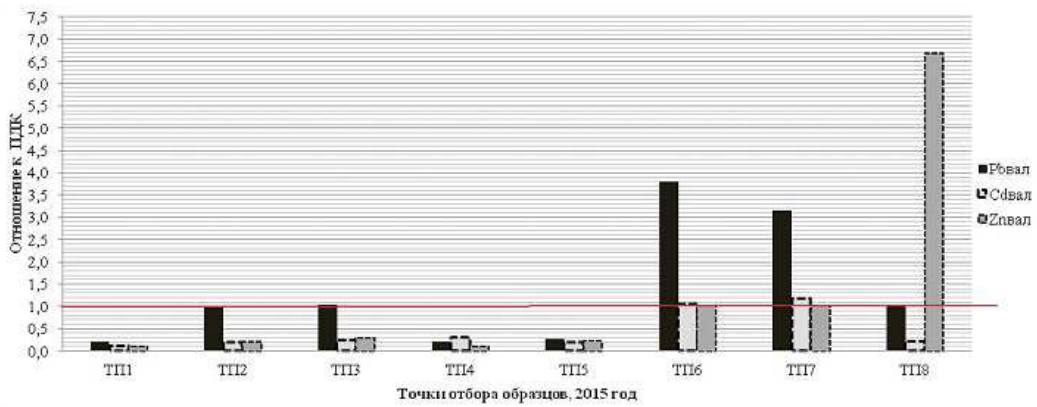
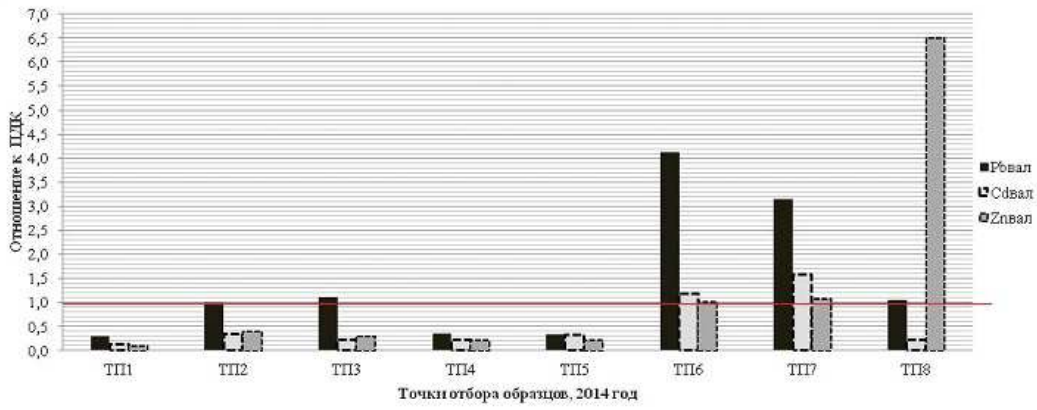


Рис. 2. Отношение к ПДК содержания валовых форм кадмия, свинца, цинка (ТМ I класса опасности) в ТПО Красноярской агломерации (обозначения ТП – см. выше по тексту)

