

## К ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ ПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ НА ОРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

*С.Г. Выборов, А.А. Силин, Донецкий национальный технический университет, Украина  
Р.В. Кишкань, исполком Донецкого городского совета, Украина*

Приведены результаты исследований породных отвалов г. Донецка, дана минералого-геохимическая характеристика процессов преобразования отвальных пород, оценка их влияния на почво-грунты прилегающих территорий, определена связь ореолов загрязнения почв с терриконами на основе анализа ассоциативной геохимической зональности.

Породные отвалы угольных шахт длительное время являются предметом разносторонних исследований специалистами разных отраслей науки. Неослабевающий интерес к изучению данного техногенного явления обусловлен тем, что:

1. Отвалы занимают значительные участки земли в пределах селитебных территорий.
2. Отвалы, как накопители опасных отходов, служат источником комплексного негативного воздействия на окружающую среду.
3. Породы отвалов могут представлять интерес в качестве вторичного сырья и рассматриваться как техногенные месторождения полезных ископаемых.

Наибольшая экологическая опасность исходит от горящих терриконов. Механизм самовозгорания и горения породной массы является наиболее исследованным [1]. Существуют многочисленные данные о техногенных минералах терриконов, о геохимической специализации отвальных пород, о возможностях их использования в качестве вторичного сырья, как для извлечения полезных компонентов (главным образом, алюминия и германия), так и для изготовления строительных материалов (щебня, кирпича и пр.) [2-4].

При достаточно высокой степени изученности породных отвалов до настоящего времени существуют противоречивые данные о степени и характере их воздействия на окружающую среду в целом и на геологическую среду в частности. Действующие горящие терриконы взяты под контроль. Здесь регулярно проводится температурная съемка их поверхности, выявляются очаги горения и расчетным путем определяются объемы и качественный состав выбросов. При необходимости разрабатываются и реализуются мероприятия по ликвидации очагов горения. Кроме этого в зонах влияния действующих терриконов осуществляется контроль качества атмосферного воздуха на ограниченный круг компонентов (пыль, двуокись серы, окись углерода, двуокись азота, сероводород и аммиак). Гораздо реже осуществляется контроль качества почв прилегающих к отвалам территорий и в единичных случаях проводится отбор проб поверхностных и подземных вод.

Сложившаяся система мониторинга мест размещения породных отвалов не позволяет на достоверной представительной основе оценить всю полноту их негативного влияния на окружающую среду и степень опасности для населения прилегающих к терриконам селитебных территорий. Эта задача может быть решена при системном исследовании породных отвалов и компонентов геологической среды прилегающих к ним территорий, включая почвы, грунты зоны аэрации, водовмещающие породы, донные отложения, поверхностные и подземные воды.

Такой подход реализуется в настоящее время в г. Донецке, где начиная с 2008 г. составлены каталог терриконов и карта их размещения, проведено обследование большей части отвалов на предмет изучения процессов окисления и горения породной массы, состояния поверхности с отбором проб и образцов.

В пределах территории г. Донецка насчитывается более 120 разных по размеру породных отвалов (рис. 1). Они занимают площадь более 1000 га и в них сосредоточено более 600 млн. т отходов. Действующих отвалов 32, из них не горящими считаются 4 террикона.

