

УДК 550.42

Экологические последствия структурно-вещественных преобразований отвальных пород терриконов

Выборов С. Г. *, Проскурня Ю. А., Силин А. А.

ДонНТУ

Поступила в редакцию 28.04.09, принята к печати 13.12.09.

Аннотация

Дана общая характеристика породных отвалов г. Донецка. Выделены четыре зоны преобразования исходной породы в процессе горения и рассмотрены геохимические особенности каждой из них. Рассмотрены факторы негативного влияния породных отвалов на окружающую природную среду, а именно – поступление токсичных элементов в почво-грунты и подземные воды, парогазовые выделения, включающие в себя летучие соединения токсичных элементов, нарушение фильтрационных свойств грунтов, формирование зон замещения в грунтах зоны аэрации и в водовмещающих породах.

Ключевые слова: породный отвал, токсичные элементы, почва, подземные воды.

Терриконы являются неотъемлемой частью ландшафта больших и малых городов Донбасса. Только в Донецке их количество по разным источникам составляет от 120 до 138. Около 100 породных отвалов являются не действующими, из них только 25 считаются горящими. Из 32 действующих породных отвалов 28 – горящие. Высота породных отвалов Донецка колеблется в пределах от 8 м до 126,6 м.

Породы, идущие в отвал, образуются за счет проходки выработок (52%) и их ремонта (48%). Такие "пустые" породы складированы вблизи стволов шахт в виде терриконов высотой до 60–80 м и отвалов хребтовой формы (в сумме 92%), реже — плоских отвалов (8%). Средний литологический состав отвалов отражает состав угленосной толщи. Это аргиллиты (60–80%), алевролиты (10–30%), песчаники (4–10%), известняки (редко до 6%, обычно меньше), а также значительные примеси угля (6–20%). Кроме того, отвалы содержат существенную долю техногенных материалов — деревянной крепи, металлических изделий, проводов и пр. При отсыпке отвалов происходит гравитационная сегрегация породы, т.е. разделение отсыпаемых пород по размерам обломков и удельному весу. При этом крупные и тяжелые обломки концентрируются у подножья отвалов, а углистое вещество распределяется неравномерно. Наименьшую зольность имеют породы в средней по высоте части отвала, к вершине и основанию она повышается. Отвальная масса изученных шахтных терриконов имеет зольность в пределах 57-99%, составляя в среднем 88,5%. Влажность изменяется от 0,2% до 11,7%, составляя в среднем 3,4%. Содержание общей серы в отвалах колеблется от 0,01% до 10,9%. В составе общей серы преобладает сера сульфидная (84%) [1].

Попадая в терриконы, породы карбона испытывают значительные преобразования. Это связано с процессами выветривания, когда скальные, прочные породы разрушаются и превращаются в полурыхлые и рыхлые. Выветривание пород сопровождается изменением их минерального и химического состава. Значительная часть компонентов пород выщелачивается водными растворами и мигрирует в окружающую среду, локализуясь на различных барьерах в почво-грунтах, растительном покрове, в грунтах зоны аэрации и в водовмещающих породах.

* E-mail: ggf@mine.dgtu.donetsk.ua

Наряду с выветриванием, которое распространено во внешней части терриконов, внутри них создаются благоприятные условия для окисления и последующего возгорания. Ведущая роль при этом принадлежит деятельности микроорганизмов. Окисление сульфидной серы осуществляется тионовыми бактериями. Они представляют собой обычно автотрофные микроорганизмы, использующие свободную CO_2 на построении своего тела и получающие энергию при окислении серы и ее восстановленных продуктов. Изучение условий развития микроорганизмов в зонах окисления сульфидных месторождений установило их устойчивость при температурах от 2 до $70^\circ C$, рН среды – от 1 до 8 [2]. При этом развитие бактерий протекает в условиях высокой влажности породной массы. Эти данные показывают, что микроорганизмы устойчивы в условиях кислой среды, так как при окислении сульфидов образуется серная кислота, однако не переносят высокие температуры. Поэтому микроорганизмы начинают процесс окисления, который сопровождается выделением тепла, и разогревают определенную зону, а собственно горение может протекать внутри террикона в благоприятных условиях при доступе достаточного количества кислорода, когда происходит возгорание органической части угля.

В подтверждение этих выводов говорит тот факт, что в пределах краевых частей терриконов существуют локальные очаги окисления, где существенного повышения температуры не отмечается, однако наблюдается выделение парообразной серной кислоты и налеты новообразованной сульфатной минерализации.

