

Геохимические особенности динамики развития техногенных аномалий в почвах. Опыт мониторинга состояния почв Донбасса

Выборов С.Г., Силин А.А., Россеева Ю.Ю., Левадняя Я.Ю., Горбачева Е.Ю.*
Донецкий национальный технический университет, Донецк, Украина

Почвы – поверхностный слой геологической среды, первым принимающий рассеивающиеся по земной поверхности компоненты техногенных выбросов, за счет которых формируется большая часть геохимических аномалий и ореолов загрязнения в почвенном покрове. При очевидном значительном техногенном преобразовании почв Донбасса до настоящего времени существуют противоречивые данные о масштабах, интенсивности, характере и источниках загрязнения почв. Практически не изучена динамика данного явления.

Обобщающие работы по изучению степени загрязнения почв Донецкой области проведены в 1990-1992 г.г. ГПП «Донбассгеология». Выделенные ореолы опасного и высоко опасного загрязнения по суммарному показателю концентраций (СПК: 32-128 ед. и более 128 ед., соответственно) по этим данным приурочены в основном к промышленно-городским агломерациям. Опасное загрязнение характерно для почв г. Мариуполя. В Донецко-Макеевском промузле были выделены небольшие локальные ореолы загрязнения почв опасного и в единичных случаях высоко опасного уровня. Наиболее масштабное и интенсивное загрязнение установлено в связи с Горловско-Енакиевским промузлом, от которого ореолы опасного и высоко опасного загрязнения распространяются на север к городам Константиновка, Дружковка, Артемовск и к Углегорской ТЭС. Эти данные характеризуют состояние почвенного покрова области на конец 80-х годов прошлого века. При этом отчетливо прослеживается пространственная связь аномальных ореолов почв с промышленными выбросами, очаги загрязнения воздуха и почв в большинстве случаев совпадают. Исследованиями также установлен широкий спектр элементов загрязнителей почв, главными из которых являются ртуть и свинец. Наибольшие концентрации ртути приурочены к Горловско-Енакиевскому промузлу. Кроме этого, в связи с различными источниками промышленно-городских агломераций выделены участки загрязнения почв барием, литием, цинком, медью, хромом, марганцем, молибденом, кадмием, бериллием, вольфрамом, мышьяком, сурьмой, кобальтом и др.

В 2007 г. Госуправлением охраны окружающей природной среды был опубликован доклад о состоянии окружающей среды Донецкой области, в котором приведен анализ загрязнения почв [1]. По этим данным очень высокое загрязнение почв приурочено к Горловско-Енакиевскому промузлу и к г. Константиновке. Высокий уровень загрязнения почв контролируется г. Мариуполем на юге, Донецко-Макеевским промузлом в центре и городами Дружковка, Краматорск и Дебальцево на севере области. Почвы большей части исследуемой территории имеют умеренную степень загрязнения. Низкий уровень загрязнения почв логично совпадает с территорией слабого загрязнения атмосферного воздуха, прослеживающейся узкой полосой вдоль западной границы области. Ситуация по сравнению с 1992 г. существенно изменилась, однако очевидным является то, что эпицентры максимального загрязнения почв, приуроченные к г. Константиновке и Горловско-Енакиевскому промузлу, в общем виде пространственно совпадают.

В настоящее время не вызывает сомнения то, что техногенные аномалии приурочены к промышленным узлам области. Однако при детальном рассмотрении выделяемых разными исследователями ореолов, их интенсивность, контуры, размеры, морфология, пространственная приуроченность по отношению к источникам существенно различаются. Например, в «Докладе» [1] никак не проявляются ореолы загрязнения в связи с тепловыми электростанциями, которые располагаются на некотором удалении от промышленно-городских агломераций.