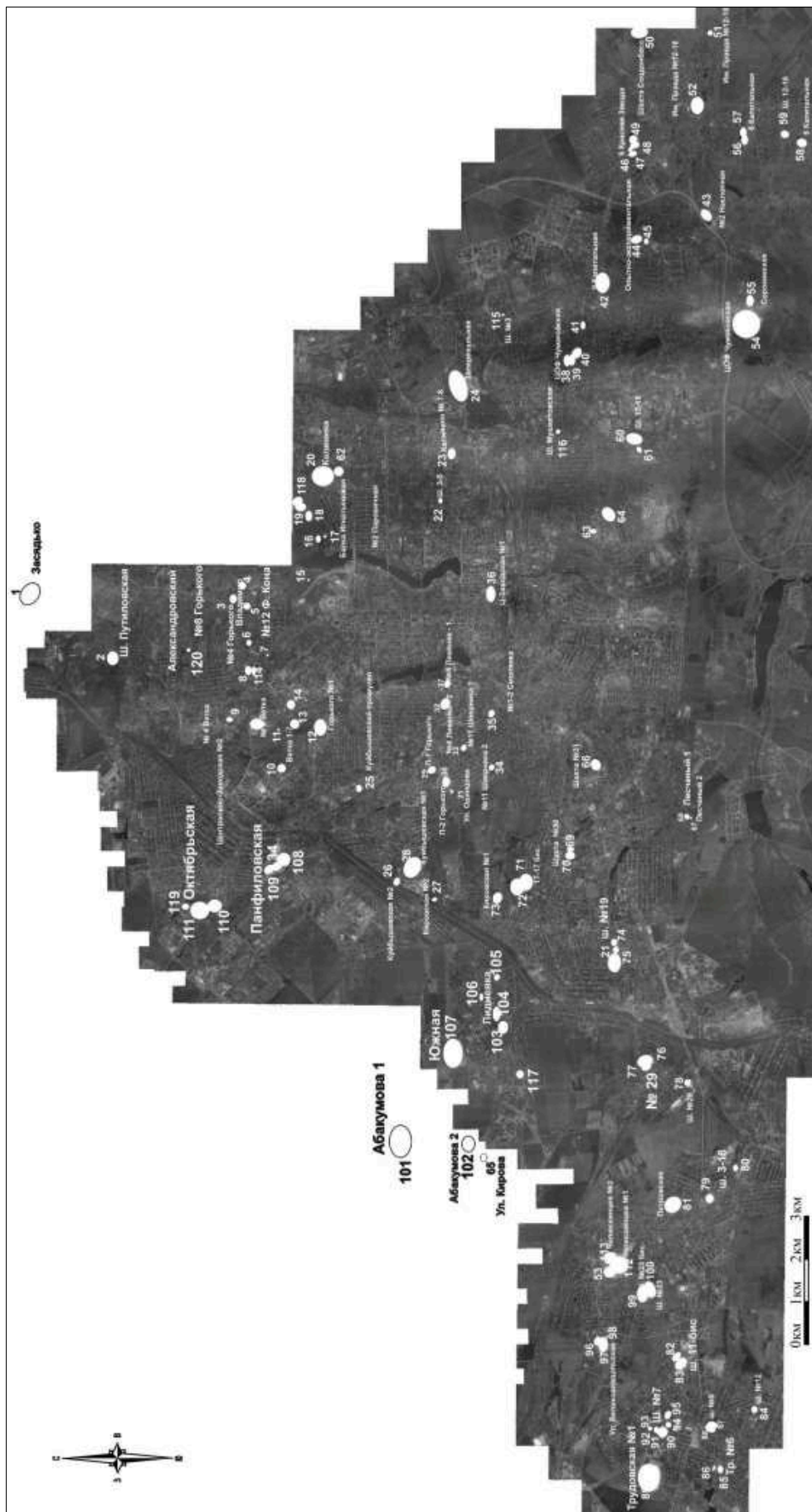


Рис. 1. Схема размещения породных отвалов г. Донецка

По морфологии выделяются конические, усечено-конические и плоские терриконы. По состоянию отвалы делятся на горящие, не горящие и потухшие. Кроме этого существует небольшое число терриконов, где в разной степени реализованы рекультивационные мероприятия, поверхность некоторых из них покрыта условно-плодородным слоем грунта и озеленена.

