

УДК 550.42

С. Г. Выборов, канд. геол.-минер. наук

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», Донецк, Украина

Динамика загрязнения почв в связи отходами углеобогащения

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.

При оценках техногенного загрязнения наиболее распространенными являются представления о том, что большая часть тяжелых металлов, поступивших на поверхность почвы, закрепляется в верхних гумусовых горизонтах [1, 2]. Нередко утверждается, что металлы сравнительно быстро накапливаются в почве и крайне медленно из нее выводятся, приводятся периоды полуудаления для цинка – до 500 лет, кадмия – до 1100 лет, меди – до 1500 лет, свинца до нескольких тысяч лет [3]. На подобных взглядах базируются обоснования периодичности мониторинга почв в отношении загрязнения тяжелыми металлами с интервалом 5-10 лет [4].

Однако существующий у автора опыт мониторинга загрязнения почв токсичными элементами и тяжелыми металлами доказывает достаточно быструю пространственно-временную динамику выделяемых ореолов загрязнения в почвах. Существенные изменения наблюдаются даже в течение года, что позволяет говорить о посезонной динамике ореолов загрязнения почв, связанной со сменой климатических показателей (температурного режима, количества и состава осадков), водного режима почв и микробиологической активности [5]. Эти данные, основанные на результатах многолетнего мониторинга, дают возможность по-новому оценить экологическую опасность загрязнения почв, так как благодаря повышенной подвижности токсичных элементов, временно фиксируемых почвами, существует высокая вероятность техногенного загрязнения контактирующих компонентов окружающей среды – поверхностных и подземных вод, живых организмов.

Буферная роль почв в большинстве случаев преувеличивается, поэтому изучение пространственно-временной динамики ореолов загрязнения почв является важной задачей экологической безопасности. Стабильность деятельности источника загрязнения определяет некоторое постоянство в присутствии техногенных аномалий, хотя их контуры, пространственная приуроченность эпицентров периодически меняются. Токсичные элементы, попадая в почвенный слой, в течение года в большей своей части перемещаются в водоносные горизонты. Некоторая их часть мигрирует поверхностным стоком или вовлекается в биогенный цикл. В связи с этим установленная подвижность токсичных элементов представляет повышенную экологическую опасность.

Источниками техногенного загрязнения почв являются предприятия, различные накопители отходов. В Донбассе сосредоточены огромные массы отходов добычи и обогащения угля, поэтому оценка их влияния на окружающую среду весьма актуальна. Объективное и достоверное определение степени опасности накопителей отходов возможно лишь при изучении пространственно-временной динамики техногенного загрязнения.

В течение 2007-2010 г.г. автор в сотрудничестве с ППП «Артемовская гидрогеологическая партия» проводил мониторинговые исследования зоны влияния илонакопителя и площадки просушки влажных отходов ООО «Моспинское углеперерабатывающее предприятие» (МУПП). Работы осуществлялись ежегодно в сентябре месяце, когда загрязнение почв со стороны участка размещения отходов максимально. Всего проведено четыре этапа исследований.

Илонакопитель и площадка просушки отходов углеобогащения МУПП расположены на южной окраине г. Моспино в пойме р. Грузская (рис. 1). С севера участок их размещения ограничен железной дорогой и промплощадкой предприятия, с южной – р. Грузская. К западу в 120 м от илонакопителя и в 220 м к востоку от площадки просушки расположены ближайшие жилые застройки г. Моспино.

Отходы углеобогащения отводятся по илопроводу последовательно в три секции илонакопителя, где происходит осветление пульпы. Осветленная вода из илонакопителя через водозаборные сооружения по самотечным трубопроводам подается к насосной станции, которая возвращает воду по напорному трубопроводу на промплощадку МУПП. Илонакопитель разделен на три секции, которые эксплуатируются последовательно: одна секция заполняется отходами, во второй – происходит подсушка илов, третья – очищается от подсушенного ила. Ил с влажностью до 40% из очищаемой секции илонакопителя грузиться в КраЗы, транспортируется и выгружается по периметру площадки просушки. На площадке просушки происходит снижение влажности до 16%.

