

Свердловское областное отделение общественной организации международной
академия наук экологии, безопасности человека и природы

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

Институт экономики УрО РАН

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ РЕГИОНОВ

**Труды IV Международной научно-практической
конференции**

Екатеринбург

2016

УДК 330.15:622

Ответственный редактор: д.г.-м.н., профессор Семячков А.И.

Рецензент: д.г.-м.н., профессор Болтыров В.Б.,

Экологическая и техносферная безопасность горнопромышленных регионов: Труды IV Международной научно-практической конференции 7 апреля 2016 / Отв. редактор Семячков А.И. – Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2016. – 464 с.

В сборнике трудов представлены результаты авторских исследований по экологии как науке о взаимодействии природы и общества, а также техносферной безопасности – науки рассматривающей вопросы обеспечения безопасности человека в современном мире.

Публикуемые материалы могут предоставить интерес для студентов, аспирантов, профессорско-преподавательского состава вузов, реализующих программы высшего профессионального образования в области экологии, природопользования и техносферной безопасности, а также для специалистов науки и производства горнопромышленного комплекса.

УДК 330.15:622

© Уральский государственный
горный университет, 2016

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ОТ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

ELECTROCHEMICAL REMEDIATION OF URBANIZED TERRITORIES FROM HEAVY METALS

Романова И.В., Королев В.А.

Romanova I.V., Korolev V.A.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,

Ключевые слова: электрохимическая очистка, восстановление территорий, загрязнение, тяжелые металлы

Аннотация: В докладе приводятся результаты исследований электрохимической миграции ионов тяжелых металлов (меди и цинка) в постоянном электрическом поле для очистки грунтов. Целью работы является выявление закономерностей и установление пригодности данного метода для восстановления загрязненных территорий. По результатам исследований сделан вывод об эффективности применяемого метода для очистки грунтов от тяжелых металлов.

Abstract: This article illustrates the results of research of electrochemical migration of heavy metals in the current electric field. The purpose of this work was to identify the patterns of the electrochemical migration and establishing the applicability of this method for remediation of territories from polluted territories. As a conclusion, the results illustrate that electrochemical remediation is an effective method for cleaning of soil from pollution by heavy metals.

Одна из актуальных проблем современности связана с загрязнением окружающей среды. Среди часто встречаемых загрязнителей урбанизированных территорий - тяжелые металлы (ТМ), поступающие из разных источников, в основном, от промышленных предприятий и транспорта [1,2].

Существует множество способов очистки грунтов от загрязнителей: от самых простых (механическая выемка и перевозка загрязненного грунта) до наиболее технически сложных (промывка грунтов растворами, очистка с помощью электрического поля, микроорганизмов и т.д.). Однако восстановление загрязненных территорий в условиях городской застройки сталкивается с определенными сложностями, которые обусловлены плотностью застройки и невозможностью в ряде случаев удалять загрязненные грунты путем экскавации. Поэтому для урбанизированных территорий на первый план

выдвигаются методы очистки грунтов *in situ*, т.е. на месте без выемки и перемещения загрязненного грунта.

При этом выделяется несколько подходов для борьбы с загрязнением: 1) собственно *очистка*, предполагающая непосредственное извлечение токсиканта из грунта; 2) *детоксикация* загрязнителя, заключающаяся, например, в нейтрализации токсичных соединений и 3) *локализация* загрязнения в грунтовом массиве с помощью создания защитных экранов [1]. Рассматриваемый нами метод электрохимической очистки предполагает как раз именно выведение загрязнения из массива согласно первому подходу, т.е. очистку грунтов *in situ*.

Для обоснования промышленных технологий очистки городских территорий от ТМ электрохимическим способом нами были выполнены лабораторные исследования. Они проводились на образцах моренного суглинка, в которые вносилось известное количество меди и цинка для имитации соответствующего загрязнения. Исследования проводились в электроосмотической ячейке проточного типа (рис.1). Полученная грунтовая паста закладывалась в трубку (1), закрываемую с обеих торцов фильтровальной бумагой (7); с помощью уплотнительных колец трубка заключалась между анодной и катодной камерами с соответствующими электродами (4) и трубками для отвода газа (3). При этом к анодной камере организовывается подток воды (6), а от катодной – отвод фильтрата (5). К образцу прикладывается электрическое поле; при этом, сила тока поддерживалась постоянной 10 мА.