Породная масса терриконов может рассматриваться в качестве компонента геологической среды, представленного современными техногенными отложениями, слагающими тела определенной морфологии. Как и все свежие осадочные отложения, формируемые естественным и техногенным путем, породы терриконов находятся в неравновесном состоянии и под действием внутренних и внешних факторов претерпевают закономерные преобразования. Для естественных осадочных образований эти изменения определяются понятием диагенеза, ведущую роль в котором занимают аэробные и анаэробные микробиологические процессы. Диагенетические изменения породной массы терриконов протекают весьма своеобразно. Однако и в данном случае ведущая преобразующая роль здесь принадлежит аэробным и анаэробным микроорганизмам при активном участии инфильтрационных вод.

В теле породных отвалов формируется временная или постоянная зона водонасыщения, для некоторых крупных терриконов установлено существование техногенного водоносного горизонта. Этому благоприятствует залегание в основании отвала суглинков, аллювиальных глин или глинистых кор выветривания, которые под давлением породной массы уплотняются и могут служить водупором для формируемого техногенного водоносного горизонта. Верхняя граница зоны водонасыщения обогащена кислородом, что в присутствии высокой концентрации сульфидной серы и органического вещества благоприятствует развитию аэробных окислительных процессов с выделением тепла. Развитие этих процессов лишь при благоприятных условиях приводят к очаговому самовозгоранию и плавлению породной массы.

Температурное воздействие на отвальные породы сопровождается преимущественно их выгоранием и спеканием. В результате формируются литифицированные разнообломочные породы преимущественно кирпично-красного цвета. При этом в целом сохраняется слоистость отсыпки породной массы, а также реликтовые текстурно-структурные особенности спекшихся обломков, по которым достаточно легко устанавливаются первичные породы – аргиллиты, алевролиты или песчаники. Как правило, обломки приобретают пористую текстуру, ориентированную согласно первичной слоистости и сланцеватости. В очагах горения полностью замещаются и окисляются, однако сохраняют свои формы изделия из металла (рельсы, болты и пр.).

Гораздо реже процесс горения породной массы приводит к ее плавлению. Лишь в некоторых терриконах установлены локальные участки, где породы полностью переплавлены и представляют собой монокристаллические стекловатые образования пористой текстуры, преимущественно темно-серого цвета. Текстурно-структурные особенности первичных пород в этих случаях не устанавливаются.

Наиболее широко распространены окислительные изменения отвальных пород без значительного температурного воздействия. Породы при этом приобретают кирпично-красный цвет, однако обломочная масса сохраняет рыхлое сложение и достаточно легко поддается ручной разборке. Здесь отчетливо выражена слоистость отсыпки, местами сохраняются первичные слабо окисленные отвальные породы темно-серого, черного цвета. Обломки пород сохраняют первичные текстурно-структурные особенности и даже отчасти минеральный состав, например, чешуйки мусковита, развитого согласно сланцеватости. Рыхлое сложение благоприятствует развитию водной эрозии бортов терриконов, осыпей и небольших оползней.

Наибольшую экологическую опасность представляют активно горящие терриконы, количество которых постепенно снижается. Однако в процессе проведенных изысканий на всех обследованных терриконах даже при отсутствии очевидных очагов горения отмечаются

следы окислительных процессов, проявленные выделениями свежей фумарольной сульфатной минерализации. Эти наблюдения позволили сделать вывод о том, что аэробные окислительные процессы в той или иной степени проявлены на всех терриконах, на части из них они приводят к активному очаговому горению, которое сопровождается выгоранием и спеканием породной массы, а местами ее плавлением. Окислительные процессы не всегда сопровождаются горением пород, захватывают терриконы практически в полном объеме и протекают на протяжении длительного времени по отношению к активной фазе горения. В этой связи медленные окислительные процессы также представляют значительную экологическую опасность для прилегающих территорий.

Окислительные процессы и их продукты достаточно хорошо изучены. Практически не исследованы анаэробные процессы преобразования породной массы терриконов, которые проявлены в условиях недостатка кислорода в нижней части зоны водонасыщения. Они однозначно фиксируются по выделениям сероводорода и аммиака со стороны практически всех породных отвалов. Однако в условиях поверхности продукты восстановительных реакций быстро окисляются и приобретают вид описанных типов отвальных пород. Их изучение возможно при вскрытии глубинных участков терриконов в процессе разборки или бурения. Лишь на одном из терриконов шахты № 6 Красная Звезда были встречены высыпки пород черного цвета с вторичным пиритом, который развивался по поверхности обломков в виде тонких корочек, мелкозернистых налетов.

