

Имитационный анализ ионного состава сточных вод полигона твёрдых бытовых отходов г. Душанбе Республики Таджикистан

© 2013. К. М. Каримов, аспирант, Х. Э. Еров, аспирант, Д. Т. Бобокалонов, к.б.н.,
З. К. Мухидинов, д.х.н., профессор, М. А. Куканиев, д.х.н., чл.-корр. АН РТ, профессор,
Институт химии Академии наук Республики Таджикистан,
e-mail: zainy@mail.ru

В работе представлены результаты анализа химического состава дренажных вод из полигона твёрдых бытовых отходов (ТБО) и имитационного реактора для прогнозирования разрушения отходов. Анализ катионного и анионного состава дренажных вод в условиях ускоренной имитации разрушения ТБО показал, что в начальный период захоронения в дренажные воды переходят в основном карбонаты, хлориды, фториды, затем нитраты и сульфаты. После покрытия полигона в анаэробных условиях возрастает содержание хлоридов, сульфатов, а карбонаты осаждаются в виде нерастворимых солей, образуются фосфаты и другие соли. Анионный состав дренажных вод ТБО довольно широк и содержит, кроме перечисленных анионов экстрагируемых в биореакторе, ещё и бромиды. Высокое содержание карбонатов указывает на растворение углекислого газа из атмосферы и образование карбонатных солей. При этом тяжёлые элементы, особенно стронций, остаются в виде нерастворимых солей в осадках.

The article presents the results of the analysis of chemical composition of drainage water from the landfill of the municipal solid waste (MSW) and simulation reactor for waste decomposition forecasting. The analysis of cationic and anionic water drainage under accelerated MSW fracture simulation has shown that in the initial period in the drainage water disposal mainly carbonates, chlorides, fluorides pass, and then sulfates and nitrates. After covering the polygon anaerobically chlorides sulfates and carbonates share increases, while carbonates precipitate as insoluble salts, phosphates and other salts are formed. Anionic composition of drainage water MSW quite large and contains extractable anions other than those listed in the bioreactor, and even bromides. High carbonate content indicates dissolution of carbon dioxide from the atmosphere and formation of carbonate salts. And heavy elements, especially strontium, remain as insoluble salts in the sediments.

Ключевые слова: твёрдые бытовые отходы, дренажные воды,
анионный и катионный состав, биореактор, капиллярный электрофорез

Keywords: municipal solid waste, drainage water, anionic and cationic composition,
bioreactor, capillary electrophoresis

Одной из крупных нерешённых экологических и социальных проблем урбанизированных территорий является снижение негативного воздействия полигонов захоронения и свалок твёрдых бытовых отходов (ТБО) на гидросферу, обусловленного фильтрационными водами. Полигоны складирования ТБО являются объектами высокого экологического риска.

Общегородской полигон (городская свалка) ТБО г. Душанбе расположен в юго-восточной части в двух километрах от магистрального шоссе Душанбе – Вахдат (рис. 1) и в 12 км от центра г. Душанбе. Площадь полигона составляет 14,35 га, размер санитарно-защитной зоны – 50 м, литологический состав почв – суглинки от светло-серого до тёмно-серого цвета. Уровень грунтовых вод расположен на глубине 30 метров. Расстояние от полигона до близлежащих населённых пунктов составля-

ет 3–5 км, расстояние до сельскохозяйственных угодий и транзитной дороги – 50 м. Согласно проекту строительства полигона, источником водоснабжения должна служить скважина (№150«Д»), которая была пробурена и заглушена в 1980 г. [1].

Вместимость полигона ТБО позволит использовать его площадь ещё 5–6 лет (до объёма 6 млн. м³). Однако неудовлетворительное состояние полигона ТБО в настоящее время требует принятия неотложных мер по внедрению методов селекции и вторичной переработки отходов с целью уменьшения их объёма.

Рассматриваемая территория расположена в пределах северной части Гиссарской долины на территории так называемых адыров восточнее г. Душанбе. Рельеф территории холмистый, сглаженный. Активно развиты эрозионные и оползневые процессы. В сейсмическом плане район расположен в сейсмиче-

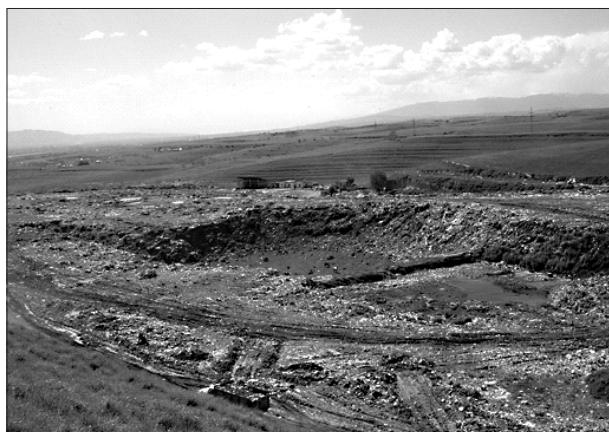


Рис. 1. Полигон ТБО г. Душанбе

ски активной зоне с двумя сейсмогенерирующими зонами: Гиссаро-Кокшальской на севере и Илякской на юге, максимально возможная магнитуда землетрясений в данной зоне может составить $M \geq 7,5$ [2].