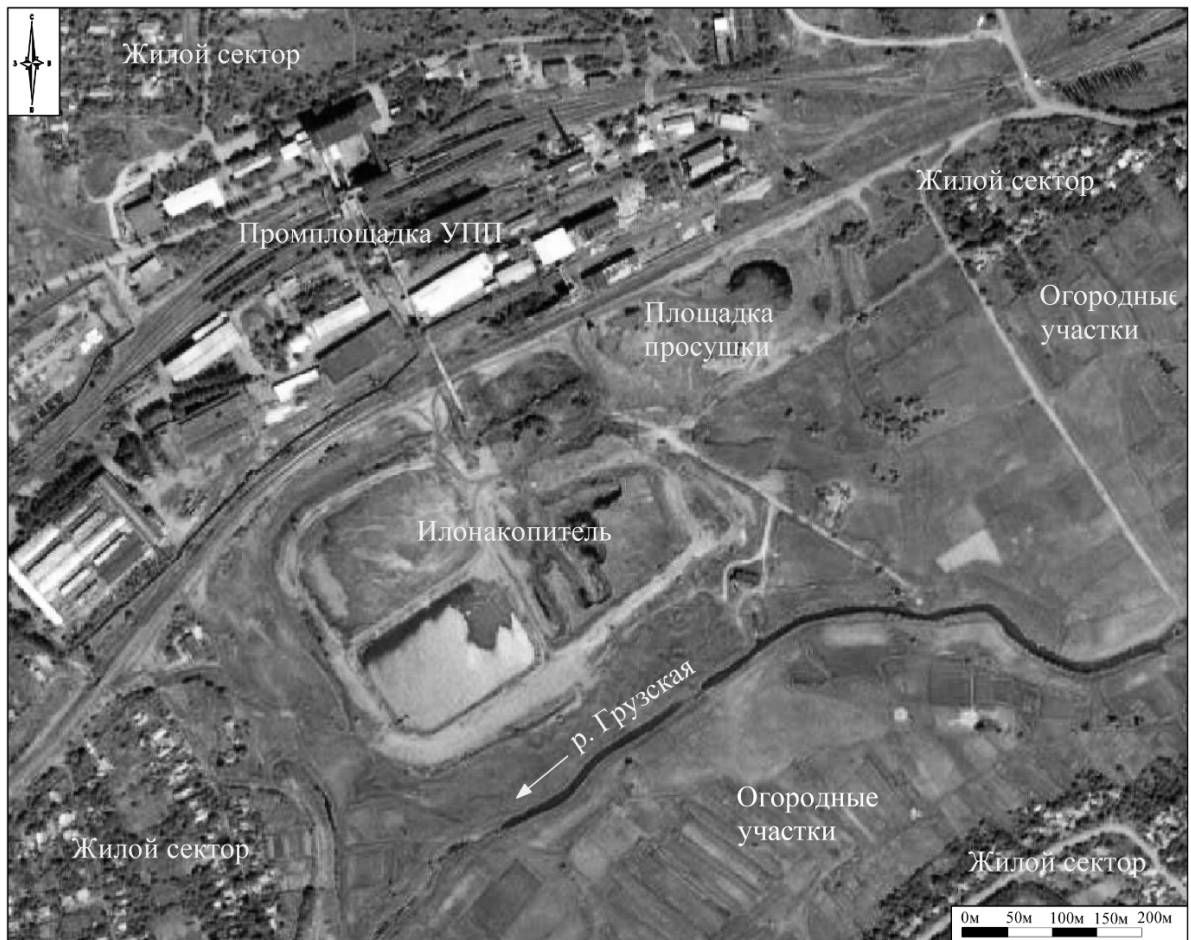


Рис. 1. Ситуационный план территории размещения илонакопителя Моспинского УПП

Основным фактором загрязнения почв со стороны илонакопителя и площадки просушки является ветровое рассеивание пылевых выбросов. Пыление происходит при ветровой эрозии отходов площадки просушки и сухих пляжей илонакопителя. В процессе осаждения компонентов выбросов на земную поверхность образуются вторичные ореолы рассеивания в почвах. Отходы углеобогащения характеризуются своеобразным геохимическим спектром, который отличается от геохимического спектра первичных почв. Это позволяет определить границы пылевого ореола, локализованного в почвенном слое.

Локальное загрязнение почв со стороны площадки просушки и илонакопителя происходит также в процессе водной миграции загрязнителей с поверхностным стоком в период паводков и

грунтовыми водами на участках подтопления. Наибольшее загрязнение при этом устанавливается в локальных понижениях и заболоченных участках поймы р. Грузская к югу от исследуемых объектов.

Пробы почв ежегодно отбирались в пределах одних и тех же площадок, расположенных по радиальной сети вокруг источника. Опробование почв производилось методом «конверта», объединенная проба составлялась из пяти частных проб, отбираемых в интервале глубин – 0-20 см. Створы, состоящие из 2-4 площадок отбора проб ориентированы на юго-запад к жилому сектору, на юг и юго-восток к р. Грузская с выходом на левый берег к жилым домам, на восток и северо-восток к жилому сектору. К северу от илонакопителя отбиралась одна проба у южной границы промплощадки. Одна объединенная проба составлялась из отходов углеобогащения, частные пробы которой отбирались по всему периметру площадки просушки. Такой подход позволил исследовать закономерности пылевого рассеивания отходов вокруг илонакопителя и площадки просушки, определить их зону влияния на почвы и исследовать динамику развития процесса загрязнения, особенно при смене геохимической специализации отходов.

В процессе четырех этапов мониторинга почв зоны влияния илонакопителя установлена динамика ореолов загрязнения, свидетельствующая об их крайней неустойчивости во времени и пространстве. Исследованиями установлено достаточно частое изменение геохимической специализации перерабатываемых на предприятии углей, что отражалось на строении ореолов и геохимическом спектре элементов-загрязнителей, образующих аномалии в прилегающих к илонакопителю почвах.

Степень суммарного загрязнения почв оценивалась в соответствии с общеизвестным показателем Z_c , рассчитываемым по формуле [6]:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n Kc_i - (n - 1)$$

где Kc_i – коэффициент концентрации i -го элемента в пробе, равный отношению концентрации i -го элемента к его региональному фоновому содержанию в почвах; n – количество элементов, коэффициент концентрации которых превышает 1.

Для изучения связи загрязнения почв с отходами углеобогащения, по результатам анализов проб отходов рассчитаны K_c токсичных элементов по отношению к их фоновым концентрациям в почвах. Подобный подход позволил выделить ореол рассеивания компонентов отходов, установить зону влияния илонакопителя и площадки просушки. Сравнительный анализ геохимического спектра отходов и аномалий в прилегающих почвах дает возможность отследить пространственно-временную динамику развития ореолов загрязнения в связи с илонакопителем и площадкой просушки.

