

УДК 574.24

Пылевые выбросы промышленных предприятий и рекомендации по снижению загрязнения ТМ в почве (на примере модельного опыта)

Аскарова Д.А.¹, Глебов В.В.²

¹Российский университет дружбы народов имени П. Лумумбы

²Институт проблем управления имени В.А. Трапезникова РАН

Аннотация

В статье приведены результаты исследований по изучению влияния пылевых выбросов промышленных предприятий на уровень химического загрязнения темно-каштановых почв. Изучение динамики среднегодовых концентраций загрязнения воздуха г. Усть-Каменогорск по данным Экологического бюллетеня Республики Казахстан за 2014-2020 гг. выявили высокие концентрации оксида углерода, оксида азота, диоксида серы и хлора в 2014 г., которые в последующие года снижались (по данным среднегодовых показателей концентрации углерода, оксида азота), за исключением диоксида серы и хлора. В последующие года (2015-2020) по показателям диоксида серы и хлора был выявлен тренд снижения, хотя они были на достаточно высоких уровнях по сравнению с другими поллютантами.

Анализ полученных данных в ходе исследования показал, что искусственное загрязнение фоновой почвы технологической пылью металлургического комбината в дозах от 0,5 до 5 масс.% существенно повышает валовое содержание ТМ в почве: Си – в 2-146; Zn – в 2,7-2510 раза (фон. почва 35,0 мг/кг); Pb – в 1,84-139,6 раза (фон. почва 22,0 мг/кг), Cd – в 65,8-9412,3 раза (фон. почва 0,73 мг/кг), а также соответствовало ПДК в почве по Клоке: 1,65-23,4 ПДК_{Си}, 1,1-29,3 ПДК_{Zn}, 1,27-95,98 ПДК_{Pb} и 16,0-2290,33 ПДК_{Cd}.

Ключевые слова: ПЫЛЕВЫЕ ВЫБРОСЫ, ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ, ПОЧВА, ХИМИЧЕСКОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ, ПРОМЫШЛЕННЫЕ ПРЕДПРИЯТИЯ, МОДЕЛЬНЫЙ ОПЫТ, РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

Введение

Одной из основных проблем экологии в настоящее время является техногенное загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами (ТМ). Пылевые выбросы

промышленных предприятий – один из основных путей химического загрязнения окружающей среды [1, 2].

Комплексное изучение воздействия пылевых выбросов на окружающую среду вообще и на выращиваемые сельхозкультуры Восточного Казахстана, представляет большой научный интерес как в теоретическом, так и в практическом отношении. Исходя из этого, целью нашей работы явилось выявление уровня негативного воздействия пылевых выбросов промышленных предприятий и возможные пути по снижению загрязнения тяжелых металлов в почве [3].

Объекты и методы

Объектом исследования стали темно-каштановые почвы, образцы которых были отобраны в Восточно-Казахстанской области вдали от загрязненных участков. Анализ на физико-химические свойства почвы проводили по ГОСТ 28168-89 Почвы. Отбор проб и ГОСТ 5681-84 Полевые исследования почвы. Порядок и способ определения работ [4, 5]. Основные требования к результатам, буферную емкость почв – по градации В.Б. Ильина [6].

По агрохимическим показателям исследуемая темно-каштановая почва имела следующие показатели: нейтральная (рН 7,1), содержание органического вещества Сорг 2,48%, среднесуглинистая (содержание физической глины – 35,2%, илистой фракции – 20,6%), ЕКО – 19,2 мг-экв./100 г., буферная емкость – средняя, почва хорошо обеспечена подвижными формами фосфора и калия: 10–15 и 27–37 мг на 100 г почвы соответственно. Плотность почвы в пределах от 1,23 до 1,58 г/см³. Общая порозность почвенного слоя невысокая – <50%. Валовое содержание исследуемых ТМ (мг/кг) в исходной почве следующее: Zn – 35,3±1,7; Pb – 22,3±1,4; Cu – 17,3±1,2; Cd – 0,67±0,06, что соответствует фоновому уровню для среднесуглинистых темно-каштановых почв данного региона.

В качестве загрязнителей были выбраны пылевые выбросы предприятия «Усть-Каменогорский металлургический комбинат ОАО «Казцинк», пробы взяты с фильтров.

Почву искусственно загрязняли в дозах 0,1; 0,5; 1,5; 10 и 15 масс. % на с.в. образцов пыли, в виде воздушно-пылевой массы.