Вся совокупность процессов преобразования отвальных пород терриконов представляет экологическую опасность. Окислительные процессы сопровождаются выбросами различных окислов и не учитываемых при существующем мониторинге паров серной кислоты, различных летучих соединений металлов и токсичных элементов. Анаэробные процессы сопровождаются выбросами аммиака, сероводорода. При этом аэробные и анаэробные процессы с разной степенью активности могут одновременно происходить в одном терриконе.

Опыт регулярного мониторинга показывает, что в летний период времени процессы преобразования отвальных пород активизируются, ореол воздействия терриконов разрастается и может распространяться на расстояние до одного км от их подошвы. Масштабы негативного воздействия всей совокупности терриконов таковы, что если ограничить зоны их влияния 500 метровой линией от подошвы, то они покроют более 50% территории г. Донецка. Выбросы в атмосферный воздух со стороны терриконов г. Донецка составляют 20% от всего их объема, вырабатываемого стационарными источниками.

Для исследования влияния отвалов на компоненты геологической среды была выбрана площадка, расположенная практически в центре города в долине балки без названия (р. Бахмутка) к северу от пр. Панфилова, известная под названием урочище Бахмутка. Здесь на склонах балки на небольшом расстоянии друг от друга расположены три крупных и два мелких недействующих террикона. Наиболее крупный отвал № 1 ш. им. Горького считается не горящим, однако находится в состоянии активных окислительных процессов, которые проявляются видимыми парообразными выбросами в пределах неглубоких выемок на его поверхности, а также налетами сульфатов по периферии локальных зон окисления, вскрытых эрозией и механически при прокладке автомобильной дороги. Отвал № 1-7 Ветка является активно горящим. Очаг горения выявлен на его плоской, срезанной поверхности, где отмечаются выбросы горячих паров воды и серной кислоты по трубообразным каналам и трещинам. Вокруг очага горения устанавливаются обильные выделения серы и сульфатной минерализации желтого и белого цвета. По срезанным и эродированным бортам отвала выделяются более локальные очаги окисления, где вокруг сохранившейся первичной рыхлой породной массы черного цвета формируется зонально-построенный ореол изменения (рис. 2). В центре очага окисления сохраняется первичный рыхлый породный материал отвала, черного цвета, вокруг которого устанавливается переходная зона, где породы приобретают бурый, вишневый оттенок, видна белая сульфатная минерализация и выделения серы желтого цвета, которые заполняют поры, трещины, образует налеты в виде корочек

желтого цвета. Далее отчетливо выделяется зона белой прожилково-вкрапленной сульфатной минерализации. Здесь породы приобретают кирпично-красный цвет. Эта зона постепенно сменяется полностью окисленными породами, которые сохраняют кирпично-красный цвет и где сульфатная минерализация визуально не обнаруживается. Породы становятся более прочными с микрокристаллической структурой и пористой текстурой, местами под действием высоких температур спекаются в монолитную брекчиевидную массу.

