

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПОЧВЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ  
ТЕХНОГЕННО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ УКРАИНЫ

И.В. Кураева

*Институт геохимии, минералогии и рудообразования им. Н.П. Семеново НАН Украины,  
пр. Палладина, 34, Киев-142 03680, Украина, e-mail: yuliasun86@mail.ru*

На основе изучения закономерностей распределения токсичных элементов в почвенных отложениях техногенно загрязненных территорий Украины, а также результатов экспериментальных и аналитических работ выбраны геохимические показатели, характеризующие экологическое состояние почв. Разработана структура банка данных информационно-справочной системы эколого-геохимической информации. Предложена методика построения эколого-геохимических карт с использованием технологии автоматизированной информационной системы.

**Ключевые слова:** почвенные отложения, тяжелые металлы, подвижные формы тяжелых металлов, потенциальная буферная способность почв, эколого-геохимическое картирование.

Украина, обладающая богатейшими природными ресурсами, относится к странам со сложной экологической обстановкой. Источниками поступления токсичных элементов в почву являются отходы и выбросы промышленных предприятий различного профиля, транспорта, а также другие антропогенные факторы, которые существенно изменяют природный фон содержания микроэлементов в почвах и влияют на их миграцию. Химическое загрязнение почв тяжелыми металлами в промышленных регионах Украины приобретает характер национального бедствия, содержание токсичных элементов в почвах таких городов, как Кривой Рог, Мариуполь, Горловка, Днепропетровск, Донецк, Запорожье, Алчевск, превышают фон в десятки и сотни раз [2, 5, 7, 8].

Анализ опыта европейских стран в проведении мониторинга почвенного покрова [9] дал возможность определить основные оптимальные параметры почв, а также создать наблюдательные полигоны исходя из природных и антропогенных условий исследуемых территорий. Вместе с тем освоение европейского опыта ведения почвенно-геохимического мониторинга требует модернизации программного, математического, инструментального и картографического обеспечения. Следует отметить, что основы почвенного экологического мониторинга были разработаны еще для территории СССР [3, 10], но в практику работ в Украине не внедрялись. В результате многолетних работ по изучению закономерностей распределения микроэлементов в природных и техногенных ландшафтах Украины, а также особенностей физико-химической миграции элементов в различных типах почв [3, 5, 10] удалось определить их основные эколого-геохимические показатели.

Основная задача данной работы – выбор геохимических параметров, характеризующих экологическое состояние почв, создание структуры банка эколого-геохимических данных, разработка принципов компьютерного картирования территорий под влиянием антропогенного загрязнения и на основе этого проведения эколого-геохимического мониторинга почвенных отложений.

**Методология и методы исследования.** Почвы представляют собой систему, химические составы которой находятся в постоянном взаимодействии под влиянием внутренних и внешних факторов геохимической миграции [11]. Химические элементы и их соединения сосредоточены в эффективных фазах почвы (почвенно-погложительный комплекс, почвенный раствор, почвенный воздух, первичные и вторичные минералы, почвенная биота). Взаимосвязь между этими фазами происходит через почвенный раствор путем комплексобразования, ионного обмена, осаждения, растворения, абсорбции и десорбции. Изучая закономерности распределения и особенности физико-химической миграции элементов в почвах, необходимо основываться на самых важных принципах системного исследования природных сред: целостность, связь, структура и организация, уровни системы и их иерархия, самоорганизация, функционирование и развитие.

**Объекты исследований** – почвообразующие породы, почвы, почвенные растворы, а также растительность, природные воды техногенно загрязненных территорий в различных ландшафтно-геохимических зонах Украины. Исследовательские полигоны выбраны по таким критериям: возможность оценки геохимического поведения элементов в различных ландшафтно-геохимических ус-

ловиях; стойкость к комплексу антропогенных факторов; информативность собранных геохимических данных. Отбор и подготовка проб к анализам выполнены по стандартным методикам [1].

Для решения поставленных задач использованы современные физические и химические методы исследований: эмиссионно-спектральный, атомно-абсорбционный, потенциометрический, рентгенофазовый и др. Формы нахождения микроэлементов в почвах определялись методом поэтапных вытяжек [6, 13].