Валовое содержание таких химических элементов как медь, цинк, свинец, кадмий в анализируемых образцах пыли, загрязнённой и фоновой почвы, в органах тест-растений определяли фотокolorиметрическим дитизионовым методом по рекомендациям Г.Я.

Ринькиса [7] на спектрофотометре марки СФ-2000. Достоверность различий между вариантами опыта оценивали при помощи t -критерия Стьюдента на уровне значимости $p < 0,05$. Повторность опытов – трехкратная.

Результаты и обсуждение

Важно отметить, что Восточно-Казахстанская область (ВКО) считается наиболее индустриально развитым регионом Республики Казахстан, где сформировалась антропогенная биогеохимическая провинция, площадью более 20 тыс. км², которая постепенно расширяется [8, 9].

В процессе анализа данных по загрязнению атмосферного воздуха г. Усть-Каменогорска (Восточно-Казахстанской области Республики Казахстан), согласно данным Информационного бюллетеня о состоянии окружающей среды Республики Казахстан за 2007-2020 гг. [10], рассчитаны среднегодовые концентрации загрязнения атмосферного воздуха (рис. 1) за период с 2014 по 2020 гг. по индексу загрязнения атмосферы (ИЗА).

Индекс суммарного загрязнения. Анализ данных атмосферного загрязнения воздуха по годам (рис. 1) показал динамику снижения суммарного загрязнения: ИЗА Усть-Каменогорска в 2014 году составил 10,4 (высокий уровень), а в 2016 году снизился до 6 согласно данным Информационного бюллетеня о состоянии окружающей среды Республики Казахстан за 2007-2020 гг. [10].

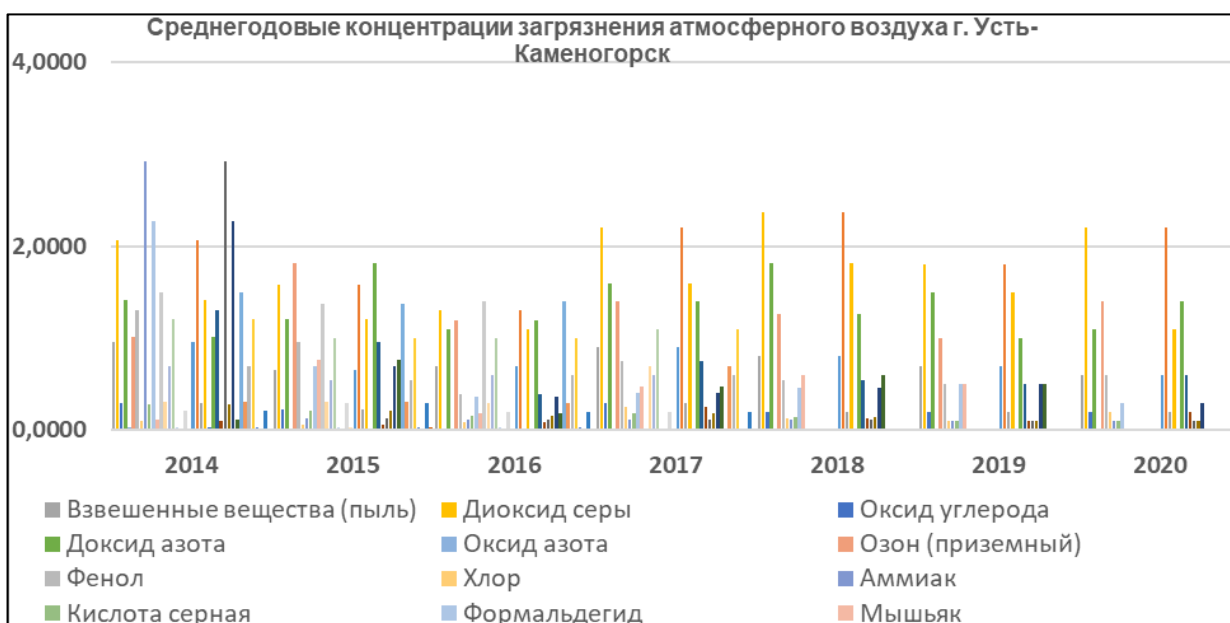


Рис. 1. Динамика среднегодовых концентраций загрязнения воздуха г. Усть-Каменогорск по данным Экологического бюллетеня Республики Казахстан за 2014-2020 гг. [9, 10]

Из рис. 1 можно видеть достаточно высокие концентрации оксида углерода, оксида азота, диоксида серы и хлора в 2014 г. Затем наблюдается снижение среднегодовых показателей концентрации углерода, оксида азота, за исключением диоксида серы и хлора, показатели которых также показали падение, но были на достаточно высоких уровнях по сравнению с другими поллютантами (табл. 1, 2).