Суммарное загрязнение почв прилегающей к илонакопителю территории характеризуется преимущественно допустимой степенью (рис. 2). В 2007 г. отмечается наименьшая степень суммарного загрязнения на уровне показателя Z_c до 10 ед. Отходы углеобогащения при этом не выделяются существенными аномалиями токсичных элементов. В 2008 г. ситуация изменилась, степень суммарного загрязнения отходов выросла до средней категории загрязнения ($Z_c=14,6$ ед.). Вокруг илонакопителя и площадки просушки сформировался ореол загрязнения с Z_c от 10 до 16 ед., его внешние границы удалены на расстояние до 100 м от контура исследуемых объектов. В 2009 г. степень суммарного загрязнения осталась на том же уровне, ореол средней категории загрязнения допустимой степени несколько расширился, однако сохранил отчетливую пространственную приуроченность к илонакопителю и площадке просушки. В 2010 г. резко возросла степень суммарного загрязнения отходов углеобогащения ($Z_c=43,0$ ед.) до опасной степени, что привело к некоторому увеличению масштабов и интенсивности ореола загрязнения почв по периферии илонакопителя. Устанавливается некоторое расширение загрязнения в восточном направлении вдоль автодороги, по которой отходы транспортируются на породный отвал МУПП.

Развитие ореолов суммарного загрязнения почв, контролируется илонакопителем и площадкой просушки, существенных изменений в степени и масштабах загрязнения в течение 2008-2010 годов не отмечается. Создается впечатление о стабильном, преимущественно допустимом характере сформированного ореола загрязнения почв прилегающей территории,

параметры которого (интенсивность, морфология, размеры и пространственная приуроченность) не зависят от уровня и характера загрязнения отходов. Так существенное загрязнение отходов в 2010 г. не сопровождается значительным ростом степени и масштабов загрязнения почв. Умеренно-опасная степень загрязнения почв установлена лишь в пробе к северу от илонакопителя вблизи границы промплощадки предприятия.

Однако при некоторой стабильности ореолов суммарного загрязнения на всем протяжении мониторинга спектр элементов загрязнителей существенно менялся, что отражалось на динамике распределения микроэлементов в прилегающих к илонакопителю почвах. Степень суммарного загрязнения почв в разные этапы мониторинга определяли концентрации кадмия, ртути, мышьяка, свинца и цинка.

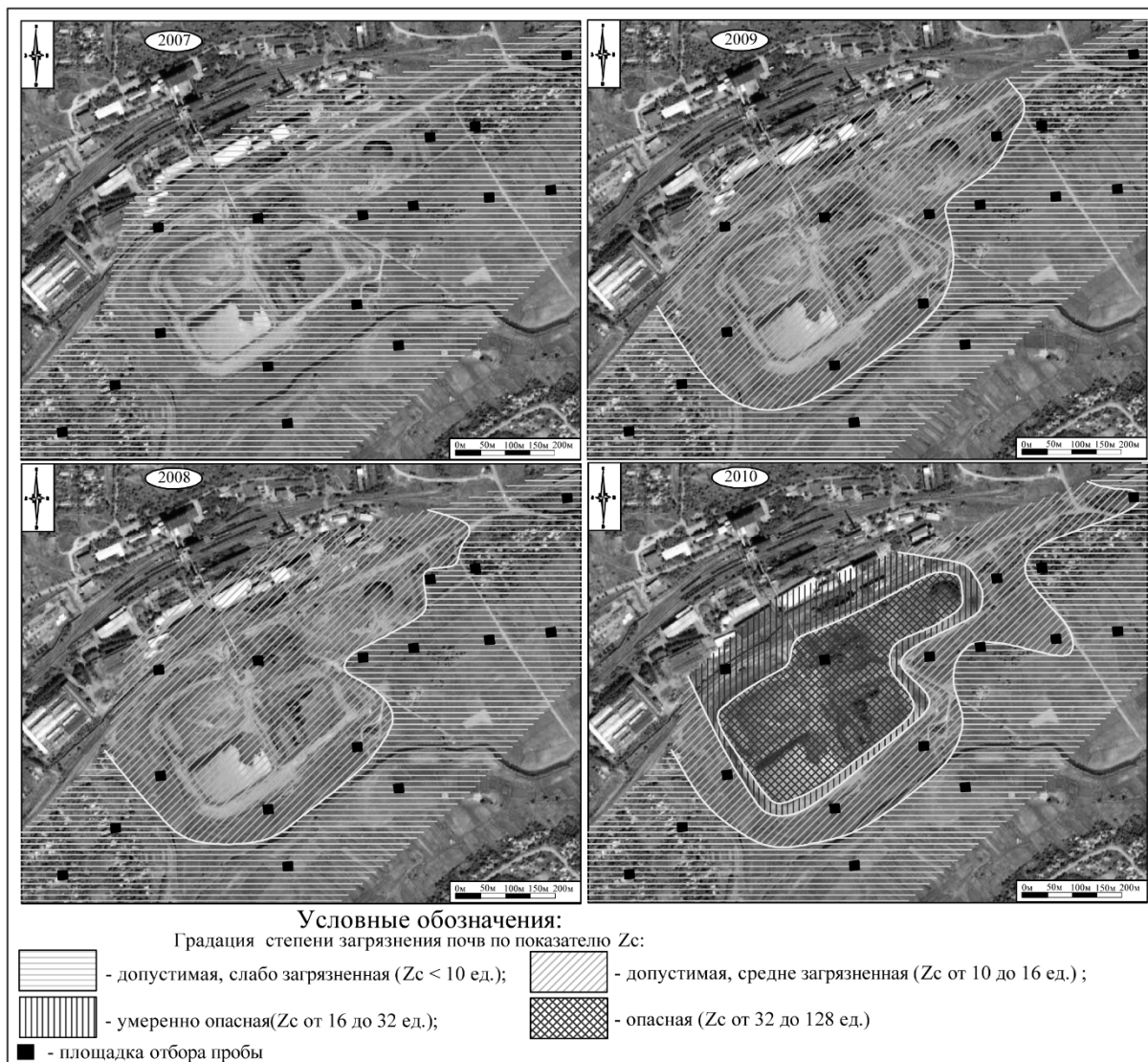


Рис. 2. Динамика ореолов суммарного загрязнения почв в зоне влияния илонакопителя МУПП в течение четырех этапов мониторинга 2007-2010 г.г.