При всей противоречивости данных о характере, степени и масштабах загрязнения почв, наиболее спорный вопрос, по мнению авторов, о накоплении токсичных элементов в почве в

процессе теногенеза. При оценке техногенного загрязнения почв принято считать, что тяжелые металлы и другие токсичные элементы в почвах накапливаются, перераспределяются в почвенном профиле и медленно удаляются в процессе выщелачивания и водной миграции, потребления живыми организмами, дефляции. В диссертационной работе Л.А. Петровой (2010) о закономерности распределения тяжелых металлов в зоне аэрации юго-восточного Донбасса приводятся данные о предпочтительном накоплении металлов в почвах в интервале глубин 0-10 и 25-30 см [2], отмечается, что подвижные формы элементов с глубиной сменяются устойчивыми. Однако динамика процесса загрязнения, устойчивость аномалий во времени не исследуется.

В.Ф. Вальков и др. (2004) по результатам исследования почв сопредельной Ростовской области отмечает, что большая часть тяжелых металлов, поступивших на поверхность почвы, закрепляется в верхних гумусовых горизонтах [3]. К подобным выводам приходят В.А. Алексеенко и др. (2002): «Периодический промывной водный режим способствует удалению из профиля черноземной почвы простых растворимых солей и накоплению соединений тяжелых металлов... Высокое содержание гумуса и мелкодисперсных глинистых частиц, преимущественно обуславливающие аккумуляцию в гумусовом горизонте ряда металлов и других химических элементов... являются важнейшими свойствами черноземных почв, определяющими их геохимические особенности» [4]. Аналогичные результаты приводятся в монографии, посвященной проблемам почв городских территорий [5]. Ее авторы Н.Г. Федоренко и М.В. Медведева отмечают, что тяжелые металлы, поступившие на поверхность почвы, накапливаются в почвенной толще, особенно в верхних гумусовых горизонтах и медленно удаляются, их концентрация резко снижается с глубиной, а накоплению способствуют глинистые минералы и органическое вещество.

Подобные представления приводят некоторых исследований к введению необычных понятий, например, таких как период полуудаления тяжелых металлов из почв [6], вероятно, по аналогии периода полураспада радионуклидов. В данной авторитетной научной работе, посвященной экологическому мониторингу, утверждается, что металлы сравнительно быстро накапливаются в почве и крайне медленно из нее выводятся, приводятся, на взгляд авторов, абсурдные данные по периодам полуудаления для цинка – до 500 лет, кадмия – до 1100 лет, меди – до 1500 лет, свинца до нескольких тысяч лет.

Такое понимание сути техногенного загрязнения почв приводит к не совсем обоснованным выводам о локализации и малой подвижности токсичных элементов в почве и, соответственно, меньшей экологической опасности в отношении контактирующих сред, включая живых организмов и человека. Подвижными при этом не совсем оправдано считаются лишь обнаруженные на момент исследования водорастворимые формы, способные участвовать в обменных процессах. Данные выводы приводят к недостоверной оценке функции почв в общем процессе техногенной дифференциации веществ, ее направленности. Малая подвижность техногенных элементов в почвах, их накопительный характер, позволяет ослабить контроль за состоянием почв. Поэтому существуют нормативы (ГОСТ 17.4.4.02-84), согласно которым отбор проб на тяжелые металлы осуществляется один раз в три года [7]. В.А. Королев (1995) рекомендует контроль концентраций тяжелых металлов осуществлять по долгосрочной программе периодичностью 5-10 лет [8].

Исходя из этого, почвы в отношении мониторинга их состояния попадают на третье место в приоритетах по сравнению с атмосферным воздухом и поверхностными водами. Поэтому о динамике процесса загрязнения в почвах весьма мало данных. Несоответствующие истинному положению вещей представления о техногенезе приводят к разработке неэффективных в экологическом и экономическом отношении природоохранных мероприятий.