Содержание валовых и подвижных форм микроэлементов в почвах определялось в Институте геохимии, минералогии и рудообразования им. Н.П. Семененко НАН Украины атомно-абсорбционным методом из растворов и твердой фазы в графитных кюветах на спектрофотометре КАС-115, "Сатурн". Чувствительность метода, мкг/л: Cu 0,08; Zn 0,05; Ni и Co 0,1. Относительная погрешность измерений зависела от концентрации металла в растворе и не превышала 10 %. Отдельные определения подвижных форм металлов выполнены с помощью приборов "Parkin-Elmer" модели 3030 (США) и фирмы "Hitarchy" модели 1800 (Япония). Миграционные формы металлов в почвенных растворах определялись по программе MINTEQA2. Картирование территорий по выбранным показателям осуществлялось с использованием технологии автоматизированной информационной системы (АИС) [5].

**Результаты исследования.** Организация и проведение почвенно-геохимического мониторинга прежде всего предполагают выбор показателей, отражающих комплексную эколого-геохимическую характеристику почв. Система показателей должна включать в себя вещественные, физико-химические и геохимические показатели. Кратко остановимся на их характеристике.

**Вещественные показатели.** Определение вещественного состава предусматривает минералогический анализ фракционного состава исследуемых почвенных отложений. При таком анализе устанавливаются закономерности поведения в почвах загрязняющих веществ в зависимости от минерального состава, прежде всего от содержания и состава глинистых минералов, свободных полуторных оксидов и органического вещества. Эти компоненты почв удерживают химические элементы в процессе ионного обмена, хемосорбции, осаждения, окклюзии. По максимальному насыщению микроэлементов минералы образуют убывающий ряд: гидроксид алюминия, бентонит, гидромусковит, каолинит. Прочность фиксации различных элементов различна. Например, монтмориллонит поглощает больше металлов, хотя имеет прочность их удерживания более низкую, чем каолинит. Поэтому определение минерального состава почвенных отложений необходимо при комплексном эко-

лого-геохимическом исследовании техногенно загрязненных почв, а также для проведения эколого-геохимического мониторинга.

**Физико-химические показатели.** К основным физико-химическим процессам, определяющим миграцию элементов в почвах, относятся комплексообразование, растворение, сорбция. В оценке степени загрязнения почв важно определение их потенциальной буферной способности (ПБС). ПБС характеризует способность почвы поддерживать определенный уровень концентрации элемента в почвенном растворе при дальнейшем поступлении его в растения с изменением внешних условий среды. Почва, буферная способность которой оказывается сниженной или полностью исчерпанной при попадании в нее больших доз вредных химических веществ, надолго или навсегда остается загрязненной. Для тестовых участков при региональном и глобальном мониторинге рекомендуется выбирать те почвы, в которых при равных поступлениях загрязняющих веществ извне содержание их в почвенном растворе будет увеличиваться быстрее. Такие почвы обладают низкой ПБС к исследуемым элементам. Почвы с высокой ПБС прочно фиксируют токсичные элементы. ПБС почв к загрязнению определяется составом и количеством органического вещества, глинистых минералов, кислотно-основными, ионообменными, окислительно-восстановительными свойствами.

ПБС – это оценка подвижности элемента в почвах, она определяется общим запасом его подвижных форм (фактор емкости) и концентрацией (фактор интенсивности) в почвенном растворе. Результаты исследований позволили рассчитать ПБС почв к загрязнению их токсичными микроэлементами [4, 5, 12]. Установлено, что увеличение ПБС относительно загрязнения металлами почвы составляет следующий ряд: светло-серые оподзоленные на лёссах < дерново-среднеподзолистые на кварцевых песках < каштаново-солонцеватые на тяжелых глинах < черноземы обычные на лёссах < черноземы на продуктах выветривания кристаллических пород < черноземы обычные на элювии песчаных сланцев. Выявлена зависимость между ПБС почв относительно загрязнения тяжелыми металлами и их физико-химическими свойствами (содержание глины, гумуса, емкость катионного обмена, рН почвенного раствора). Эта зависимость изучалась методом факторного анализа. Получена мультипликативная модель изменения ПБС почв в зависимости от их свойств и оценена степень их влияния. ПБС почв относительно загрязнения тяжелыми металлами возрастает с увеличением содержания в них глинистой фракции, почвенного гумуса, а также рН почвенного раствора. Однако степень влияния этих факторов разная: наиболее влияют рН почвенного раствора и содержание гумуса.