Кадмий основной индикаторный элемент загрязнения почв в связи с источниками добычи, переработки и сжигания угля. В 2007 г. в отходах углеобогащения установлена концентрация кадмия на уровне флуктуации естественного фона почв ($K_c=1,50$ ед., фон – 1,0 мг/кг). Поэтому аномалий в связи с илонакопителем установлено не было (рис. 3). Небольшие аномалии кадмия с концентрацией 2-4 ед. геофона были выявлены за зоной влияния исследуемых объектов к востоку и западу от них.

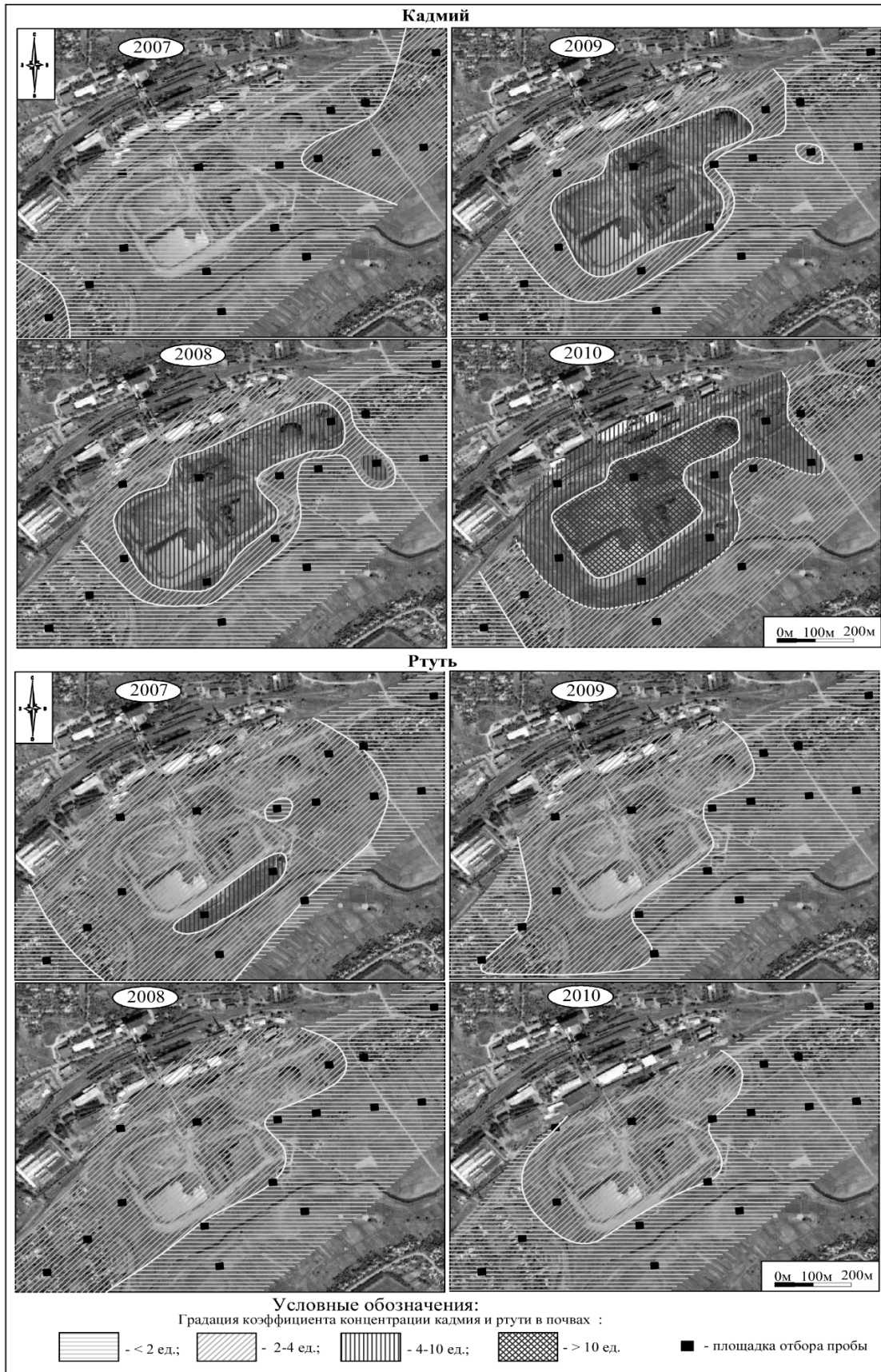


Рис. 3. Динамика аномальных ореолов кадмия и ртути в почвах зоны влияния илонакопителя МУПП в течение четырех этапов мониторинга 2007-2010 г.г.