Окисление и горение пород сопровождается выбросами широкого спектра летучих компонентов, которые выделяются из породной массы, обогащенной углистым веществом. Основным компонентом выбросов является водяной пар, который образуется при испарении и возгонке попадающих в зону горения атмосферных осадков, а также при высвобождении поровой и связанной воды минералов и пород. Вода является минералообразующей средой для большей части новообразованных минералов: сульфатов, гидрокарбонатов, карбонатов, фосфатов, арсенатов и др. Горящие терриконы выделяют пары, в которых кроме воды содержатся: серная кислота (сульфат-ион), уголекислота, двуокись азота (нитрат-ион). При недостатке кислорода в очагах горения в парогазовых выбросах содержатся сероводород, углеводороды, аммиак, оксид углерода. В верхних частях терриконов, куда проникают обогащенные кислородом инфильтрационные воды, горение протекает в условиях избытка кислорода. В более глубоких зонах горения отмечается недостаток кислорода, окислительные процессы протекают в анаэробных условиях. Очаги горения являются источниками горячих минерализованных, химически-агрессивных, насыщенных микроэлементами водных флюидов. При выходе на поверхность часть компонентов флюидов, попадая в условия низких температур и обилия кислорода, выделяется в виде корочек, налетов, натечных, кристаллических, сферолитовых агрегатов новых минералов, среди которых преобладают сульфаты, сульфиды и окислы. Другая часть улетучивается в атмосферу, пополняя ее вредными веществами. Сам процесс горения и порожденные им химически агрессивные флюиды полностью преобразуют минеральный и химический состав первичной породной массы, как в очагах горения, так и по его периферии.

Вокруг очагов горения формируется своеобразная зональность, обусловленная перераспределением исходного вещественного состава. В процессе изысканий были выявлены в разных местах терриконов небольшие участки, где сохранились первичные рыхлые отвальные породы – различной формы и размеров куски аргиллитов, углистых аргиллитов, алевролитов и редко песчаников. Они выделяются по черному цвету породной массы.

Вокруг этих участков устанавливается пограничная зона замещения, проявленная в изменении первичного цвета пород до бурых, вишневого оттенка, на фоне которых развиваются сульфаты желтого цвета. Они пропитывают массу породы, образуют различные налеты, корочки, прожилки и вкрапленники.

Далее по направлению от участков первичных пород выделяется зона развития белой сульфатной минерализации, которая пропитывает окисленные кирпично-красные породы. За пределами этой зоны располагаются обширные участки окисленных пород кирпично-красного цвета без видимых признаков развития сульфатов. Мощность каждой из выделенных зон развития сульфатной минерализации зависит от размеров очага окисления и колеблется от первых десятков сантиметров до нескольких метров. Эти две зоны (желтая и белая) являются

промежуточными между окисленными породами и первичными, они характеризуются неравновесными переходными условиями и контролируют процессы миграции и концентрации большей части макро- и микроэлементов (результаты лабораторных исследований проб приведены в таблицах 1, 2).

Табл. 1. Результаты лабораторных исследований проб

№ зоны	№ зоны	Описание минералого-петрографических особенностей отходов	H ₂ O	Содержание в массовых долях на сухое вещество											
				ППП	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	S	Σ
1	15	Исходная порода – уголь, углистые сланцы черного цвета	1,91	16,73	50,21	6,31	0,92	17,73	0,93	1,55	2,62	0,93	1,93	0,04	99,88
2	17	Перегоревший кирпично-красный аргиллит с налетами желтой сульфатной минерализации	1,15	6,34	53,57	10,66	1,03	18,43	1,31	1,26	2,54	1,1	3,89	0,14	100,2
3	16	Перегоревший кирпично-красный аргиллит с налетами белой сульфатной минерализации	3,3	12,81	44	7,4	0,94	17,97	1,02	2,7	2,43	1,5	9,15	0,16	100
4	14	Выветрелые и перегоревшие аргиллиты кирпично-красного цвета	1,06	4,71	54,36	9,43	1,06	20,86	1,3	1,15	2,38	1,05	3,27	0,06	99,6

Поведение значительной части компонентов породной массы в процессе ее окисления имеет закономерный и вполне объяснимый характер. Так рост концентрации в окисленной породе по отношению к исходной устанавливается для следующих породообразующих компонентов: кремнезема (от 50,21% до 54,36%); глинозема (от 17,73% до 20,86%); Fe₂O₃ (от 6,31% до 9,43%); CaO (от 0,93% до 1,3%); Na₂O (от 0,93% до 1,05%); SO₃ (от 1,93% до 3,27%). Увеличивается почти в два раза концентрация водорастворимого (подвижного) сульфат-иона – SO₄²⁻ (от 9796,1 мг/кг до 17463,7 мг/кг).