Показатель	Чернозем на элювии глинистых сланцев		Лугово-черноземные почвы	
	100 м	1500 м	100 м	1500 м
Содержание глины, %	32,2	42,3	23,4	30,5
Содержание гумуса, %	5,25	4,42	4,9	5,2
Сумма поглощенных катионов, моль/кг почв, $n \cdot 10^{-2}$	18,93	19,17	13,3	16,5
ПБС Cu	<u>3,2</u>	<u>4,2</u>	<u>2,3</u>	<u>2,9</u>
	8,9	21,3	7,2	11,2
ПБС Zn	<u>2,1</u>	<u>1,9</u>	<u>1,6</u>	<u>1,8</u>
	12,3	13,5	16,2	23,5

Примечание. Над чертой – ПБС загрязненной почвы, под чертой – фоновая ПБС.

Установлено, что ПБС техногенно загрязненных почв значительно ниже, чем почв, удаленных от источника загрязнения (см. таблицу).

Таким образом, в почвах техногенно загрязненных территорий количество тяжелых металлов в подвижной форме возрастает по сравнению с фоновыми, одновременно уменьшается их ПБС к загрязнению тяжелыми металлами.

*Геохимические показатели.* Как отмечалось выше, загрязнение почв достаточно уверенно можно оценить лишь в том случае, если известны не только валовые концентрации химических элементов, но и их формы, связанные с различными фракциями почв. Был проведен большой объем аналитических и опытно-методических работ, в том числе полный фазовый анализ почвенных отложений. Для каждого типа почв в зависимости от физико-химических особенностей и минерального состава предварительно были подобраны наиболее эффективные экстрагенты, извлекающие подвижные формы элементов [12].

Подвижные формы химических элементов определяют их миграционную способность в трофической цепи почва–растительность–животное–человек, что обусловлено прежде всего физико-химическими свойствами почв. Разработаны статистические модели зависимости содержания подвижных форм металлов от свойств почв [5]. Установлено, что в черноземах Украины подвижность кобальта и меди зависит от содержания почвенного гумуса, а цинка и никеля – от содержания глинистой фракции и кислотности почвенного раствора. В дерново-подзолистых почвах содержания подвижных форм кобальта и никеля имеют линейную корреляцию с кислотностью почвенного раствора, валовым содержанием цинка и меди, содержанием почвенного гумуса и глинистой фракции. В буроземах содержание подвижных форм цинка прямо зависит от содержания глинистой фракции и почвенного гумуса. На подвижность кобальта и никеля наи-

более влияет рН почвенного раствора. С повышением рН подвижность этих металлов увеличивается.

Установлено, что основные формы нахождения металлов в зональных типах почв Украины связаны с “остаточной фракцией”, почвенным гумусом и карбонатами. Отмечаются также обменные и легкорастворимые формы. В черноземах обычных на элювии песчаных сланцев и малогумусных на лессах содержание обменных и легкорастворимых форм исследованных элементов не превышает 10 % валового содержания, в то время как в почвенном гумусе содержится до 40,5 % кобальта, до 23,3 % цинка и только до 8 % никеля и меди. В черноземах солонцеватых на тяжелых глинах содержание обменных и легкорастворимых форм никеля (до 27,2 %) и кобальта (18,2 %) существенно возрастает, меди и цинка (8 %) – практически не изменяется.

В дерново-подзолистых почвах на кварцевых песках содержание цинка, кобальта и меди в обменной и легкорастворимой формах составляет 10 % от валового, а никеля – 23,2 %. Почвенный гумус содержит, %: Zn 12,3; Cu 48,2; Co 27,2; Ni 12,3.

В лугово-черноземных почвах на лессовидных суглинках преобладают металлы, связанные с почвенным гумусом, %: Cu 40; Co, Ni, Zn 30. Содержание обменных и легкорастворимых форм металлов составляет, %: Zn 12,3; Cu 9,3; Co 27,2; Ni 2,75. В буроземах слабоподзоленных на элювии глинистых сланцев зафиксированы обменные и легкорастворимые формы меди и цинка (27 %), кобальта (7,3 %) и никеля (10,8 %). С почвенным гумусом связано около 20 % Cu и Co, 30 % Zn и Ni.