Проблемы твёрдых бытовых и промышленных отходов г. Душанбе можно объединить в 5 основных групп:

- 1) загрязнение города твёрдыми бытовыми и промышленными отходами;
- 2) сжигание ТБО на местах их временного хранения;
- 3) размещение бытовых и промышленных отходов в санитарно-защитных зонах рек и водотоков, сброс отходов в водные объекты;
- 4) неудовлетворительное санитарно-техническое состояние городской свалки;
- 5) сейсмическая опасность.

Серьёзную проблему экологии города и ближе расположенным населённым пунктам создают, кроме сжигания ТБО на местах их временного хранения, размещение отходов в санитарно-защитной зоне рек и водоёмов, сброс отходов в водные объекты. Дренажные воды образуются за счёт неполного превращения воды, поступающей в тело полигона с атмосферными осадками или образующейся там в результате различных процессов. В дренажных водах присутствуют биологически разлагаемые вещества, биологически трудноразлагаемые вещества, азот (в основном в виде аммония), растворимые соли и тяжёлые металлы.

Объекты и методы исследования

Образцы проб были взяты из двух участков, расположенных на северо-западной и северо-восточной частях полигона ТБО. Для определения состава мусора на различных глубинах взяты пробы, массой 50 кг, их фракции-

онировали, выделяя основные компоненты и взвешивая каждую фракцию, устанавливали их процентное содержание.

Для оценки и прогноза химического состава фильтративных вод нами использована модель, разработанная совместно с учёными из Технического университета Гамбурга (Германия) и Санкт-Петербургского государственного политехнического университета по проекту НИСМИСТ [3].

Образцы сточных вод отбирали в июне – августе на старом полигоне ТБО на глубине 4 м и на Биореакторе при постоянной температуре 30 °С. Каждый образец тщательно очищали от посторонних примесей центрифугированием и фильтрацией на ультрафильтрационной мембране.

Анализ катионов проводили атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре ААС 30 (Carl Zeiss JENA, Германия) путём определения минерального состава сухого остатка образцов сточных вод. Дренажные воды и фильтрат из ИПС концентрировали до сухого остатка и анализировали на содержание минералов.

Анализ анионов из сточных вод биореактора и полигона ТБО проводили на капиллярном электрофорезе (3D Agilent HPCE G1600AX, США) с использованием компьютерной программы Agilent Chem Station Software V.02.01 SR2. Анализ анионов проводили на не модифицированном кварцевом капилляре, (G1600-64211) со следующими параметрами: длина 112,5 см, эффективная длина 104 см, диаметр 50 мкм. В качестве ведущего электролита применяли буфер для анионов 500 мл (Part No 5064-8209). Напряжение – 30 кВ (полярность отрицательная), сила тока 150 мкА и мощность 6W. Детектирование проводилось при длине волны 350/20 нм. Обработка сигнала детектора осуществлялась с использованием программного обеспечения «Agilent CE ChemStation Software».

Результаты и их обсуждение

Морфологический состав образцов ТБО. Структурный анализ ТБО, по данным Таджиккоммунсервиса, представлен на рисунке 2.

В зависимости от уровня и условий жизни населения г. Душанбе состав этих отходов год от года меняется. В составе ТБО увеличивается содержание пластмассы, бумаги, стекловых предметов, а в последнее время наблюдается рост строительных отходов. В структуре отходов всё большее место занимают полимерные

материалы. Эти материалы могут служить идеальным источником дешёвого промышленного сырья, и в то же время – высокотоксичных диоксинов и фуранов, если данный бытовой мусор подвергается сжиганию. Однако постоянное загрязнение водных стоков больше происходит от присутствия растворимых в воде неорганических пищевых материалов в составе отходов, которые в условиях жаркого климата приводят также к росту численности патогенных микроорганизмов.

На обоих участках обнаружено, что по мере углубления происходит значительное изменение состава мусоросвалки, где выкопаны железные материалы, прудки, трубы, дерево, опилки, тряпочные материалы, стёкла, камни, кирпичи, синтетические полимерные материалы и т. д. (рис. 2). Влажность материалов для двух ям составляла 20,02 и 15,5%, а зольность 74,1 и 71,7% соответственно.

В первой яме при достижении глубины около 3,5 м появились грунтовые воды, а во второй яме на глубине 4 м вода не обнаружена.

По данным многочисленных исследований, проведённых зарубежными и российскими учёными, химический и микробиологический состав фильтрата полигонов и их объём зависят от ряда факторов, к которым относятся: морфологический состав ТБО; мощность полигона ТБО; этап жизненного цикла полигона; влажность отходов; климатические факторы (температура, атмосферные осадки); инженерная инфраструктура полигона; предварительная обработка отходов.