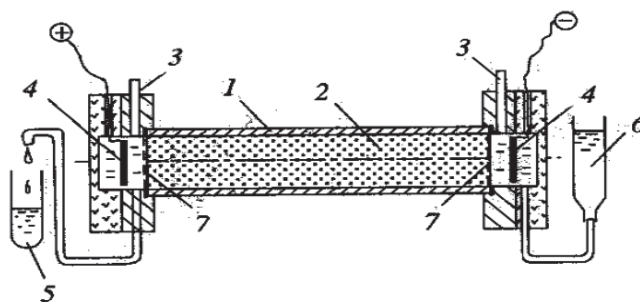


Рисунок 1 - Схема прибора для испытаний в проточном режиме

1 – трубка, 2 – грунт, 3 – трубка для отвода газов, 4 – платиновые электроды, 5 – емкость для сбора фильтрата, 6 – сосуд для промывочной жидкости (воды), 7 – бумажные фильтры

После окончания опыта образец грунта извлекался из трубки и разрезался на 5 равных частей, в каждой из которых определялось содержание ТМ на приборе «СПЕКТРОСКАН МАХ-GV» рентгенофлуорисцентным методом. Результат анализа представляется в виде таблицы со значениями валовых концентраций элементов или их соединений в анализируемой пробе. По результатам испытаний строились графики перераспределения изучаемого металла по длине образца в результате электрокинетической обработки в координатах: $C_i/C_0 = f(l/l_0)$, где C_i – концентрация элемента после очистки, C_0 – начальная концентрация элемента в образце до электрокинетической обработки, l – расстояние от анода; l_0 – длина всего образца.

Очистка грунта от меди. Перераспределение меди оценивалось в четырех сериях опытов: при естественном уровне содержания меди и цинка, при внесении меди, при внесении цинка и при совместном внесении меди и цинка. В каждой серии было проведено два опыта. Результаты в абсолютных концентрациях представлены в таблице 1, а в относительных – в таблице 2.

Таблица 1

Содержание меди (мг/кг) в образцах до и после электрокинетической обработки

Опыт		Исходная концентрация, C_0 , мг/кг	Концентрация в образце после обработки C_i , мг/кг				
№	Условия		Относительное расстояние от анода l/l_0				
			0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
1	Без внесения загрязнения	45,96	43,20	39,78	43,58	48,21	63,86
2		46,14	41,06	41,99	44,29	50,31	56,75
3	С внесением Cu	55,52	49,70	45,88	48,37	54,95	74,29
4		54,98	47,83	46,73	50,03	59,38	72,02
5	С внесением Zn	42,53	35,26	36,52	40,30	46,63	63,84
6		42,31	34,27	35,54	38,93	47,39	64,73
7	С внесением Cu и Zn	51,74	44,87	41,89	45,90	52,72	73,96
8		52,03	43,18	44,23	48,39	56,71	70,76

Таблица 2

Относительная концентрация меди в образце после электрокинетической обработки

Опыт		Относительная концентрация в образце после обработки C_i/C_0 , мг/кг				
№	Условия	Относительное расстояние от анода l/l_0				
		0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
1	Без внесения загрязнения	0,94	0,87	0,93	1,05	1,39
2		0,89	0,91	0,96	1,09	1,23
3	С внесением	0,90	0,83	0,87	0,99	1,34

4	Cu	0,87	0,85	0,91	1,08	1,31
5	С внесением	0,83	0,86	0,95	1,10	1,50
6	Zn	0,81	0,84	0,92	1,12	1,53
7	С внесением	0,87	0,81	0,89	1,02	1,43
8	Cu и Zn	0,83	0,85	0,93	1,09	1,36

Результаты оценки электрохимического перераспределения ТМ в грунтах представлены на рис. 2. Как видно, все графики имеют восходящую форму, что согласуется с теоретическими представлениями об электрохимической миграции ионов тяжелых металлов в грунтах – их концентрация в анодной зоне уменьшается, а в катодной – увеличивается [3]. Направление повышения концентрации совпадает с направлением электроосмотического потока влаги.