Для ряда микроэлементов также отмечается рост концентрации в окисленных породах: Pb (от 25 до 97,1 мг/кг); Cd (от 1,9 до 2,9 мг/кг); Hg (от 0,06 до 0,1 мг/кг); As (от 4,2 до 5,5 мг/кг).

Рост концентрации кремнезема, глинозема и окислов железа обусловлен их практически неподвижным состоянием в процессе окисления. Эти компоненты не могут переходить в высокоминерализованный водный раствор, насыщенный сульфатами, поэтому их концентрация увеличивается благодаря выносу подвижных компонентов из исходных пород при окислении или горении последних. При этом монолитные породы становятся пористыми. В переходных зонах эти поры заполняют легко растворимые водой сульфаты, гидрокарбонаты, а на удалении от очагов окисления, где вымывание этих минералов атмосферными водами опережает процессы их образования, видны пустоты различной формы. Эти пустоты образовались на месте ранее существовавших окисленных минеральных агрегатов и органического вещества. Поэтому для роста концентрации неподвижных компонентов достаточным является вынос других – подвижных компонентов. Увеличение концентрации окислов кальция и микроэлементов может быть обусловлено их выносом из промежуточных зон окисления, где

отмечается падение их содержаний. Окислы натрия, серы и сульфат-ион являются подвижными, их максимальные концентрации отмечаются в промежуточной зоне развития белой сульфатной минерализации. Окисленные кирпично-красные породы уже обеднены этими компонентами за счет их вымывания атмосферными осадками.

Вынос в процессе окисления испытывают Сорг. (от 7,71% до 0,11%); MgO (от 1,55% до 1,15%); K₂O (от 2,62% до 2,38%); H₂O (от 1,91% до 1,06%); NO⁻; Cl. Углерод, составляющий основу органической части исходных отвальных пород, окисляется (выгорает), частично улетучивается в атмосферу в виде углекислого и угарного газов, отчасти участвует в образовании новых минералов – карбонатов и гидрокарбонатов натрия, кальция, магния, железа. Магний и калий переходят из гидрослюдястых минералов пород в подвижное состояние и мигрируют водными растворами. Вода, определяющая влажность пород и играющая главную роль в процессе окисления, по мере роста температуры испаряется и мигрирует в промежуточные зоны, где достигает максимальной концентрации в связи с белой сульфатной минерализацией, что подтверждает формирование последней из пересыщенных водных растворов. Хлориды и нитраты, образующиеся в процессе окисления, выносятся, частично с компонентами выбросов в атмосферу, и отчасти, мигрируя водными растворами, сохраняя в них свою устойчивость при пересыщении сульфат-ионом.

Табл. 2. Результаты лабораторных исследований проб

№ зоны	1	2	3	4
№ пробы	15	17	16	14
Описание минералого-петрографических особенностей отходов	Исходная порода – уголь, углистые сланцы черного цвета	Перегоревший кирпично-красный аргиллит с налетами желтой сульфатной минерализации	Перегоревший кирпично-красный аргиллит с налетами белой сульфатной минерализации	Выветрелые и перегоревшие аргиллиты кирпично-красного цвета
Нитраты, мг/кг	21,6	16,2	0,05	7
Сульфаты, мг/кг	9796,1	16650,2	91246,5	17463,7
Хлориды, мг/кг	61,3	40,5	41,4	20,2
Pb, мг/кг	25	34,3	17,1	97,1
Cd, мг/кг	1,9	2,9	2,4	2,9
As, мг/кг	4,2	3,8	1,9	5,5
Hg, мг/кг	0,06	0,035	0,03	0,1
C _{орг.} , %	7,71	0,16	0,67	0,11
Fe ₂ O ₃ , %	8,97	10,85	7,54	9,54
Al ₂ O ₃ , %	19,51	19,36	18,23	21,1
S _{общ.} , %	0,49	1,41	3,04	1,49
Cu, мг/кг	50	33	71	48
Ni, мг/кг	47	72	51	52
Cr, мг/кг	102	104	97	85
Zn, мг/кг	94	93	102	98
V, мг/кг	94	94	105	86
Sn, мг/кг	7,2	4,6	3,2	6,8
W, мг/кг	2,2	1,8	1,8	1,8
Co, мг/кг	18	15	24	22
Mo, мг/кг	1,5	1,8	2,2	2,2
Mn, мг/кг	715	724	986	724
Ag, мг/кг	0,03	0,03	0,03	0,03
Ge, мг/кг	1,5	1,5	1	3
Bi, мг/кг	2	2	1,5	2