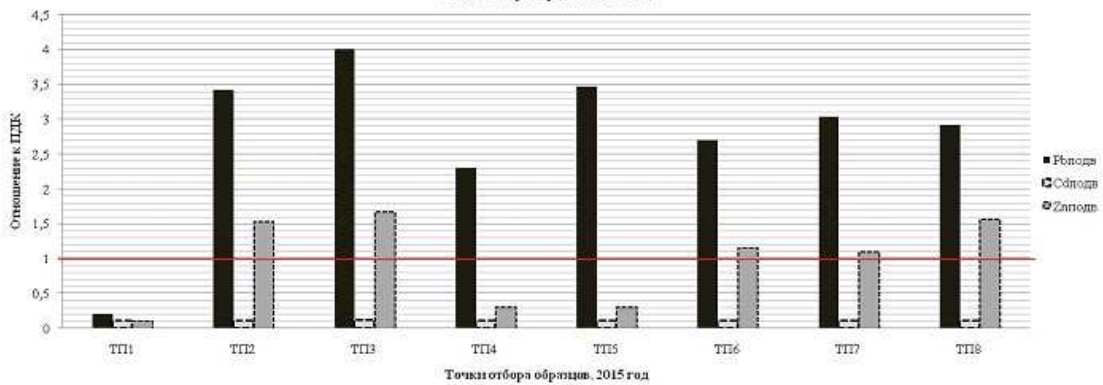
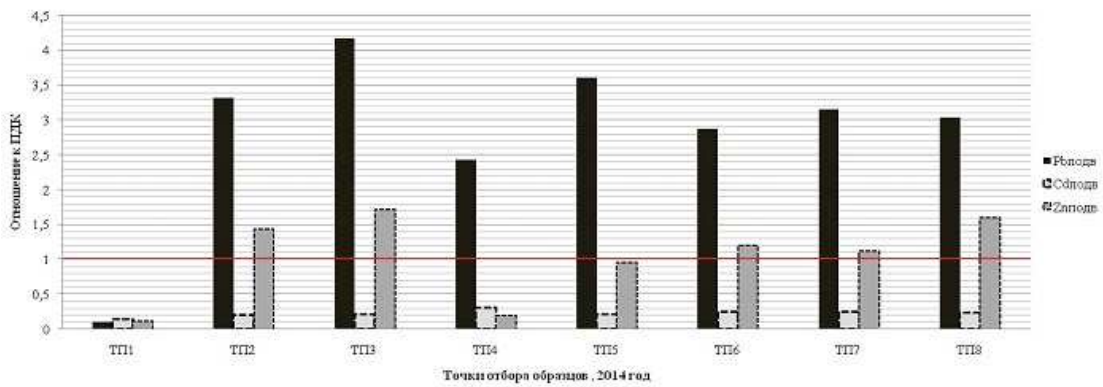


Рис. 3. Отношение к ПДК содержания подвижных форм кадмия, свинца, цинка (ТМ I класса опасности) в ТПО Красноярской агломерации

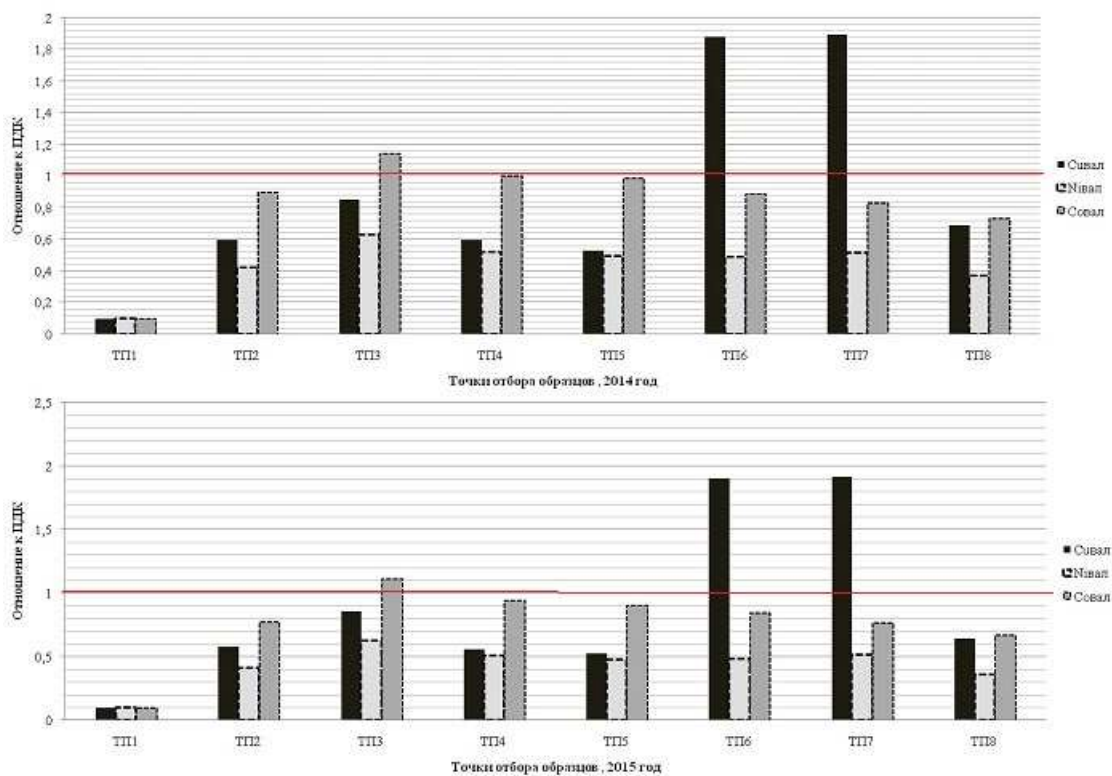


Рис. 4. Отношение к ПДК содержания валовых форм меди, никеля и кобальта (ТМ 2 класса опасности) в ТПО Красноярской агломерации