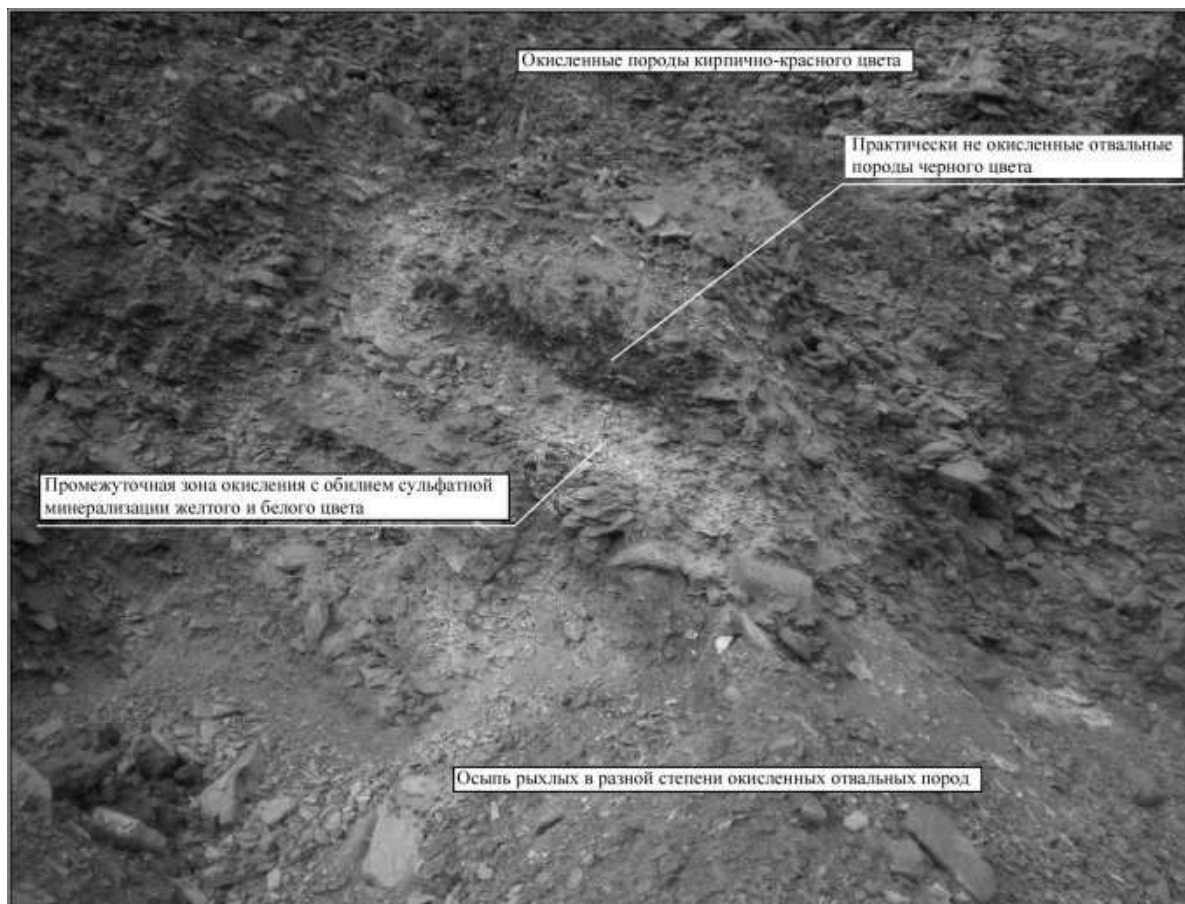


Рис. 2. Локальная зона окисления в срезанном борту террикона № 1-7 Ветка

Зоны желтой и белой сульфатной минерализации являются промежуточными между первичными породами отвалов и окисленными (горелыми) породами. Размеры этих зон колеблются в широких пределах. На отвале № 1-7 Ветка эти зоны имеют размеры от первых десятков сантиметров до нескольких метров.

В процессе окисления и горения меняется химический состав исходных пород, каждая из выделенных зон имеет свои петрохимические и геохимические особенности, именно развитие этих зон контролирует процессы миграции макро- и микроэлементов в окружающую природную среду. Изменение химического состава пород в различных зонах носит закономерный характер (табл. 1). В окисленных породах отмечается рост содержания кремнезема, глинозема,  $Fe_2O_3$ ,  $SO_3$ , значительное повышение концентрации сульфатов до 17463,7 мг/кг. Часть компонентов, особенно  $C_{орг.}$ , выносятся из очагов окисления, их концентрации падают в направлении от исходных пород к горелым. В окончательно перегоревших породах содержание серы резко снижается, что связано с вымыванием новообразованных сульфатов атмосферными осадками.