Таблица 1. Концентрация загрязняющих веществ в снеговом покрове Восточно-Казахстанской области за 2018-2020 гг. [9, 10].

Восточно-Казахстанская область	2018 г.	2019 г.	2020 г.
Гидрокарбонаты	28,61	35,08	38,69
Сульфаты	15,01	15,66	21,41
Ионы кальция	10,54	10,88	16,16
Хлориды	6,27	4,82	7,04
Ионы натрия	3,97	3,00	5,74
Нитраты	2,33	1,67	3,97
Ионы калия	2,06	2,13	2,79
Ионы магния	1,41	2,07	2,89
Ионы меди	0,00	0,00	8,09
Ионы аммония	0,00	1,45	0,00

Оценка сезонного содержания тяжелых металлов по годам (2018-2020):

Сезонное содержание ТМ по годам (2018-2020) представлена в табл. 2.

Таблица 2. Среднегрупповые показатели концентрации ТМ, превышающие ПДК, в разных районах г. Усть-Каменогорска (Восточно-Казахстанская область), согласно данным Информационного бюллетеня о состоянии окружающей среды Республики Казахстан за 2007-2020 гг. [10].

Период года	2018 г.				2019 г.				2020 г.				Расстояние от ТОО «Казцинк»
	ТМ, ПДК												
	Cu	Zn	Pb	Cd	Cu	Zn	Pb	Cd	Cu	Zn	Pb	Cd	
Весна	5,3	22,2	19,8	28,6	-	21,9	7,7	-	3,6	19,1	8,6	-	1 км
	1,8	1,3	8,4	8,4	1,5	9,9	6,5	-	2,5	8,1	5,2	-	3 км на ЮЗ
Осень	8,2	24,7	16,7	22,0	25,2	30,6	121,1	-	46,0	30,6	27,7	-	1 км
	1,6	9,9	9,6	17,1	2,5	13,3	10,1	-	3,6	13,9	5,2	-	3 км на ЮЗ

Примечание: "-" – не превышает ПДК.

Из табличных данных, взятых из «Информационного бюллетеня о состоянии окружающей среды Республики Казахстан за 2007-2020 гг.» [10] можно отметить общий тренд снижения тяжелых металлов по ПДК.

Так в *весенний* период в зависимости от расстояния от металлургического завода

«Казцинк» (1, 3 км) в юго-западном направлении (преобладающем направлении розы ветров) в течение 3-х лет (с 2018-2020) наблюдается разнонаправленные тенденции (снижение и рост) содержания ПДК по некоторым ТМ в отобранных пробах почв (в порядке убывания):

- по кадмию 28,6 ПДК (2018) и отсутствие превышения ПДК по кадмию в 2019-2020 гг.;
- по цинку - 22,2 ПДК (2018), 21,9 ПДК (2019) ↓ и 19,1 ПДК (2020) ↓;
- по свинцу - 19,8 ПДК (2018), 7,7 ПДК (2019) ↓ и 8,6 ПДК (2020) ↑;
- по меди - 5,3 ПДК (2018), отсутствие превышения ПДК (2019) ↓ и 3,6 ПДК ↑ (2020) ;

Схожая тенденция по загрязнению ТМ отмечалась в весенний период при определении ПДК в 3-х км. от металлургического завода:

- по кадмию 8,4 ПДК (2018) и отсутствие превышения ПДК по кадмию в 2019 - 2020 гг. ↓;
- по свинцу - 8,4 ПДК (2018), 6,5 ПДК (2019) ↓ и 5,2 ПДК (2020) ↓;
- по меди - 1,8 ПДК (2018), 1,5 ПДК (2019) ↓ и 2,5 ПДК (2020) ↑ ;
- по цинку - 1,3 ПДК (2018), 9,9 ПДК (2019) ↑ и 8,1 ПДК (2020) ↓;

В *осенний* период в зависимости от расстояния от металлургического завода «Казцинк» (1, 3 км) в юго-западном направлении в течение 3-х лет (с 2018-2020) наблюдался как рост, так и падение ПДК по исследуемым ТМ в отобранных пробах почв. Так при расстоянии 1 км от ТОО «Казцинк» показатели по ПДК были следующие:

- по кадмию 22,0 ПДК (2018) и отсутствие превышения ПДК по кадмию в 2019-2020 гг. ↓;
- по цинку - 24,7 ПДК (2018), 30,6 ПДК (2019) ↑ и 30,6 ПДК (2020);
- по свинцу - 16,7 ПДК (2018), 121,1 ПДК (2019) ↑ и 27,7 ПДК (2020) ↓;
- по меди - 8,2 ПДК (2018), 25,2 ПДК (2019) ↑ и 46 ПДК (2020) ↑;

При оценке среднегрупповых показателей концентрации ТМ, превышающие ПДК, в разных районах г. Усть-Каменогорска на расстоянии 3 км от ТОО «Казцинк» были получены следующие данные по:

- кадмию 17,1 ПДК (2018) и отсутствие превышения ПДК по кадмию в 2019-2020 гг.;
- свинцу - 9,6 ПДК (2018), 10,1 ПДК (2019) ↑ и 5,2 ПДК (2020) ↓;
- меди - 1,6 ПДК (2018), 2,5 ПДК (2019) ↑ и 3,6 ПДК (2020) ; ↑
- цинку - 9,9 ПДК (2018), 13,3 ПДК (2019) ↑ и 13,9 ПДК (2020) ↑;

Как показали результаты наших исследований (табл. 3) общее содержание кадмия в исследуемой пыли составляет 15666,7 ПДК в почве; свинца – 639,1 ПДК; цинка – 194,4 ПДК и меди – 156 ПДК.

Таблица 3. Валовое содержание ТМ в пылевых выбросах, мг/кг

Элемент	Валовое содержание ТМ в свинцово – цинковом комбинате	ПДК по Клоке	Кларк в литосфере (А.П. Виноградов, 1957)	ПДК Казахстана (Приказ Министерства здравоохранения и Министерства охраны окружающей среды Республики Казахстан за № 602 от 28 декабря 2004г.)
Cu	15600±0,5	100	47,0	33
Zn	58330±0,7	300	83,0	23
Pb	20450±0,6	32,0	16,0	32
Cd	47000±0,8	3,00	0,13	0,5

Среднее валовое содержание ТМ в анализируемой пыли выше их кларка в литосфере и почве: меди – в 331,9 и 780 раз соответственно, цинка – в 702,8 и 1166,6 раз, свинца – в 1278,13 и 2045 раз и кадмия – в 361583,5 и 94 тысячи раз соответственно.

Анализ полученных данных по искусственному загрязнению фоновой почвы технологической пылью комбината в дозах от 0,5 до 5 масс.% показал, что валовое содержание ТМ в почве повысилось существенно: Cu – в 2-146; Zn – в 2,7-2510 раза (фон.почва 35,0 мг/кг); Pb – в 1,84-139,6 раза (фон.почва 22,0 мг/кг), Cd – в 65,8-9412,3 раза (фон.почва 0,73 мг/кг), а также соответствовало ПДК в почве по Клоке: 1,65-23,4 ПДК_{Cu}, 1,1-29,3 ПДК_{Zn}, 1,27-95,98 ПДК_{Pb} и 16,0-2290,33 ПДК_{Cd}.

Наши данные согласуются с исследованиями Перегудина Е.В., Ляпина Е.Е., Барановская Н.В. (2023), где изучались эколого-геохимические особенности ртутной нагрузки на территории юга западной Сибири [11] и данными монографии Дабахова, М.В., Дабаховой, Е.В., Титова, В.И. [12], где оценивалось механизмы воздействия ТМ на биосистемы различного иерархического уровня: организм-популяция-сообщество-экосистема.

Полученные результаты позволили сформулировать рекомендации для специалистов агропромышленного комплекса и фермерским хозяйствам.

Рекомендации

Мероприятия, рекомендуемые к применению на загрязненных тяжелыми металлами

почвах, можно разбить на две группы

Первая группа, необходимая на землях сельскохозяйственного назначения, направлена на снижение подвижности ТМ в почвах. Она включает в себя известкование, внесение минеральных и органических удобрений, искусственных и природных сорбентов. Данные приемы применяются как по отдельности, так и в комплексе.

Вторая группа мероприятий, рекомендуемая для земель в пределах населенных пунктов, не используемых в сельскохозяйственных целях, включает в себя *промывку почв, замену загрязненного грунта на привозной*. Однако это целесообразно на почвах с чрезвычайно высоким уровнем загрязнения. Чаще всего можно ограничиться мерами по предохранению почв от деградации: *созданием и сохранением зеленых зон, газонов и других видов территорий с зеленым покровом*.