Изменения в почвенном слое при наблюдениях с периодичностью 3, 5 или 10 лет будут восприниматься как естественный ход событий и могут вполне обосновано объясняться. Сложнее объяснить, как и куда осенью исчезли аномалии, которые наблюдались еще весной или, наоборот. Еще менее объяснима с позиции аккумуляции и длительного удерживания почвами токсичных элементов наблюдаемая ежегодная пространственно-временная динамика их концентраций в течение ряда лет.

Результаты многолетнего опыта мониторинга почв позволяют по новому оценить динамику техногенных аномалий. Региональные ореолы загрязнения почв формируются под

влиянием промышленных и прочих техногенных выбросов в атмосферный воздух, компоненты которых рассеиваются по земной поверхности, образуют неустойчивые во времени динамически развивающиеся аномалии.

Особенностью почв, как элемента геологической среды, является неустойчивость параметров ореолов загрязнения во времени. Это касается морфологии и размеров аномалий, их внутреннего строения, которое определяется набором индикаторных элементов, уровнем их концентрации и характером распределения. Масштабы региональных (площадных) аномалий, их морфология и интенсивность зависят:

- От источника выбросов, их качественного состава, мощности и высоты выхода;
- От скорости и направления ветра;
- От температурного режима;
- От количества и периодичности атмосферных осадков;
- От рельефа местности и геоморфологический условий;
- От характера и плотности растительного покрова;
- От строения зоны аэрации;
- От уровня залегания грунтовых вод;
- От механического состава почвы и концентрации гумуса;
- От влажности почв и состава почвенной влаги;
- От окислительно-восстановительных и кислотно-щелочных условий [9],

которые соответствуют определенной микробиологической деятельности (аэробной или анаэробной) и активности (концентрации микроорганизмов). Изменчивость выделенных факторов формирования ореолов загрязнения почв определяет динамику их развития.

Ведущее значение для перевода устойчивых форм элементов в подвижное состояние имеет микробиологическая активность почв, периодическая смена аэробных и анаэробных обстановок в пределах почвенного профиля, что типично для условий Донбасса. Засушливое жаркое лето обеспечивает аэробные процессы в почвах, периодическое увлажнение способствует окислительным процессам при нейтральных или слабощелочных условиях, что, в свою очередь, благоприятствует накоплению растительных остатков, слабой подвижности катионогенных и повышенной миграции анионогенных элементов. В этот период происходит накопление металлов, вымывание, биогенная и гидрогенная миграция солей. Осенние паводки теплого периода активизируют миграцию анионогенных элементов. Зимой, в конце ноября – декабре почвы находятся в постоянно обводненном состоянии при пониженных температурах, аэробные процессы постепенно сменяются анаэробными. В январе – феврале верхняя часть почвенного слоя периодически оттаивает и промерзает. Наиболее активно анаэробные процессы протекают в конце февраля – в марте и могут сохраняться в апреле. В это время в поверхностной части происходит окисление растительных остатков, рН понижается, местами отмечаются глеевые процессы. В этой обстановке мигрируют катионогенные элементы. Поэтому весной большая часть аномалий тяжелых металлов может исчезнуть, а сохранившиеся или вновь формируемые имеют расплывчатые (размытые) очертания при пониженных концентрациях. Разные условия миграции солей и металлов подтверждаются разобщенностью их ореолов при формировании за счет техногенных выбросов в атмосферу. Ореолы засоления почв контролируют очаги загрязнения металлами лишь на участках подтопления, когда и те и другие формируются в процессе водной дифференциации на испарительном барьере.

Разнообразие и динамика выделенных факторов определяет повышенную сложность картирования и изучения аномалий, формирующихся в почвах. Существующий опыт мониторинга позволяет сделать вывод о крайней неустойчивости ореолов загрязнения почв. Их картирование по данным одного этапа опробования позволяет сделать вывод лишь о существовании или отсутствии загрязнения и в меньшей степени о масштабах, интенсивности и пространственной приуроченности. Данные второго, третьего и других последующих этапов могут полностью изменить представления о масштабах, интенсивности и пространственной приуроченности аномалий и даже об их геохимическом спектре. При этом, если деятельность источника загрязнения существенно не меняется, выделяемые аномальные ореолы присутствуют всегда, а их эпицентры имеют близкую пространственную приуроченность.