Наряду с петрогенными компонентами, в окисленных породах увеличиваются концентрации токсичных микроэлементов – Pb, As, Hg, Cd (табл. 2). Характер их распределения в промежуточных зонах свидетельствует о переходе данных элементов в

подвижное состояние, позволяющее мигрировать в окружающую среду воздушным и водным путем.

Табл. 1. Поведение петрогенных компонентов в зонах ореола окисления отвальных пород

№ зоны	Содержание в массовых долях на сухое вещество										
	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	S	C <sub>орг</sub>
1	50,21	6,31	0,92	17,73	0,93	1,55	2,62	0,93	1,93	0,04	7,71
2	53,57	10,66	1,03	18,43	1,31	1,26	2,54	1,10	3,89	0,14	0,16
3	44,00	7,40	0,94	17,97	1,02	2,70	2,43	1,50	9,15	0,16	0,67
4	54,36	9,43	1,06	20,86	1,30	1,15	2,38	1,05	3,27	0,06	0,11

Примечание: зона 1 – исходная порода (уголь, углистые аргиллиты, сланцы черного цвета); зона 2 – окисленный аргиллит с налетами желтой сульфатной минерализации; зона 3 – окисленный кирпично-красный аргиллит с прожилково-вкрапленной белой сульфатной минерализацией; зона 4 – окисленные аргиллиты кирпично-красного цвета

Табл. 2. Распределение микроэлементов в зонах ореола окисления отвальных пород

№ зоны	Концентрация микроэлементов в мг/кг												
	Pb	Cd	As	Hg	Cu	Ni	Cr	Zn	V	Co	Mo	Mn	Ge
1	25,0	1,9	4,2	0,060	50	47	102	94	94	18	1,5	715	1,5
2	34,3	2,9	3,8	0,035	33	72	104	93	94	15	1,8	724	1,5
3	17,1	2,4	1,9	0,030	71	51	97	102	105	24	2,2	986	1,0
4	97,1	2,9	5,5	0,100	48	52	85	98	86	22	2,2	724	3,0

В результате воздушных и водных миграционных процессов техногенные компоненты попадают в почвы, грунты зоны аэрации, водовмещающие породы, донные отложения, поверхностные и подземные воды, образуя вокруг терриконов закономерно-построенные ореолы замещения геологической среды.

С целью исследования негативного влияния породных отвалов на окружающую среду и изучения динамики загрязнения весной и осенью 2009 г. было проведено опробование почво-грунтов территории, прилегающей к отвалам № 1 шахты Горького и № 1-7 Ветка (рис. 3). На первом этапе отбор проб осуществлен в апреле 2009 г. в полном объеме (74 пробы) по относительно равномерной сети с ячейкой 100x100 м. На втором этапе в сентябре 2009 г. пробы отбирались выборочно по контрольному створу, пересекающему исследуемый участок вдоль балки с северо-запада на юго-восток (15 проб).

Около 70% территории изысканий занимают насыпные грунты антропогенного происхождения. На остальной территории преобладают первичные почвы лесных массивов, занимающие около 25 % площади участка изысканий. Почвы мочарных ландшафтов (заболоченных участков) занимают около 3% исследуемой площади. Около 2% первичных почв расположено на пустырях.

Современные ландшафты территории сформированы и продолжают развиваться при активной антропогенной деятельности. Существенно преобразован рельеф, изменен состав и структура почво-грунтов, гидродинамический и гидрохимический режим. По периметру исследуемой площадки расположено большое число антропогенных источников загрязнения: жилые много- и малоэтажные застройки; гаражи; железная дорога; густая сеть автомобильных дорог; илонакопитель.