В дерново-подзолистых, дерново-карбонатных почвах доля обменных и легкорастворимых форм металлов составляет 8–25 %, связанных с почвенным гумусом – 8–32 %. В черноземах, буроземах, каштаново-солонцеватых, лугово-черноземных почвах содержание металлов, связанных с



Структура информационно-справочной системы

почвенным гумусом, возрастает до 56 % с одновременным снижением содержания обменных и легкорастворимых форм до 12 %.

Установлено, что на территориях, подверженных техногенному воздействию, валовое содержание химических элементов в почвах выше фонового на несколько порядков, кроме того, наблюдается резкое увеличение концентрации их подвижных форм. Повышение содержания подвижных форм тяжелых металлов в техногенно-загрязненных почвах – один из важнейших эколого-геохимических показателей, необходимых для проведения мониторинга и картирования территорий.

Экспериментальные и опытно-методические работы по определению вещественных, физико-химических, геохимических показателей в основных типах почв Украины дают принципиально новую информацию об экологическом состоянии объектов окружающей среды. Использование этих эколого-геохимических показателей почв позволяет создать информационно-справочную систему и актуализированный банк данных (см. рисунок).

По выбранным показателям выполнено картирование территорий с использованием технологии автоматизированной информационной системы (АИС). Эта система предусматривает проведение следующих операций:

1) классификация, сбор, упорядочение, периодическое обновление и анализ разнородных и

разноплановых данных в соответствии с разработанной структурой; формирование геоинформационных баз данных;

- 2) оперативное информирование пользователей системы и отдельных подсистем об эколого-геохимическом состоянии территории;
- 3) информационное обеспечение управленческих решений и экспертная оценка эколого-геохимической информации;
- 4) моделирование развития природных и техногенных процессов, прогноз их влияния на состояние биогеоценозов;
- 5) взаимодействие с государственными и международными информационными системами.

Эколого-геохимическая информация для описываемой системы представляется в разном виде: картографическая информация в структуре системы (в форматах ArcView 3.0 и ArcInfo); базы данных (атрибутивные, характеризующие картографические объекты) в форматах dbf и xls; документы, включающие семантическую и графическую информацию в формате Word 6.0.

Картографическая информация составляет основу для взаимодействия. Она позволяет создать три основных типа изображений: аналитический (изображение одного явления, процесса или свойства вне связи с другими явлениями или свойствами); комплексный (совмещение показателей по нескольким элементам или явлениям); синтетический (отражение сложных явлений во взаимосвязи с другими явлениями как единого целого).

Исследование распределения подвижных форм тяжелых металлов в различных ландшафтно-геохимических зонах Украины и определение их аномального и фонового содержаний дали возможность разработать методику построения эколого-геохимических карт. Первый вариант такой карты выполнен для Киевской области [5].

**Выводы.** Разработка информационно-справочной системы и банка эколого-геохимических данных, которые содержат информацию о физико-химическом состоянии почв, их минеральном составе, а также геохимическую и эколого-биологическую характеристику, является основой для проведения почвенно-геохимического мониторинга.

Новые подходы к эколого-геохимическому картированию на основе определения показателей подвижности и особенностей миграции химических элементов позволяют разработать принципы компьютерного картирования и построить моно- и полиэлементные геохимические карты распределения валовых и подвижных форм металлов, а также создать методы оценки степени техногенного загрязнения.