В качестве одного из многочисленных примеров, подтверждающих закономерную временную динамику ореолов загрязнения почв, можно рассмотреть городскую территорию, прилегающую к Донецкому металлургическому заводу (г. Донецк).

Наиболее полные данные о состоянии почв г. Донецка получены при проведении многолетнего мониторинга зоны влияния Донецкого металлургического завода (ДМЗ), начиная с 2003 г. Обобщенные результаты мониторинга по 13 этапам опробования почв позволили оценить степень и динамику загрязнения почв городской территории.

Суммарная степень загрязнения почв исследуемой территории по общеизвестному показателю Zc [10] в большей части соответствует допустимому (Zc до 16 ед.) и реже умеренно-опасному уровню (Zc от 16 до 32 ед.). При этом главным элементом загрязнителем является ртуть, коэффициент концентрации (Kc) которой в отдельные этапы достигал 131 ед. (местный фон ртути 0,0035 мг/кг). В большинстве случаев концентрация ртути всегда повышена, однако редко превышает фон более, чем в 10 раз. Вместе с ртутью главными элементами ореолов загрязнения являются кадмий (до 10 мг/кг или Kc до 10 ед.), свинец (преимущественно до 80 мг/кг или Kc до 4 ед.). Остальные элементы находятся на уровне флуктуации геохимического фона. Редкие локальные аномалии около 2 геофонов установлены для цинка, меди, хрома, никеля.

В пределах исследуемой территории установлены площадные ореолы загрязнения почв сульфатами. В большинстве проб отмечаются концентрации, превышающие ПДК (160 мг/кг). Эпицентры ореолов сульфатного засоления разобщены с очагами загрязнения почв токсичными элементами.

Понять и определить динамику процесса загрязнения исследуемых почв позволяют лишь обобщенные за много лет мониторинга данные. Наблюдения по каждой из площадок отбора проб по отдельным этапам сильно различаются и постоянно изменяются от осени к весне и от года к году. Существующими наблюдениями устанавливается посезонная динамика аномальных ореолов, обусловленная закономерной подвижностью элементов-индикаторов загрязнения.

Наиболее характерная ситуация проявлена на площадках с максимальным загрязнением. Так в пробе №1, расположенной в 800 м к северу от промплощадки ДМЗ и в 400 м к востоку от Первого городского пруда, степень суммарного загрязнения варьирует в широких пределах от допустимой до чрезвычайно-опасной, резко меняясь от этапа к этапу мониторинга (табл. 1).

Табл. 3.1. Временная динамика основных показателей загрязнения и характеристика степени неоднородности их распределения в пробе №1 по данным регулярного мониторинга

Дата отбора пробы		Cd	Zn	Hg	Pb	Zc	SO ₄ ⁻	pH
30.IV.03 (весна)		1,42	0,81	3,43	1,53	11,72	12,34	6,95
07.XI.03 (осень)		5,27	1,35	132,00	1,43	144,44	2,49	7,74
24.IV.04 (весна)		0,00	0,68	0,01	0,44	1,35	4,28	7,12
14.IV.06 (весна)		0,97	0,93	1,14	1,22	5,06	5,48	7,05
03.X.06 (осень)		10,27	1,96	8,00	4,43	16,42	3,66	7,45
16.IV.07 (весна)		0,84	1,12	0,34	1,61	6,32	4,05	7,12
05.X.07 (осень)		1,27	1,36	30,00	1,87	33,17	2,28	7,25
21.IV.08 (весна)		1,95	0,90	2,00	1,82	5,69	4,56	7,05
11.X.08 (осень)		13,22	2,29	2,86	6,22	37,14	1,99	7,55
19.IV.09 (весна)		1,08	0,45	2,57	1,24	8,06	3,67	7,15
20.X.09 (осень)		3,20	0,93	2,86	2,39	10,29	2,96	7,22
21.IV.10 (весна)		4,50	1,34	2,00	0,87	3,19	5,01	7,11
12.X.10 (осень)		7,89	1,78	23,71	1,23	29,14	1,56	7,34
Средние показатели по сезонам	Весна	1,54	0,89	1,64	1,25	5,91	5,62	7,08
	Осень	6,85	1,61	33,24	2,93	45,77	2,49	7,43
Среднее по выборке		3,99	1,22	16,23	2,02	24,00	4,18	7,24
Стандарт отклонения		4,12	0,53	36,02	1,58	38,07	2,73	0,23
Коэффициент вариации		103,30	43,57	222,02	78,29	158,63	65,29	3,12