Основное загрязнение почво-грунтов территории со стороны терриконов происходит в результате выбросов формирующихся процессами преобразования породной массы летучих продуктов в атмосферный воздух и последующего их рассеивания в соответствии с направлением ветров. Более локальное загрязнение происходит поверхностным стоком и подземным фильтрационным потоком. В последнем случае загрязнение почв может проявляться на участках подтопления в долине балки. Общее направление водной миграции

химических элементов и соединений в пределах исследуемой территории происходит в долину балки и далее вдоль нее. Область сноса связана со склонами, а область аккумуляции – с долиной балки.

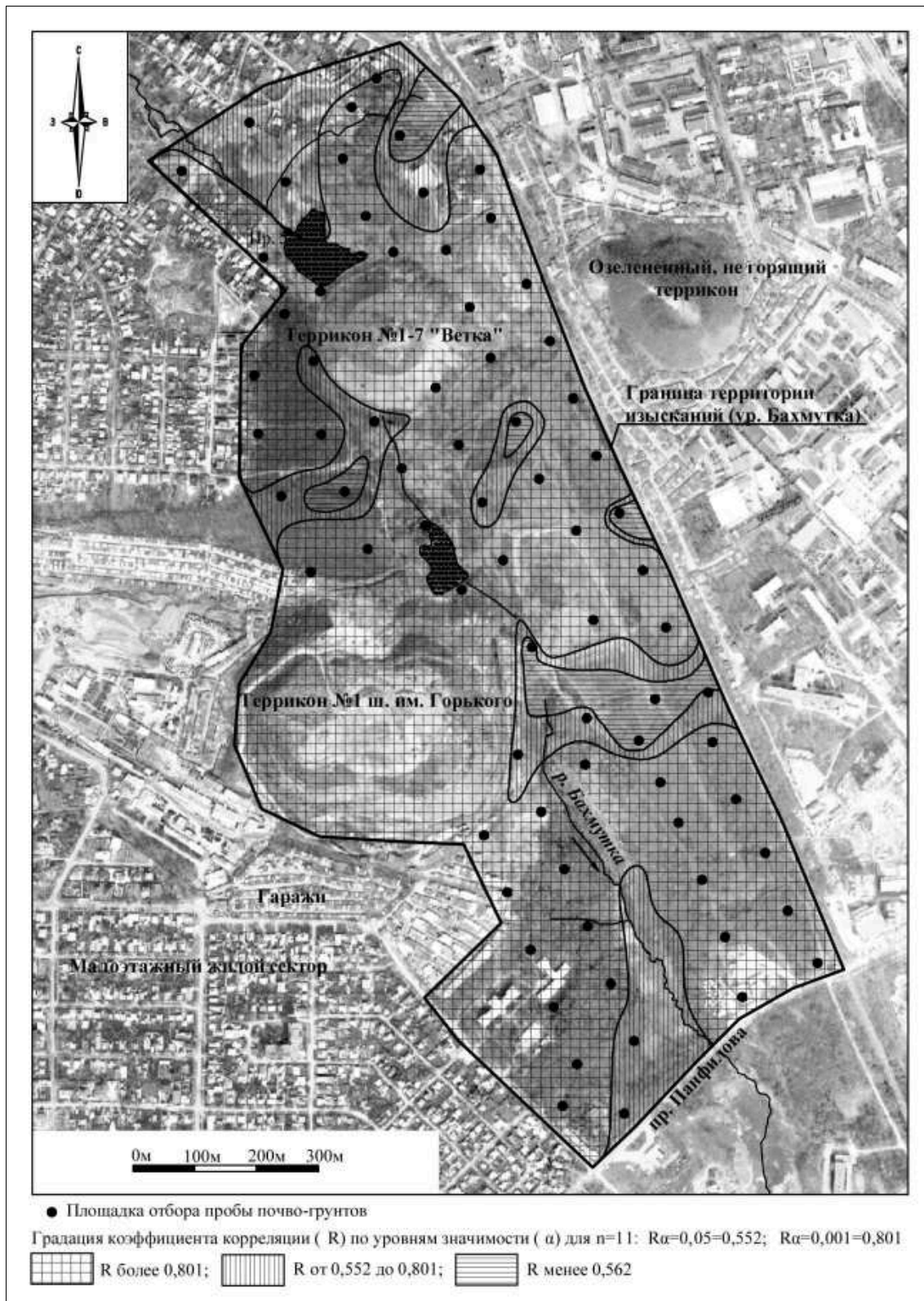


Рис. 3. Карта ассоциативной геохимической зональности ореолов загрязнения почв территории ур. Бахмутка на основе корреляционного анализа