1. *Аринушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. – 487 с.
2. *Войтюк Ю.Ю.* Особливості геохімічного розподілу важких металів у зоні аерації під впливом викидів комбінатів чорної металургії (на прикладі м. Алчевськ) / Ю.Ю. Войтюк, І.В. Кураєва, А.І. Самчук, С.П. Кармазиненко, В.Й. Манічев // *Геолог України.* – 2012. – № 1–2. – С. 51–57.
3. *Глазовская М.А.* Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. – М.: Высш. шк., 1988. – 338 с.
4. *Жовинский Э.Я.* Влияние буферной способности почв на подвижность цинка / Жовинский Э.Я., Кураева И.В., Шурпач Н.А. // *Минерал. журн.* – 1996. – Т. 18, № 1–3. – С. 31–38.
5. *Жовинский Э.Я.* Геохимия тяжелых металлов в почвах Украины / Э. Я. Жовинский, И. В. Кураева. – Киев: Наук. думка, 2002. – 213 с.
6. *Кузнецов В.А.* Метод постадийных вытяжек при геохимических исследованиях / Кузнецов В.А., Шимко Г.А. – Минск: Наука и техника, 1990. – 65 с.
7. *Кураєва І.В.* Еколого-геохімічні дослідження ґрунтів в зоні впливу підприємств чорної металургії м. Маріуполя / І.В. Кураєва, Ю.Ю. Войтюк, В.Й. Манічев // *Екологія і природокористування.* – Дніпропетровськ, 2011. – № 14. – С. 211–217.
8. *Кураєва І.В.* Закономірності розподілу токсичних елементів у зоні аерації Горлівського хімічного заводу / І.В. Кураєва, А.І. Самчук, О.В. Яковенко, Ю.Ю. Войтюк, М.М. Кисельов, В.Ф. Філатов, Н.О. Дуброва // *Мінерал. журн.* – 2010. – № 2. – С. 85–93.
9. *Медведев В.В.* Анализ опыта европейских стран в проведении мониторинга почвенного покрова / Медведев В.В., Лактионова Т.Н. // *Почвоведение.* – 2012. – № 1. – С. 106–114.
10. *Мицкевич Б.Ф.* Основы ландшафтно-геохимического районирования / Мицкевич Б.Ф., Сушик Ю.Я. – Киев: Наук. думка, 1981. – 174 с.
11. *Мотузова Г.В.* Фракционирование почвенных соединений мышьяка / Мотузова Г.В., Аптикаев Р.С., Карпова Е.А. // *Почвоведение.* – 2006. – № 4. – С. 432–442.
12. *Физико-химические условия образования мобильных форм токсичных металлов в почвах / Самчук А.И. [и др.] // Минерал. журнал.* – 1998. – № 2. – С. 48–59.
13. *Tessier A.* Sequential extraction procedure for the speciation of the particulate trace metals / Tessier A., Campbell P.G.C., Bisson M. // *Anal. Chem.* – 1979. – N 51. – P. 844–851.

УДК 550.42:546.4./7:631.4(477)

## ЕКОЛОГО-ГЕОХІМІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ҐРУНТІВ ТЕХНОГЕННО ЗАБРУДНЕНИХ ТЕРИТОРІЙ УКРАЇНИ

*І.В. Кураєва*

*Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, пр. Палладіна, 34, Київ-142 03680, Україна, e-mail: yuliasun86@mail.ru*

На основі вивчення закономірностей розподілу токсичних елементів у ґрунтах техногенно забруднених територій України, а також експериментальних і аналітичних робіт вибрано геохімічні показники, що характеризують екологічний стан ґрунтів. Розроблено структуру банку даних інформаційно-довідкової системи еколого-геохімічної інформації. Запропоновано методику побудови еколого-геохімічних карт з використанням технології автоматизованої інформаційної системи.

**Ключові слова:** ґрунтові відклади, важкі метали, рухомі форми важких металів, потенційна буферна здатність ґрунтів, еколого-геохімічне картування.

## ECOLOGICAL AND GEOCHEMICAL MONITORING OF SOIL DEPOSITS IN TECHNOGENICALLY CONTAMINATED AREAS OF UKRAINE

I.V. Kuraeva

M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation, National Academy of Sciences of Ukraine,  
ave Palladin, 34, Kiev-142 03680 Ukraine, e-mail: yuliasun86@mail.ru

Based on the study of the distribution patterns of toxic elements in soils of technogenic contaminated territories of Ukraine, as well as experimental and analytical works, geochemical indicators were selected, which characterize the ecological condition of soils. A structure of a data bank of an information system of ecological and geochemical information was developed. A method for constructing eco-geochemical maps using the technology of the automated information system, is proposed.

**Keywords:** soil deposits, heavy metals, mobile forms of heavy metals, the potential buffering capacity of soil, ecological and geochemical mapping.