Содержание подвижных форм меди и никеля на всех участках взятия образцов, кроме фонового, превышает ПДК. На участке ТП 6, вблизи ТЭЦ-2, выявлено максимальное содержание подвижной формы меди, никеля и превышает ПДК (Cu – 3 мг/кг, Ni – 4 мг/кг) соответственно в 9 раз, в 3,4 раза.

На основании полученных данных определили суммарное загрязнение по валовому содержанию загрязняющих веществ, максимальное значение Zc зафиксировано на участке ТП7 (ТЭЦ-2, удаленность от предприятия 500 м) (Zc = 31,4 – в 2014 году, Zc = 26,4 – в 2015 году). По показателю Zc почвенные образцы, отобранные во всех точках в зоне влияния ТЭЦ-2, можно отнести к умеренно-опасно загрязненным (ТП8 – Zc = 17,6 – в 2014 году, Zc = 17,8 – в 2015 году; ТП6 – Zc = 28,8 – в 2014 году, Zc = 26,7 – в 2015 году). Остальные участки – ТП2 (Zc = 2,7 – в 2014 году, Zc = 2,2 – в 2015 году), ТП3 (Zc = 10,5 – в 2014 году, Zc = 10,0 – в 2015 году), ТП4 (Zc = 11,2 – в 2014 году, Zc = 9,6 – в 2015 году), ТП5 (Zc = 8,3 – в 2014 году, Zc = 7,9 – в 2015 году), имеют пределы допустимого загрязнения.

Таким образом, выявлено, что наибольший вклад в загрязнение ТПО исследуемых участков вносят элементы медь, свинец. Определены наиболее высокие значения Zc для ТПО ТЭЦ-2, наименьшие для – ТЭЦ-1, что согласуется с уровнем мощности данных предприятий, возможностью более удаленного выброса веществ (с высотой трубы).