Заключение

Изучение динамики среднегодовых концентраций загрязнения воздуха г. Усть-Каменогорск по данным Экологического бюллетеня Республики Казахстан за 2014-2020 гг. выявили высокие концентрации оксида углерода, оксида азота, диоксида серы и хлора в 2014 г., которые в последующие года снижались (среднегодовые показатели концентрации углерода, оксида азота), за исключением диоксида серы и хлора. В последующие года (2015-2020) по показателям диоксида серы и хлора был выявлен тренд по снижению, хотя они были на достаточно высоких уровнях по сравнению с другими поллютантами.

Анализ полученных данных в ходе исследования показал, что искусственное загрязнение фоновой почвы технологической пылью металлургического комбината в дозах от 0,5 до 5 масс.% существенно повышает валовое содержание ТМ в почве: Cu – в 2-146; Zn – в 2,7-2510 раза (фон. почва 35,0 мг/кг); Pb – в 1,84-139,6 раза (фон. почва 22,0 мг/кг), Cd – в 65,8-9412,3 раза (фон. почва 0,73 мг/кг), а также соответствовало ПДК в почве по Клоке: 1,65-23,4 ПДК_{Cu}, 1,1-29,3 ПДК_{Zn}, 1,27-95,98 ПДК_{Pb} и 16,0-2290,33 ПДК_{Cd}.

Список использованных источников:

1. Askarova, D.A., Glebov, V.V., Shevtsov, V.V. Environmental monitoring of metallurgical plant emissions in the conditions of the East Kazakhstan region //В сборнике: Fundamental basis of biogeochemical technologies and prospects of their application in nature protection, agriculture and medicine. 2021. - С. 471-474.

2. Аскарова, Д.А., Панин, М.С., Глебов, В.В. Экологическая оценка состояния темно – каштановых почв при воздействии пылевых выбросов промышленных предприятий в Восточно – Казахстанской области / Д.А. Аскарова, В.В. Глебов, М.С. Панин // монография – Москва, РУДН, 2018. - 169 с

3. Perelomov, L., Gertsen, M., Burachevskaya, M., Hemalatha, S., Vijayalakshmi, A., Perelomova, I., Atroshchenko, Yu. Organoclays based on bentonite and various types of surfactants as heavy metal remediants // Sustainability. 2024. Т. 16. № 11. - С. 4804.

4. ГОСТ 28168-89 Почвы. Отбор проб. – М.: Изд-во стандартов, 1989.

5. ГОСТ 5681-84 Полевые исследования почвы. Порядок и способ определения работ. Основные требования к результатам. – М.: Изд-во стандартов, 1984.

6. Ильин, В.Б. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области / В.Б. Ильин, А.И. Сысо. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. – 229 с.

7. Ринькис, Г.Я Методы анализа почв и растений / Г.Я. Ринькис, Х.К. Рамане, Т.А. Куницкая. – Рига: Зинатне, 1987. – 174 с.

8. Садыков, И.К. Анализ и оценка экологического состояния Восточно-Казахстанской области // Международный научный журнал «Вестник науки» № 4 (73) Том 3. 2024. - С. 717-726.

9. Ежемесячный информационный бюллетень о состоянии окружающей среды Республики Казахстан <https://www.kazhydromet.kz/ru/ecology/ezhemesyachnyy-informacionnyy-byulleten-o-sostoyanii-okruzhayuschey-sredy> [Электрон. ресурс] (Дата обращения 10.11.2024)

10. Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды Республики Казахстан. Министерство экологии, геологии и природных ресурсов РГП "Казгидромет", Департамент экологического мониторинга, 2020 выпуск №3 (29). - 319 с.

11. Перегудина, Е.В., Ляпина, Е.Е., Барановская, Н.В. Эколого-геохимические особенности ртутной нагрузки на территорию юга западной Сибири // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2023. Т. 334. № 12. - С. 65-75.

12. Дабахов, М.В., Дабахова, Е.В., Титова, В.И. Тяжелые металлы: экотоксикология и проблемы нормирования. Монография. — Н. Новгород: Изд-во ВВАГС, 2005. — 165 с.

Цитирование:

Аскарова Д.А., Глебов В.В. Пылевые выбросы промышленных предприятий и рекомендации по снижению загрязнения ТМ в почве (на примере модельного опыта) [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2025. – № 1. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2025/1/st_107.pdf
DOI: <https://doi.org/10.51419/202151107>.