Регулярный ежегодный отбор проб почв весной (в апреле) и осенью (в октябре-ноябре) позволил выявить закономерную сезонную (весной и осенью) динамику основных показателей загрязнения. Для анализа выбраны элементы-индикаторы загрязнения – кадмий, ртуть, свинец и цинк, их коэффициенты концентрации определяют уровень суммарного загрязнения по показателю Zc. Кроме этого анализировалось поведение сульфат-иона и показателя pH водной вытяжки.

Статистической обработкой выборки из 13 проб устанавливается крайне неустойчивое поведение ртути, кадмия, показателя Zc (коэффициент вариации более 100%). Неустойчивое поведение характерно также для свинца, цинка и сульфатов. Наименьшей изменчивости подвергается показатель pH. Максимальная изменчивость отмечается для элементов с максимальным уровнем концентрирования по отношению к фону.

Показатели загрязнения почв резко изменяются от этапа к этапу (рис. 1). Интенсивное загрязнение через полгода может резко снизиться до нормативных и фоновых показателей. При этом рост концентраций металлов отмечается преимущественно в осенний период, а сульфатов – весной. Закономерно, хотя и не так ярко проявлено, изменение pH водной вытяжки почв: весной показатель несколько снижается, а осенью – увеличивается. Отчетливо эти закономерности проявлены на диаграммах, построенных по средним показателям весеннего и осеннего этапов отбора проб (рис. 2).

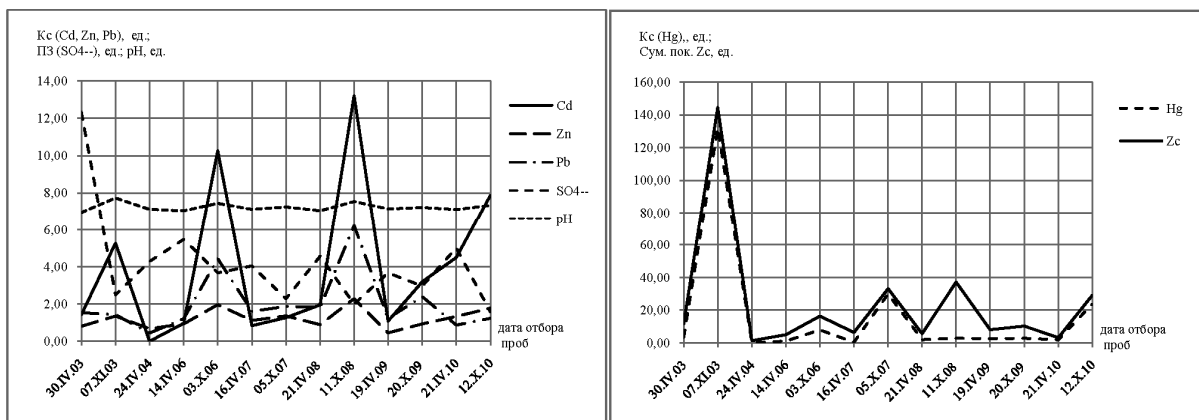


Рис. 1. Временная динамика основных показателей загрязнения почв в пробе №1 регулярного мониторинга.