Главным элементом зоны окисления является сера и ее производные. Окисление серы сопровождается образованием сульфат-иона в условиях достаточного количества кислорода. Часть сульфат-иона мигрирует в атмосферный воздух с парами воды, а значительная его часть при выходе на дневную поверхность в условия низких температур конденсируется на контакте с породами. Охлажденные водные растворы становятся пересыщенными в отношении сульфат-

иона, что благоприятствует выделению новых минералов. Именно в этой части ореола окисления отмечается максимальная влажность и концентрация сульфатов. Новообразованные минералы заполняют все существующие поры и трещины, породы приобретают массивность. Поэтому в этой зоне фиксируются пониженные концентрации ряда макро-и микрокомпонентов.

Терриконы являются экологически опасными объектами. Их можно сравнивать с небольшими «спящими» вулканами, выбрасывающими в атмосферу примерно тот же спектр веществ – серную кислоту, сероводород, аммиак, метан, двуокись азота, уголекислоту и угарный газ. Основным компонентом выбросов является водяной пар. Вместе с паро-газовыми выбросами в атмосферу со стороны терриконов могут попадать летучие соединения токсичных элементов – ртути, мышьяка, кадмия и др.

Разогрев органической части угля в очагах окисления сопровождается ее термическим разложением, аналогичным процессу пиролиза. При этом образуются вредные летучие органические компоненты. В повышенных концентрациях в породах терриконов установлены:

1. Нефтепродукты в концентрациях до 548,0 г/т. Максимальные концентрации нефтепродуктов наблюдаются в породе терриконов шахты "Паравичная" №5 и 1-7 "Ветка".
- Фенолы в концентрациях до 0,22 г/т. Минимальные концентрации фенола отмечаются в породах терриконов №2 шахты №4 «Ливенка» и №2 шахты «Центрально Заводская» - меньше 0,01 г/т, максимальные - в породах террикона шахты №11 – до 0,081 г/т.
3. Формальдегид установлен примерно в одинаковых концентрациях (до 0,22 г/т) во всех изученных терриконах.
4. Моноэтаноламин зафиксирован в пробах с максимальной концентрацией 6,25 г/т в породах террикона шахты «Центрально – Заводская». В отвальных массах террикона шахты №4 «Ливенка» обнаружена одна проба с концентрацией моноэтаноламина - 3,65 г/т.
5. Максимальная концентрация дифенилопропана (2,36 г/т) фиксируется в породе террикона шахты "Центрально-Заводская" №1.

В тех же пробах выполнялись определения содержаний таких токсичных и вредных химических веществ, как: толуол, метапаракилол, бутил ацетат, хлорбензол, стирол, ацетон, бензол, этилбензол, метапаракилол, ортоксилол, этил ацетат, изопропил бензол, метанол, пиридин, ацетофенон. Из этих компонентов в пробах установлены толуол, метапаракилол, бутил ацетат, хлорбензол, ацетон, бензол, толуол, этилацетат, преимущественно в концентрациях ниже ПДК [2].

Выбросы со стороны терриконов могут распространяться на сотни метров, захватывая большие площади, включая селитебные территории. Компоненты выбросов, осаждаясь на земную поверхность, загрязняют почво-грунты. При этом формируются ореолы рассеивания. Наиболее загрязненными являются заболоченные участки долин рек и днищ балок. Опыт проведения периодического экологического мониторинга почв в пределах г. Донецка показывает, что почво-грунты города имеют повышенный общегородской фон, зачастую превышающий ПДК, для кадмия, мышьяка, ртути, свинца и сульфат-иона. Источниками загрязнения почв данными компонентами являются в том числе выбросы со стороны отвалов.

Сами терриконы и ореолы рассеивания загрязняющих веществ в почвах служат источниками загрязнения водной среды сульфатами и токсичными компонентами. При этом загрязняется поверхностный сток, выщелачивающий растворимые сульфаты с поверхности терриконов и почв, и подземные воды в процессе инфильтрации загрязненных атмосферных осадков. Известно, что поверхностные и подземные воды городской черты имеют высокую минерализацию (более 2 г/л), жесткость (более 15 мг-экв/л), сульфатно-натриевый состав.