### References:

1. Arinushkina E.V. *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv* [Guidance on chemical analysis of soils]. Moscow, *University of Moscow Press*, 1970, 487 p.
2. Voytyuk Yu.Yu., Kurayeva I.V., Samchuk A.I., Karmazynenko S.P., Manichev V.Y. *Osoblyvosti heokhimichnoho rozpodilu vazhkykh metaliv u zoni aeratsiyi pid vplyvom vykydiv kombinativ chornoyi metalurhiyi (na prykladi m. Alchevs'k)* [Peculiarities of geochemical distribution of heavy metals in the vadose zone influenced by emissions of ferrous industry combine plants (case study of Alchevsk city)]. *Heoloh Ukrayiny* [Ukrainian Geologist], 2012, no. 1-2, pp. 51-57.
3. Glazovskaya M.A. *Geokhimiya prirodnykh i tekhnogennykh landshaftov SSSR* [Geochemistry of natural and man-made landscapes USSR]. Moskva, *Vysshaya shkola*, 1988, 338 p.
4. Zhovinskiy E.Ya., Kuraeva I.V., Shurpach N.A. *Vliyanie bufernoy sposobnosti pochv na podvizhnost' tsinka* [Influence of the buffering capacity of soils on the mobility of zinc]. *Mineralogicheskii zhurnal* [Mineralogical journal (Ukraine)], 1996, no. 1-3, pp. 31-38.
5. Zhovinskiy E.Ya., Kuraeva I.V. *Geokhimiya tyazhelykh metallov v pochvakh Ukrainy* [Geochemistry of heavy metals in soils of Ukraine]. Kyiv, *Naukova dumka*, 2002, 213 p.
6. Kuznetsov V.A., Shimko G.A. *Metod postadiynykh vytyazhek pri geokhimicheskikh issledovaniyakh* [Stepwise method extracts at geochemical studies]. Minsk, *Nauka i tekhnika* [Minsk, Science and Technology], 1990, 65 p.
7. Kurayeva I.V., Voytyuk Yu.Yu., Manichev V.Y. *Ekoloho-heokhimichni doslidzhennya gruntiv v zoni vplyvu pidpryyemstv chornoyi metalurhiyi m. Mariupolya* [Ecological and geochemical studies of soils in the zone of ferrous metallurgy enterprises in Mariupol]. *Ekolohiya i pryrodokorystuvannya*, 2011, no.14, pp. 211-217.
8. Kurayeva I.V., Samchuk A.I., Yakovenko O.V., Voytyuk Yu.Yu., Kysel'ov M.M., Filatov V.F., Dubrova N.O. *Zakonomirnosti rozpodilu toksychnykh elementiv u zoni aeratsiyi Horlivs'koho khimichnoho zavodu* [Regularities of distribution of technogenic elements of suspend water in the area of the Gorlivka chemical factory]. *Mineralogicheskii zhurnal* [Mineralogical journal (Ukraine)], 2010, no. 2, pp. 85-93.
9. Medvedev V.V., Laktionova T.N. *Analiz opyta evropeyskikh stran v provedenii monitoringa pochvennogo pokrova* [Analysis experience countries of Europe to conduct monitoring soil]. *Pochvovedenie* [Eurasian soil science(Russia)], 2012, no.1, pp. 106-114.
10. Mickevich B.F., Sushhik Ju.Ja. *Osnovy landshaftno-geokhimicheskogo rajonirovaniya* [Basics of landscape-geochemical zonation]. Kyiv, *Naukova dumka*, 1981, 174 p.
11. Motuzova G.V., Aptikaev R.S., Karpova E.A. *Frakcionirovanie pochvennykh soedinenij mysh'jaka* [Fractionation of soil arsenic compounds]. *Pochvovedenie* [Eurasian soil science(Russia)], 2006, no. 4, pp. 432-442.
12. Samchuk A.I., Bondarenko G.N., Dolin V.V., Sushhik Ju.Ja., Shramenko I.F., Mickevich B.F., Egorov O.S. *Fiziko-himicheskie uslovija obrazovaniya mobil'nykh form toksychnykh metallov v pochvah* [Physical and chemical conditions promoting formation of mobile forms of toxic metals in soils]. *Mineralogicheskii zhurnal* [Mineralogical journal (Ukraine)], 2010, no. 2, pp. 85-93.
13. Tessier A. Sequential extraction procedure for the speciation of the particulate trace metals. *Anal. Chem.*, 1979, no.51, pp. 844-851.

Поступила в редакцию 24.12.2013 г.

Received 24/12/2013