В апреле 2009 г. установлена допустимая степень суммарного загрязнения почв исследуемой территории по показателю  $Z_c$ , рассчитанному в соответствии с существующими методическими рекомендациями [5]. При этом почти половина площади почво-грунтов характеризовалась повышенной – средней категорией загрязнения ( $Z_c$  от 10 до 16 ед.). На этом фоне выделялись локальные зоны умеренно-опасной степени загрязнения. Основными элементами, влияющими на степень суммарного загрязнения, являлись кадмий, ртуть и свинец. Концентрация остальных токсичных элементов находится в пределах флуктуации нормального геохимического поля. Наиболее масштабные и интенсивные ореолы загрязнения выделены для кадмия. На большей части исследуемой площади его концентрации превышают ПДК.

Для изучения связи установленных очагов загрязнения с породными отвалами была изучена ассоциативная геохимическая зональность выявленных ореолов и определено ее соответствие геохимическому спектру породных новообразований терриконов на основе корреляционного анализа (рис. 3). Практически во всех очагах загрязнения почво-грунтов (80% площади) геохимический спектр (ассоциация элементов) с вероятностью 99,9% аналогичен геохимической специализации отвальных пород терриконов. В общую зональность логично вписываются также небольшие участки первичных почв, где загрязнение на момент изысканий не установлено. Здесь связь геохимической ассоциации почв с породными отвалами отсутствует.

В рамках контрольного этапа отбора проб в сентябре 2009 г. установлен рост суммарного загрязнения почво-грунтов до умеренно-опасной и опасной степени. Также как и на первом этапе, кадмий является основным элементом загрязнителем почв. Его концентрации значительно выросли в некоторых пробах и достигли уровня 17,5-20,25 ПДК. Выявленные весной площадные ореолы загрязнения кадмия с размытыми очертаниями, осенью сменились локальными и интенсивными.

Анализ ассоциативной геохимической зональности позволяет с высокой степенью вероятности (99,9%) утверждать о связи загрязнения почв исследуемой территории с терриконами. Основными индикаторными элементами загрязнения почв со стороны терриконов являются Cd, Hg, Pb, в некоторых случаях As. Полученные данные о степени, характере и масштабах загрязнения почво-грунтов доказывают актуальность разработки экологически обоснованной концепции обращения с породными отвалами и организации системы комплексного экологического мониторинга состояния атмосферного воздуха, почв, грунтов зоны аэрации, водовмещающих пород, донных отложений, поверхностных и подземных вод в пределах городской черты.

#### Список литературы

1. Зборщик М.П., Осокин В.В. Горение пород угольных месторождений и их тушение. – Донецк: ДонГТУ, 2000. – 180 с.
2. Алехин В.И., Мигуля П.С., Проскурня Ю.А. Минералого-петрографические и эколого-геохимические особенности пород терриконов Донбасса (на примере Донецко-Макеевского промышленного района). Сб. научн. тр. НГА Украины. – Днепропетровск. – 1998. – Т. 5, №3. – С. 35-39.
3. Нетрадиционные ресурсы минерального сырья. А.А. Арбатов, А.С. Астахов, Н.П. Лаверов, М.В. Толкачев. – М.: Недра, 1988. – 253 с.
4. Техногенные ресурсы минерального строительного сырья / Туманова Е.С, Цибизов А.Н., Блоха Н.Т. и др. – М.: Недра, 1991. – 208 с.
5. Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами. № 4256-87. – М.: Министерство здравоохранения СССР, 1987. – 29 с.