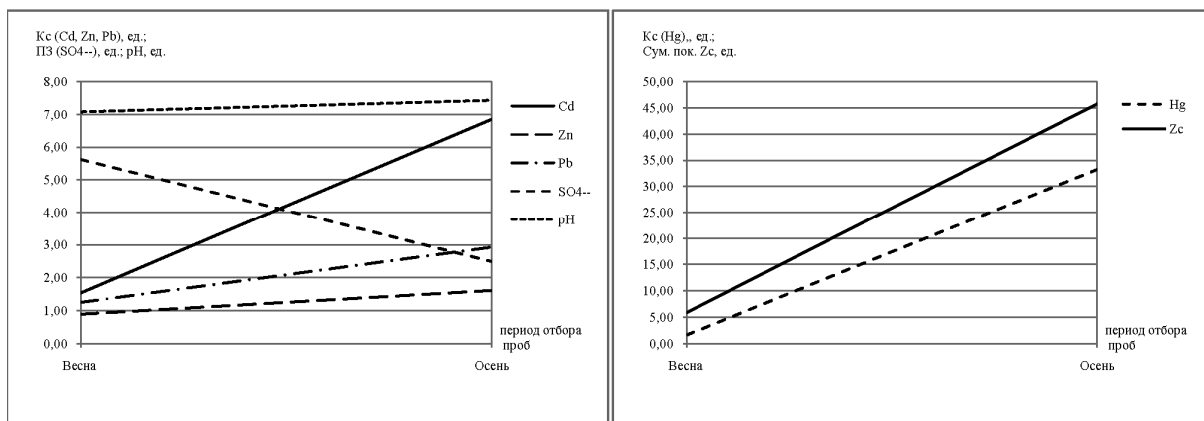


Рис. 2. Диаграмма средних значений основных показателей загрязнения почв пробы №1 в весенний и осенний этапы регулярного мониторинга.

Наиболее резкий рост в осенний период характерен для ртути и показателя суммарного загрязнения, отчетливо увеличиваются концентрации кадмия, свинца и цинка, несколько возрастает pH. Для сульфатов отмечаются максимальные концентрации весной и некоторое снижение осенью.

Установленные закономерности подтверждаются корреляционным анализом. На треугольной диаграмме корреляционных связей отчетливо выделяются ассоциации элементов индикаторов и показателей загрязнения (рис. 3). Так основной вклад в суммарный показатель Z_c вносит ртуть (коэффициент корреляции $R=0,975$). С увеличением pH связан рост концентраций всех металлов и показателя суммарного загрязнения. Сульфаты концентрируются в почвах при понижении pH среды. Техногенная дифференциация обуславливает согласованное поведение кадмия, цинка и свинца, при этом кадмий и цинк более тесно связаны между собой, что типично для их природного сосуществования. Ртуть в силу своей повышенной миграционной способности образует собственные аномальные концентрации. Разобщенность в пространстве и времени аномалий ртути, кадмия, цинка и свинца может быть обусловлена разными условиями воздушной миграции. Ртуть мигрирует в виде пара, пыли и летучих соединений. Цинк, кадмий и свинец преимущественно в виде пыли и летучих соединений. На характер распределения может оказывать влияние разнородность источников привноса, например, для свинца – автотранспорт, для всей группы выделенных элементов – горящие терриконы, выбросы ДМЗ и других промпредприятий. Поэтому наблюдаемые закономерности распределения элементов в конкретной точке городской черты отражают сложившееся равновесие между совокупным влиянием источников загрязнения, обеспечивающим привнос техногенного вещества, и факторами дифференциации, обуславливающими последующую миграцию и локализацию.