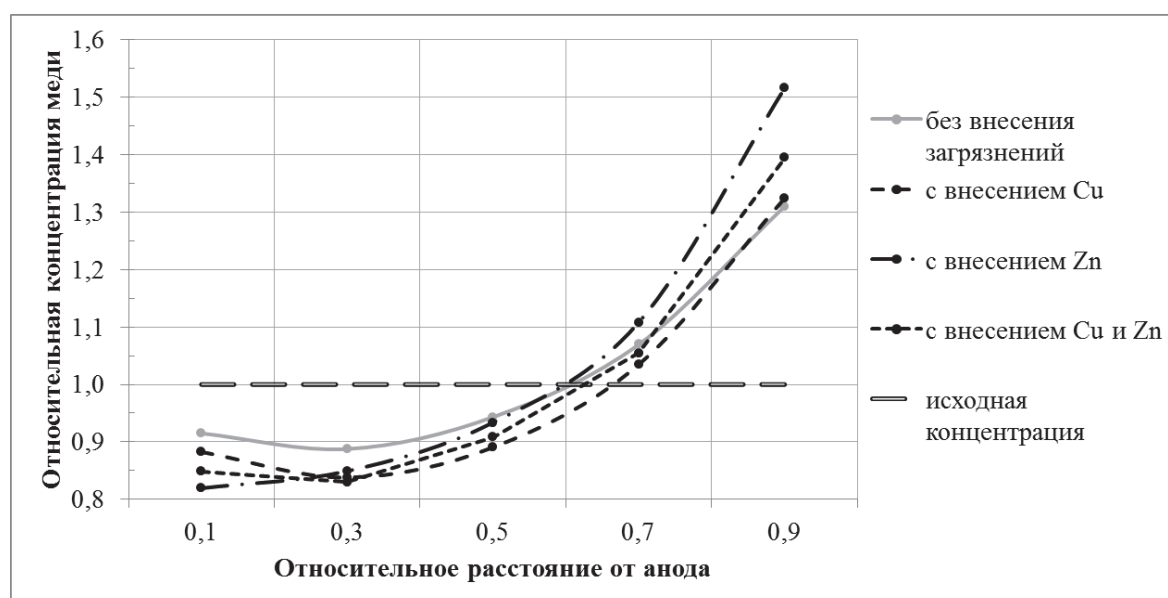


Рисунок 2 - Электрохимическое перераспределение меди по длине образца грунта

Сравнивая графики перераспределения меди для различных опытов, можно сделать вывод о том, что присутствие в грунте цинка интенсифицирует процесс перераспределения меди в грунте. Для примера приведем цифры, соответствующие относительным концентрациям (C/C_0) в анодной зоне: в случае естественного уровня содержания меди и цинка эта величина составляет 0,91; в случае привнесения в грунт меди – 0,88; меди совместно с цинком – 0,85 и 0,82 в случае привнесения в грунт только цинка. Обратная закономерность прослеживается в катодной зоне: в этой части образца концентрация выше всего наблюдалась в опытах с использованием раствора цинка ($C_i/C_0 = 1,52$),

ниже – с использованием смеси растворов меди и цинка (1,39), и примерно на одном уровне концентрация осталась в опытах с использованием раствора меди (1,32) и дистиллированной воды (0,31).

Таким образом, можно сделать заключение о миграции меди в процессе электрохимического перераспределения по образцу: 1) чем больше концентрация меди, тем интенсивнее идет ее перераспределение; 2) в присутствии цинка наблюдается еще большая интенсификация процесса перераспределения меди, причем, чем больше концентрация цинка, тем активнее мигрирует медь из анодной зоны в катодную; 3) электрохимическая очистка является весьма эффективным методом очистки грунтов от меди.