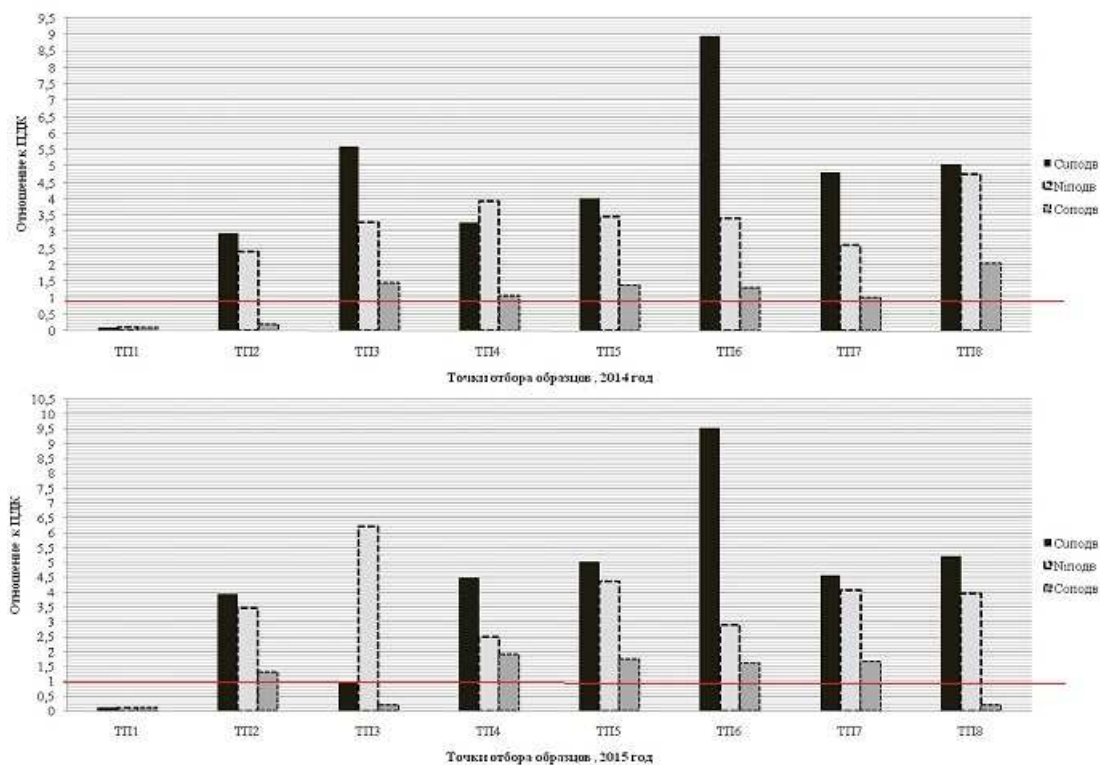


Рис. 5. Отношение к ПДК содержания подвижных форм меди, никеля и кобальта (ТМ 2 класса опасности) в ТПО Красноярской агломерации

#### Выводы:

1. В ТПО Красноярской агломерации содержание валовых форм ТМ 1 класса опасности (Pb, Cd, Zn) не превышает уровень ПДК, за исключением зоны влияния выбросов ТЭЦ-2. Превышение ПДК свинца зарегистрировано в 100м и 500 м от точки выброса; цинка – в 1000 м от источника загрязнения. Концентрация валовых форм ТМ 2 класса опасности (Cu, Co, Ni) в большинстве точек находится в пределах нормы, а в 100 м от выбросов ТЭЦ-1, 100 м и 500 м ТЭЦ-2 накопление элементов-токсикантов превышает допустимое по кобальту – у ТЭЦ-1, по меди – у ТЭЦ-2.

2. Установлено превышение уровня ПДК подвижных форм металлов 1 и 2 классов опасности на всех участках кроме фонового. Наиболее высокие концентрации характерны для свинца, меди, никеля и частично для цинка.

3. По годам исследования содержание валовых и подвижных форм ТМ в районах исследования не имело отличий.

4. Оценка состояния ТПО по Zс с учетом валовых форм ТМ показала уровень допустимого загрязнения в точках отбора образцов Центрального парка, территории, прилегающей к ТЭЦ-1 и повышение до умеренного загрязнения в районе ТЭЦ-2.

Выявленные различия в степени превышения ПДК подвижных и валовых форм ТМ диктуют необходимость разработки системы оценки загрязнения почвенного покрова с

учетом не только валовых, но также и подвижных форм ТМ. Следовательно, основные задачи дальнейших исследований – это разработка дополнительных критериев оценки состояния урбаземов.

### Список литературы

1. Геохимическое загрязнение почвенного покрова пригородных зон городов Красноярского края и республики Хакасии и проблема экологической безопасности населения / В.Н. Горбачев, В.П. Атурова, Р.М. Бабинцева и др. // Проблемы использования и охраны природных ресурсов Центральной Сибири/ Краснояр. науч.-исслед. ин-т геологии и минерал. сырья. – Красноярск, 2000. – Вып. 2. – С. 89-95.
2. Гигиенические нормативы 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. – Введ. 2006–01–04. – М.: Изд-во стандартов, 2006. – 11 с.
3. ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа – Введ. 1986–01–01. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 8 с.
4. Давыдова С.Л. Тяжелые металлы как супертоксиканты XXI века / С.Л. Давыдова, В.И. Тагасов: учеб. пособие. – М., 2002. – 140 с.
5. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение / В.Б. Ильин. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. – 151 с.
6. Классификация и диагностика почв России / Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева [и др.]. – Смоленск: Ойкумена. – 2004. – 342 с.
7. Панин М.С. Экология почв / М.С. Панин. – Алматы. – Раритет, 2008. – 520 с.
8. Протасов В.Ф. Экология: Законы, кодексы. Экологическая доктрина, Киотский протокол, нормативы, платежи, термины и понятия. Экологическое право / В.Ф. Протасов. – М.: Финансы и статистика, 2005. – 380 с.
9. Хлебопрос Р.Г. Красноярск. Экологические очерки: монография / Р.Г. Хлебопрос, О.В. Тайсенко, Ю.Д. Иванова [и др.]. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2012. – 130 с.