В 2008 и 2009 г.г. концентрация кадмия в отходах углеобогащения возросла до 7,0 и 6,0 ед. геофона, соответственно, что обусловило формирование аномалий в почвах по периметру участка размещения отходов. В процессе водной миграции к западу от илонакопителя и к югу от площадки просушки в локальном понижении, периодически подтапливаемом во время паводков, сформировалась точечная аномалия, несколько удаленная от границ исследуемых объектов.

В 2010 г. концентрация кадмия в отходах увеличилась до 12,5 мг/кг, вокруг участка размещения отходов сформировался масштабный аномальный ореол. Фоновая концентрация установлена лишь в одной пробе территории жилого сектора к западу от илонакопителя. На расстоянии 100-150 м от границ илонакопителя и площадки просушки выделяется зона с концентрацией более 4 мг/кг, то есть превышающей ПДК. Она не достигает границ жилого сектора, однако представляет с учетом установленной динамики загрязнения повышенную опасность.

Развитие аномальных ореолов ртути несколько отличается от поведения кадмия (рис. 3). В 2007 г. в отходах углеобогащения установлена аномальная концентрация на уровне 2,86 ед. геофона (фон – 0,035 мг/кг). При этом максимальные концентрации ртути установлены к югу от илонакопителя на уровне 4,29-4,86 ед. геофона. В целом вокруг илонакопителя выделялся масштабный аномальный ореол, границы которого удалены на 200 м от контура мест удаления отходов. В 2008 и 2009 г.г. аномальный ореол ртути вокруг илонакопителя несколько сократился. В 2010 г. ореол ртути еще более сократился. В отходах углеобогащения концентрация ртути составила 2,0 ед. геофона. Для аномалий ртути на всех этапах мониторинга устанавливается пространственная связь с илонакопителем и площадкой просушки. Удаленные от источника загрязнения аномалии ртути объясняются ее повышенной мобильностью, способностью мигрировать воздушным и водным путем. При этом интенсивность аномалий снижается, а их размеры расширяются. Некоторый пространственный отрыв аномалий ртути от источника загрязнения – часто наблюдаемое явление.

Распределение мышьяка в 2007 г. соответствовало флуктуации естественного фона в почвах – 1,9 мг/кг (рис. 4). В 2008 г. выделены два эпицентра загрязнения на уровне 4-10 ед. геофона. Первый – в связи с илонакопителем, концентрация мышьяка в отходах углеобогащения установлена на уровне 5,16 ед. геофона. Второй – в жилом секторе к востоку от исследуемых объектов. В этом направлении осуществляется транспортировка отходов на породный отвал автомобильным транспортом. В результате сформирован ореол пылевого загрязнения отходами, что отчетливо проявилось в 2009 г., когда два эпицентра загрязнения почв мышьяком слились в один, вытянутый вдоль автодороги на северо-восток от илонакопителя к застроенной территории. В целом отмечается рост загрязнения почв мышьяком, во всех пробах установлены аномальные концентрации, превышающие местный фон в два и более раза. В 2010 г. ситуация резко изменилась, небольшая аномалия сохранилась к востоку от илонакопителя вне связи с ним. В отходах углеобогащения концентрация мышьяка составила 1,47 ед. геофона.

В течение 2007-2009 г.г. аномалии свинца в почвах исследуемой территории были незначительными и их связь с илонакопителем не устанавливалась (рис. 4). Вокруг илонакопителя концентрация свинца в почвах была несколько ниже, чем на удалении от него. Это объясняется тем, что концентрация свинца в отходах не превышала 2,0 ед. геофона. В 2007 г. единичная аномалия в 2,15 ед. геофона (фон – 20 мг/кг) была установлена в жилом секторе к западу от илонакопителя. В 2008 и 2009 г.г. на некотором удалении вокруг исследуемых объектов выделяются масштабные аномалии на уровне 2-4 ед. геофона. Лишь в 2010 г. устанавливается формирование ореола загрязнения почв свинцом со стороны илонакопителя, который накладывается на площадной аномальный ореол в 2-4 ед. геофона. Концентрация свинца в отходах углеобогащения достигает 10,3 ед. геофона, а по периферии илонакопителя и площадки просушки выделяется аномальная зона в 4-10 ед. геофона. По ней определяется зона влияния илонакопителя на почвы прилегающей территории. Площадной ореол загрязнения почв свинцом не связан с деятельностью илонакопителя и характеризует региональный уровень загрязнения.

В течение 2007-2009 г.г. распределение цинка в почвах и отходах углеобогащения соответствовало флуктуации природного фона для почв – 70,0 мг/кг (рис. 5). Лишь в 2010 г. концентрации цинка в отходах углеобогащения увеличились до 18,15 ед. геофона, что отразилось формированием аномального ореола в прилегающих к илонакопителю почвах. Зона влияния исследуемых объектов при этом не превысила 100 м.