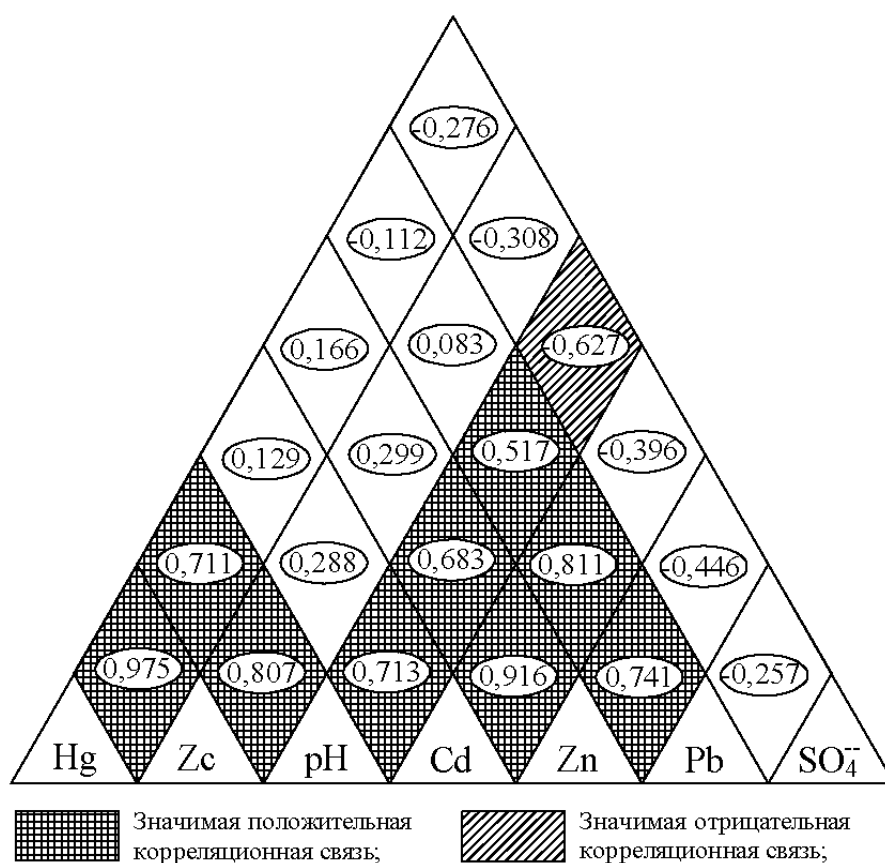


Рис. 3. Диаграмма корреляционных связей между основными показателями загрязнения почв пробы №1 ($R_{\alpha=0,05} \geq 0,513$, $n=13$)

Установленная динамика загрязнения почв связана с сезонными изменениями условий миграции и локализации техногенного вещества. Холодный зимний период, часто, особенно в последние годы, прерывающийся оттепелью и весенний паводок длительное время, начиная с ноября и кончая апрелем, обеспечивают условия повышенной обводненности почв. Отмершая растительность подвергается аэробному разложению с образованием органических кислот,

глубже в насыщенных водой почвах, обогащенных органикой, возникают благоприятные анаэробные условия. При этом очевидного оглиения не отмечается, однако создаются близкие к этому условия. Снижение рН дополняется активностью сульфат-ионов, которые в данных условиях неустойчивы в водных растворах с низкими температурами. Поэтому происходит их выделение в виде вторичной минерализации. Катионогенные элементы, включая кадмий, ртуть, свинец, цинк и др. металлы, в этих условиях переходят в раствор и мигрируют в нижележащие слои зоны аэрации и в водоносные горизонты. Наиболее типичной формой миграции может служить органоминеральные комплексные соединения.

Наступающий следом летний период характеризуется высокими температурами и периодическими ливневыми дождями. В почвах преобладают аэробные процессы, при этом рН среды несколько возрастает, но остается в пределах нейтральной или слабощелочной, периодическое увлажнение атмосферными осадками способствует вымыванию сульфатов. Условия благоприятствуют накоплению тяжелых металлов в виде пыли, различных соединений, связывающихся органикой и сорбирующихся глинистыми частицами, окислами железа.