Очистка грунта от цинка. Перераспределение цинка также оценивалось в четырех сериях опытов: при естественном уровне содержания меди и цинка, при внесении меди, при внесении цинка и при совместном внесении меди и цинка. В каждой серии было проведено по два опыта. Результаты опытов приведены в табл.3, содержащей относительные концентрации (C_i/C_0) цинка в грунте после обработки и данные о концентрации цинка в образцах до опыта.

Таблица 3

Содержание цинка (мг/кг) в образцах до электрокинетической обработки и относительная концентрация цинка в образце после испытания

пыт		Исходная концентрация, C_0 , мг/кг	Относительная концентрация в образце после обработки C_i/C_0				
			Относительное расстояние от анода l/l_0				
№	Условия		0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
1	Без внесения загрязнений	47,24	0,49	0,52	0,94	0,95	1,80
2		47,16	0,53	0,58	0,83	1,03	1,67
3	С внесением Cu	42,18	0,58	0,58	1,10	1,22	1,79
4		42,24	0,52	0,65	1,05	1,27	1,69
5	С внесением Zn	62,54	0,46	0,50	0,85	1,09	1,99
6		62,43	0,42	0,54	0,91	1,13	1,82
7	С внесением Cu и Zn	54,86	0,43	0,52	0,98	1,12	2,00
8		54,79	0,51	0,44	1,04	1,16	1,84

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод о том, что цинк проявляет себя как более активный мигрант в электрическом поле, чем медь. Относительные концентрации его в анодной части (C_i/C_0) колеблются от 0,42

до 0,58 – иными словами, концентрация здесь становится вдвое меньше относительно исходной; концентрация (C_i/C_0) в катодной зоне изменяются в интервале от 1,67 до 2, т.е. концентрация здесь увеличивается в полтора, а то и два раза по сравнению с начальной. Возрастание относительных концентраций от анодной зоны к катодной является нелинейным. Сравнивая результаты опытов для различных условий, можно сделать вывод о том, что присутствие в грунте избыточной (по отношению к естественному уровню) меди влияет на процессы перераспределения и удаления из грунта цинка. Так наименьшая относительная концентрация (C_i/C_0) цинка в анодной зоне наблюдается в опытах при наличии цинка (0,44), наибольшая – при наличии меди (0,55). Обратная ситуация наблюдается в катодной зоне: наибольшие концентрации наблюдаются для случаев привнесения в грунт цинка (1,91) и цинка с медью (1,92); наименьшие – для случая привнесения меди (1,74) и использования исходного грунта (1,73).

По сравнению с опытами 1-2, где анализировался исходный грунт, перераспределение цинка в опытах 3-4 с привнесением меди идет более интенсивно; однако гораздо более активно цинк проявляет себя при наличии смеси ТМ. Тем не менее, концентрацию цинка в анодной зоне удалось уменьшить в среднем в два раза, что подтверждает тезис об эффективности данного метода и возможности его применения для очистки урбанизированных территорий от загрязнения.

Таким образом, можно заключить, что: 1) используемый метод очистки грунтов от тяжелых металлов позволяет уменьшить концентрацию цинка в среднем в 2 раза в зависимости от исходной концентрации, а меди – в 0,85; 2) для более эффективной очистки грунтов от меди необходимо использовать специальные промывочные растворы – анолиты; 3) в случае полиметаллического загрязнения грунтов наблюдается эффект синергизма и медь более активно выводится из анодной зоны; 4) в целом рассматриваемый метод высокоэффективен и может применяться для очистки урбанизированных

территорий от загрязнения тяжелыми металлами даже в условиях плотной городской застройки.

Список источников

1. *Королев В.А.* Очистка грунтов от загрязнений. - М.: МАИК «Наука / Интерпериодика», 2001. 365 с.
2. *Королёв В., Романова И.* Электрокинетические технологии для обеспечения экологической безопасности // Материалы Межд. научно-практ. конф. Комплексные проблемы техносферной безопасности (12 ноября 2014, Воронеж) Часть II. – Воронеж, ВГТУ. — ВГТУ Воронеж, 2014. — С. 180–184.
3. *Королёв В., Самарин Е., Шумкина Ю.* К вопросу об электрохимической миграции ионов в глинистых грунтах // Инженерные изыскания. 2012. № 12. С. 72–78.