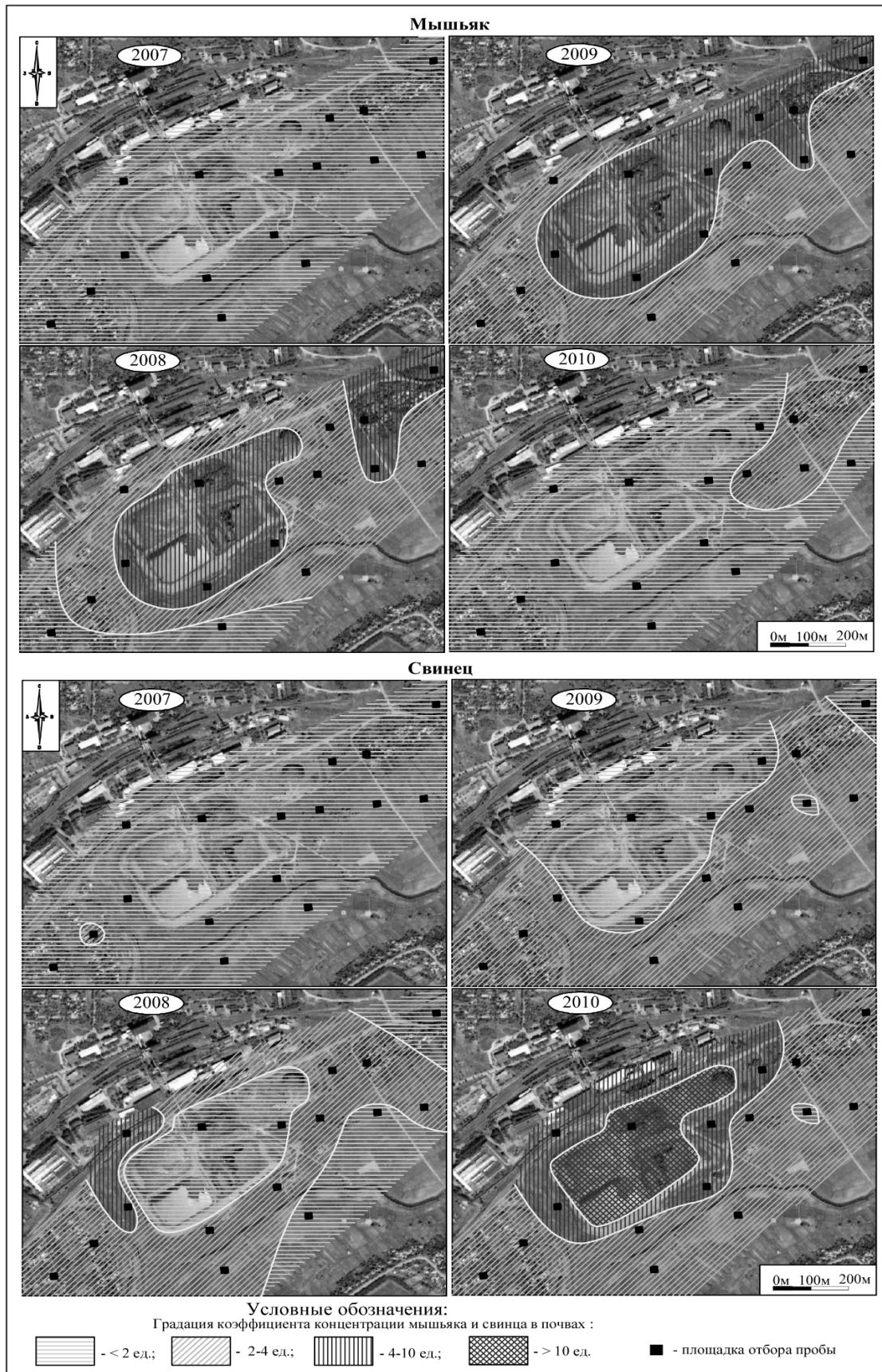


Рис. 4. Динамика аномальных ореолов мышьяка и свинца в почвах зоны влияния илонакопителя МУПП в течение четырех этапов мониторинга 2007-2010 г.г.

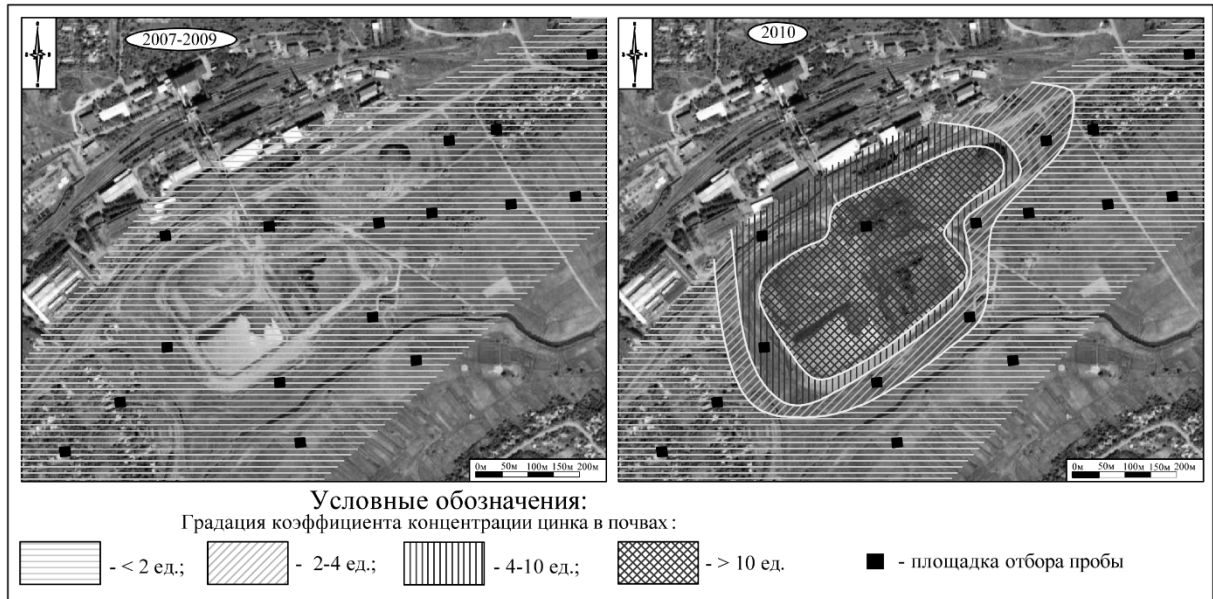


Рис. 5. Динамика аномальных ореолов цинка в почвах зоны влияния илонакопителя МУПП в течение четырех этапов мониторинга 2007-2010 г.г.