Негативные геологические процессы, связанные с терриконами, проявлены в разных аспектах. Водная эрозия их бортов приводит к расширению площади отвалов. Породная масса оказывает дополнительное давление на грунты основания, что может повлиять на изменение их фильтрационных свойств и оказывать локальное воздействие на уровень режим первого от поверхности водоносного горизонта. Однако самое существенное негативное воздействие терриконы оказывают благодаря формированию зон замещения в грунтах зоны аэрации и в водовмещающих породах. Они проявлены развитием вторичной минерализации. В природных условиях эта минерализация представлена в виде обилия прожилково-вкрапленных карбонатов, развивающихся в зоне аэрации и в водовмещающих породах. В пределах городской территории, где осуществляются выбросы уголекислоты, сернистого ангидрида и т.д.,

карбонатная минерализация замещается гипсом и содовыми минералами. В пределах зон разломов увеличивается не только количество гипса, но и размеры выделений, достигающие 15-20 см в диаметре. Проявляется вертикальная зональность, когда в верхней части зоны аэрации выделяются конкреции и прожилки землистых агрегатов содовых минералов, ниже по разрезу появляется гипс, который далее становится основным техногенным минералом. Эта зональность обусловлена различной растворимостью содовых минералов и гипса в воде. Зоны замещения сопровождаются перераспределением большей части макро- и микрокомпонентов как в грунтах зоны аэрации, так и в водовмещающих породах и в подземных водах. В качестве проводников данных процессов служат разломы или геодинамические активные зоны.

Эта проблема имеет очевидный инженерно-геологический аспект. Опасность процессов антропогенного замещения грунтов основания зданий и сооружений заключается в том, что первичные природные грунты с конкрециями карбонатов обладают достаточно высокими прочностными характеристиками как в сухом, так и во влажном (обводненном) состоянии. В отличие от них загипсованные грунты сохраняют устойчивость лишь в сухом состоянии. Длительное замачивание сопровождается растворением гипса и, соответственно, потерей несущих способностей грунтов. Опасность состоит в том, что гипс слабо растворим водой, имеющей повышенную минерализацию. Изменения прочностных свойств при замачивании проб грунтов в лабораторных условиях могут быть также не установлены. Поэтому построенный, например, жилой дом на таких грунтах может со временем разрушиться, что в последнее время не редкость. Пока грунты сухие – дом стоит. Прохудившиеся водопроводные и канализационные сети приводят сначала к затоплению подвалов. Постоянная фильтрация через зону аэрации вод с пониженной минерализацией приводит к растворению гипса и грунты основания теряют свои прочностные свойства.

Роль терриконов в экологии города является исключительно негативной. Для ее оценки в каждом конкретном случае требуются специальные геолого-экологические исследования для разработки природоохранных мероприятий по минимизации негативных воздействий. Это, прежде всего, предотвращение выбросов, организация поверхностного стока, предотвращение фильтрации атмосферных осадков в горизонты подземных вод, рекультивация и озеленение. Самым оптимальным является разборка отвалов и утилизация породной массы с учетом ее физико-химических, физико-механических, минералого-геохимических и др. свойств.

Библіографічний список

1. Проскурня Ю.А. Диссертационная работа на соискание степени кандидата геологических наук на тему: «Минералогия породных отвалов угольных шахт Донбасса (на примере Донецко-Макеевского промышленного района). ДонГТУ, Донецк, 2000. 165 с.
2. Экология и геохимическая деятельность микроорганизмов / Под ред. М. В. Иванова. Пушино, 1976. 179 с.

© *Выборов С. Г., Проскурня Ю. А., Силин А. А., 2010.*

Анотація

Дана загальна характеристика порідних відвалів м. Донецька. Виділено чотири зони перетворення вихідної породи в процесі горіння і розглянуті геохімічні особливості кожній з них. Розглянуті чинники негативного впливу порідних відвалів на природне довкілля, а саме – вступ токсичних елементів в ґрунто-ґрунти і підземні води, парогазові виділення, що включають леткі з'єднання токсичних елементів, порушення фільтраційних властивостей ґрунтів, формування зон заміщення в ґрунтах зони аерації і у водовміщаючих породах.

Ключові слова: порідний відвал, токсичні елементи, ґрунт, підземні води.

Abstract

The general characteristic of rock dump of Donetsk is given. Four zones of transformation of initial breed in the course of burning are allocated and geochemical features of each of them are considered. Factors of negative influence of rock dump on surrounding environment, namely – receipt of toxic elements in soils and underground waters, steamgas the allocation, including flying connections of toxic elements, infringement of filtrational properties of soils, formation of zones of replacement in soils zones of aeration and in water containing breeds are considered.

Keywords: rock dump, toxic elements, soil, underground waters