Изменение условий в зимний период вновь приводит к мобилизации металлов и миграции в соответствии с направлением фильтрационного потока. Данная динамика в той или иной степени прослеживается на других объектах, где организована и ведется подобная система регулярного мониторинга почв.

Полученные данные позволяют по-новому оценивать общую экологическую опасность выделяемых в почвах ореолов загрязнения. Накопленные здесь токсичные элементы периодически переходят в подвижное состояние и мигрируют водными растворами в контактирующие среды, включая живые организмы. Этим определяется, с одной стороны, повышенная экологическая опасность исследуемого загрязнения почв, с другой стороны, их способность к самоочищению. Кроме этого, водная миграция загрязняющих веществ из почвенного горизонта обеспечивает их доставку в водоносные горизонты и поверхностные водотоки, а накопление в аккумулятивных ландшафтах и на геохимических барьерах. В этой связи, актуальной задачей исследования техногенной дифференциации земного вещества является обнаружение зон локализации и накопления элементов, которые при определенных концентрациях и количествах полезных компонентов могут рассматриваться в качестве месторождений полезных ископаемых.

Библиографический список

1. Доклад о состоянии окружающей среды в Донецкой области / под ред. С. Третьякова, Г. Аверина. – Донецк, 2007. – 116 с.
2. Петрова Л.О. Закономірності розподілу важких металів у зоні аерації південно-східного Донбасу. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата геологічних наук. – К.: ИГН НАН України, 2010. – 22 с.
3. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Экология почв: Учебное пособие для студентов вузов. Часть 3. Загрязнение почв. – Ростов-на-Дону: УПЛ РГУ, 2004. – 54 с.
4. Алексеенко В.А. и др. Металлы в окружающей среде. Почвы геохимических ландшафтов Ростовской области: Учебное пособие. – М.: Логос, 2002. – 212 с.
5. Федорец Н.Г., Медведева М.В. Методика исследования почв урбанизированных территорий. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2009. – 84 с.
6. Экологический мониторинг: шаг за шагом. Е.В. Венецианов и др. Под ред. Е.А. Заика. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2003. – 252 с.
7. ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа.
8. Королев В.А. Мониторинг геологической среды. М.: Изд-во МГУ, 1995. – 272 с.
9. Перельман А.И. Биокосные системы Земли. М.: Наука, 1977. – 160 с.
10. СанПиН 4266-87. Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами. – М.: Минздрав СССР, 1987. – 25 с.

Аннотация

Рассматриваются вопросы пространственно-временной динамики техногенных аномалий в почвах. Полученные результаты регулярного мониторинга позволяют по-новому оценивать экологическую опасность выделяемых ореолов загрязнения. Накопленные в них токсичные элементы периодически переходят в подвижное состояние и мигрируют водными растворами в контактирующие среды, включая живые организмы.

Ключевые слова: почва, ореолы загрязнения, техногенные аномалии, пространственно-временная динамика, тяжелые металлы, регулярный мониторинг

Abstract

The issues of spatial-temporal dynamics of man-made anomalies in soils. The results obtained allow regular monitoring of a new assess environmental risk of pollution emissions halos. The accumulated toxic elements in them periodically go into a mobile state and migrate to the aqueous solution in contact environment, including living organisms.

Keywords: soil, pollution halos, man-made anomalies, the spatial-temporal dynamics, of heavy metals, regular monitoring.

Анотація

Розглядаються питання просторово-часової динаміки техногенних аномалій у ґрунтах. Отримані результати регулярного моніторингу дозволяють по-новому оцінювати екологічну небезпеку ореолів забруднення. Накоплені в них токсичні елементи періодично переходять у рухомий стан і мігрують водними розчинами в дотичні середовища, включаючи живі організми.

Ключові слова: ґрунт, ореоли забруднення, техногенні аномалії, просторово-часова динаміка, важкі метали, регулярний моніторинг.