Исследованиями подтверждается вывод о неустойчивом характере техногенных аномалий токсичных элементов в почвах, об их быстром динамичном развитии, обусловленном внешними природными и техногенными факторами. Под действием постоянно меняющихся природных факторов токсичные элементы переходят в подвижное состояние и мигрируют в грунтовые и поверхностные воды, вовлекаются в биогенный цикл. Особую роль в мобилизации техногенного вещества играют микробиологические показатели почв. Техногенные факторы определяют интенсивность и масштабы загрязнения, геохимический спектр формирующихся в почвах аномалий. Стабильность деятельности техногенного источника загрязнения обеспечивает постоянство аномалий в зоне его влияния, однако смена микроэлементного состава отходов сопровождается изменением геохимического спектра индикаторных элементов загрязнения почв.

Отходы углеобогащения служат источником интенсивного сульфатного засоления почв. Наиболее масштабное и интенсивное площадное засоление почв сульфатами установлено в 2007 г., когда степень загрязнения токсичными элементами была минимальной. Динамика засоления почв сульфатами согласовывается с изменениями их концентраций в отходах углеобогащения (рис. 6 и 7).

В 2008 и 2009 г.г. интенсивность площадного загрязнения сульфатами сократилась, отчетливо обозначилась зона влияния илонакопителя и площадки просушки, расширяемая в южном направлении за счет водной миграции. В этот же период отмечается рост загрязнения почв токсичными элементами. В 2010 г. ореол сульфатного загрязнения еще более сократился.

Сульфатное засоление развивается весьма динамично, сульфаты легко мигрируют в водоносные горизонты и р. Грузская. Об этом свидетельствует резкое изменение их концентраций в пределах исследуемых площадок, например, в одной и той же пробе в 2007 г. концентрация сульфатов составляла 28953,6 мг/кг, а в 2008 г. – 96,0 мг/кг. Тем не менее, регулярная деятельность источника и формирование за счет водной миграции определили относительную устойчивость ореолов сульфатного засоления.

Динамика основных показателей загрязнения почв зоны влияния илонакопителя в течение четырех этапов мониторинга устанавливается на графиках (рис. 6). При этом на рис. 6 приведены графики, построенные на основании расчетных средних значений показателей загрязнения по всем пробам почв, а на рис. 7 графики отражают динамику этих же показателей для отходов углеобогащения.

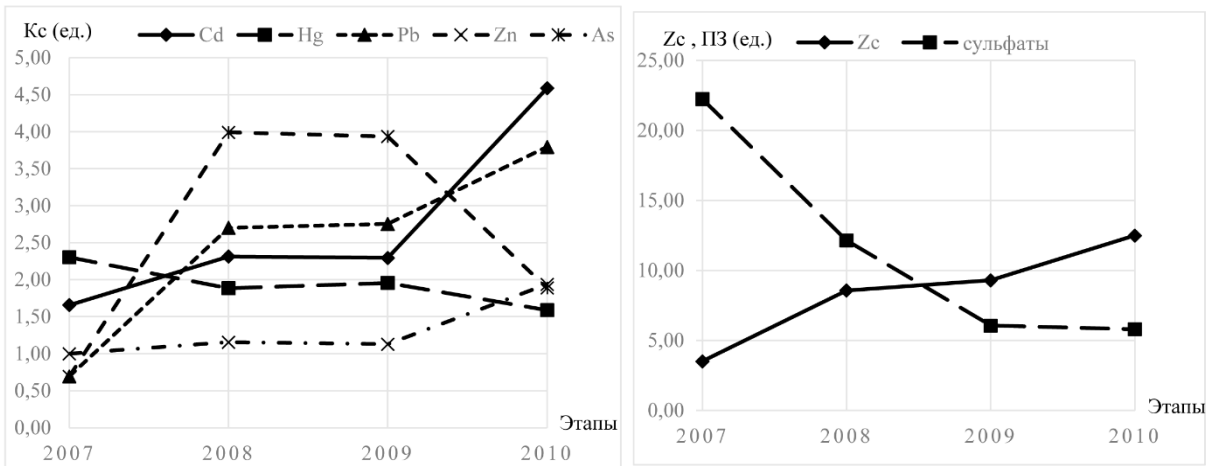


Рис. 6. Динамика основных показателей загрязнения в почвах зоны влияния илонакопителя МУПП в течение 2007-2010 г.г.

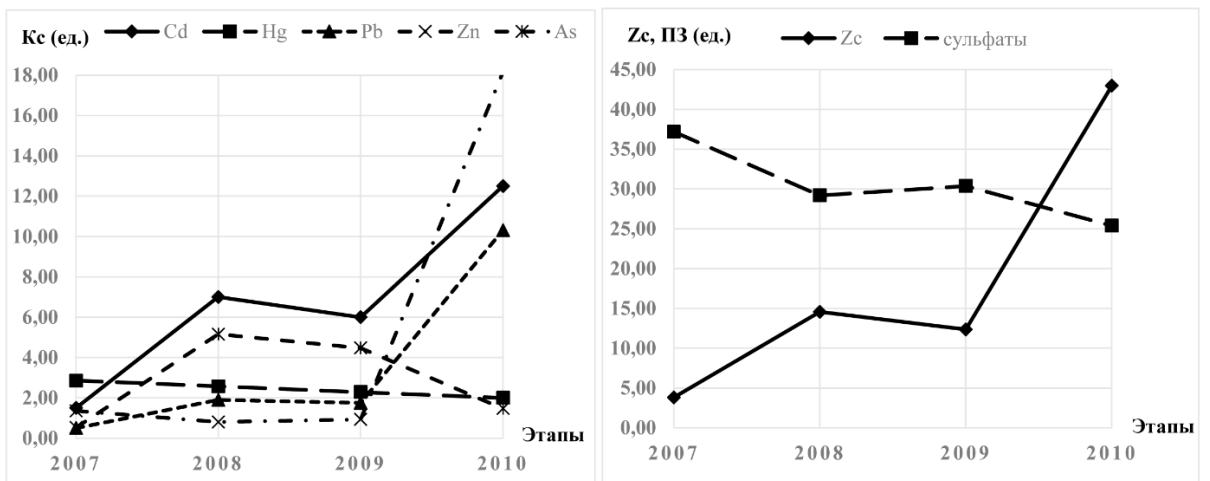


Рис. 7. Динамика основных показателей загрязнения в отходах углеобогащения МУПП в течение 2007–2010 г.г.

Анализ графиков позволяет сделать два важных вывода:

1. Геохимический спектр ореолов загрязнения почв связан с геохимической специализацией угля. Характер динамических кривых в отходах и почвах аналогичен для всех показателей, различается лишь в уровне концентрирования. Изменение концентраций элементов в отходах привело к согласованному их поведению в почвах. Так в 2007 г. небольшое концентрирование отмечается лишь для ртути, в 2008 и 2009 г.г. аномалии характерны для кадмия, мышьяка, в меньшей степени для ртути и свинца, в 2010 г. главную роль играют цинк, кадмий и свинец.
2. Устанавливается четкая закономерность в поведении токсичных элементов и сульфатов – чем выше концентрация сульфатов, тем ниже уровень суммарного загрязнения токсичными элементами и, наоборот. Это связано с различными условиями их миграции и локализации в рамках водной дифференциации. Сульфаты концентрируются в условиях повышенной кислотности, растворяются и мигрируют при повышении pH. Катионогенные элементы – большая часть токсичных элементов и тяжелых металлов, мигрируют в кислой среде и локализуются в условиях поверхности на щелочном барьере. Поэтому быстрая динамика ореолов загрязнения и засоления почв определяется установленной для региональных ореолов сезонной сменой почвенных условий [5].

Полученные в процессе мониторинга результаты позволяют по-новому оценить степень экологической опасности загрязнения почв. Быстрая динамика развития ореолов загрязнения почв, обусловленная скоростью процессов локализации элементов и их последующего выноса в контактирующие среды, позволяет говорить о высокой экологической опасности территорий, где постоянно, но на разных участках устанавливаются техногенные аномалии. Установленная динамика ореолов загрязнения почв указывает на высокую подвижность техногенного вещества, его способность мигрировать водными потоками и вовлекаться в биологические циклы. С учетом того, что техногенные компоненты, преимущественно токсичные микроэлементы и соли, нетипичны для естественного развития биосферы, их повышенные концентрации и подвижность могут представлять значительную экологическую опасность, степень которой при существующем уровне изученности достоверно оценить не представляется возможным. Полученные данные свидетельствуют о необходимости пересмотра системы мониторинга почв и контактирующих компонентов окружающей среды.

Библиографический список

1. Алексеев В.А. и др. Металлы в окружающей среде. Почвы геохимических ландшафтов Ростовской области: Учебное пособие. – М.: Логос, 2002. – 212 с.
2. Федоренко Н.Г., Медведева М.В. Методика исследования почв урбанизированных территорий. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2009. – 84 с.
3. Экологический мониторинг: шаг за шагом. Е.В. Венецианов и др. Под ред. Е.А. Заика. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2003. – 252 с.
4. Королев В.А. Мониторинг геологической среды. М.: Изд-во МГУ, 1995. – 272 с.
5. Выборов С.Г., Силин А.А., Россеева Ю.Ю., Ливадня Я.Ю., Горбачева Е.Ю. Геохимические особенности динамики развития техногенных аномалий в почвах. Опыт мониторинга состояния почв Донбасса. Наукові праці ДонНТУ. Серія «Гірничо-геологічна». – Вип. 15 (192). – Донецьк, ДонНТУ, 2011 р. – С. 309-316
6. СанПиН 4266-87. Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами. – М.: Минздрав СССР, 1987. – 25 с.

Надійшла до редакції 17.06.14

С. Г. Выборов

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», Донецьк, Україна

Динаміка забруднення ґрунтів у зв'язку відходами вуглезбагачення

Розглядаються питання просторово-часової динаміки техногенних аномалій у ґрунтах. Отримані результати регулярного моніторингу дозволяють по-новому оцінювати екологічну небезпеку ореолів забруднення. Накопичені 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.

S. Vyborov

Donetsk National Technical University, Donetsk, Ukraine

Dynamics of soil contamination with coal wastes

The paper considers the dynamics of man-made anomalies in soils. The results obtained by monitoring provide a new estimation of ecological hazard in contaminated areas. Toxic elements accumulate there and come as water solutions in contacting mediums including living organisms.

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