В связи с многообразием факторов, влияющих на концентрацию и состав неорганических и органических примесей в фильтрате, прогнозирование химического состава фильтрационных вод является достаточно сложной задачей и в настоящее время не существует единого

подхода к прогнозу оценки состава фильтрата, многие модели находятся на стадии разработки.

В данной работе также использовали реактор, имитирующий свалку (биореактор), сконструированный нами для моделирования состава сточных вод из ТБО. Биореактор состоит из контейнера, изготовленного из нержавеющей стали, полиэтиленовой ёмкости для сбора и перекачки водостока, поливинил хлоридных шлангов, герметичных пакетов для сбора газов и измерителя давления и температуры. Данная модель, в качестве составляющих водного баланса полигона, учитывает атмосферные осадки, испарение, циркуляцию воды в теле полигона (вертикальная фильтрация, горизонтальный дренаж, отдача-поглощение влаги отходами) и поверхностный сток. В качестве выходных данных эта модель выдаёт значения химического состава инфильтрующихся через изолирующие слои вод в зависимости от сезона и морфологического состава ТБО.

При обработке бытовых и промышленных сточных вод в анаэробных условиях образуется CH_4 . В настоящем исследовании методологические вопросы, относящиеся к выбросам CH_4 при моделировании из биореактора обработкой бытовых и промышленных сточных вод, рассматриваются отдельно, поскольку данные о деятельности и коэффициентах выбросов, необходимые для каждой подкатегории источников, являются различными.

Значения рН и электропроводности образцов дренажной воды из ТБО и фильтрата из биореактора приведены в таблице 1. Нейтральная и слабощелочная среда сточных вод говорит о начальных стадиях разрушения отходов метанобразующими бактериями в анаэробных условиях и образованием CO_2 . Электропроводность раствора зависит от наличия мобильных ионов K^+ , Na^+ , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} . Значение электропроводности в образцах дренажных вод из ТБО выше по сравнению с образцами фильтрационной воды, которые получены при начальной рециркуляции на биореакторе.

Результаты минерального состава образцов сточных вод представлены в таблице 2.

Видно, что вода имеет щелочную среду и её состав в обеих пробах незначительно отличается друг от друга. В пробах воды содержатся в основном катионы Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , а также в относительно большом количестве имеются тяжёлые металлы, особенно стронций, количество которого достигает 0,466 мг/л. В составе проб воды, отобранных на полигоне ТБО, в наибольшем количестве содержатся



Рис. 2. Средний морфологический состав ТБО г. Душанбе, %

Таблица 1

Значения pH и удельной электропроводности дренажных вод полигона ТБО г. Душанбе и фильтрата из биореактора

Параметры	Дренажные воды полигона ТБО		Фильтрат из Биореактора
	образец 14-08-07	образец 17-08-07	образец 24-08-07
pH	8,07	7,82	7,73
Удельная электропроводность, мС/см	6,8	7,1	5,9

Таблица 2

Катионный состав дренажных вод полигона ТБО г. Душанбе и фильтрата из биореактора после недельной циркуляции

№ п/п	Катионы	Содержание катионов, мг/л		
		Дренажные воды полигона ТБО		Фильтрат из биореактора
		образец 14-08-07	образец 17-08-07	образец 24-08-07
1	Pb	0,0113	0,0104	0,0066
2	Sr	0,466	0,52	0,708
3	Cu	0,03	0,029	0,0678
4	Hg	0,01	0,0091	0,0078
5	Cd	0,025	0,022	0,0135
6	Zn	0,015	0,0144	0,003
7	As	0,014	0,012	0,006
8	U	0,0056	0,00508	0,004
9	Na	400	410	289
10	K	198	202	161

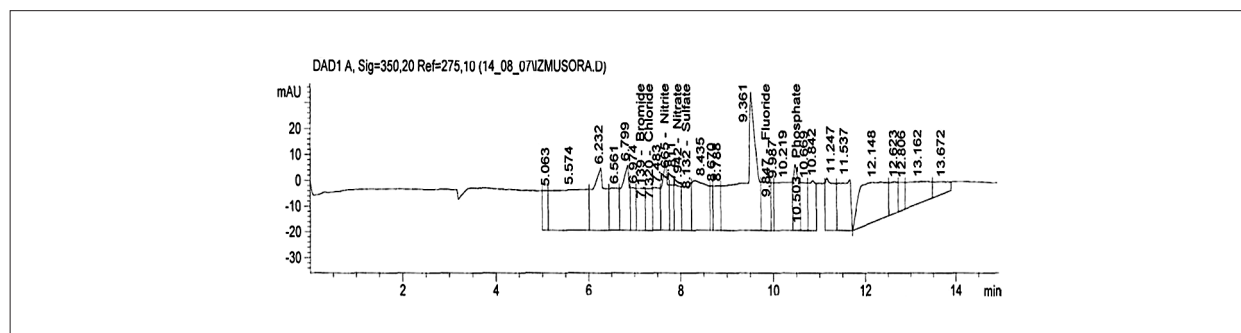


Рис. 3. Электрофореграмма сточной воды (образец № 14-08-07) из полигона ТБО г. Душанбе

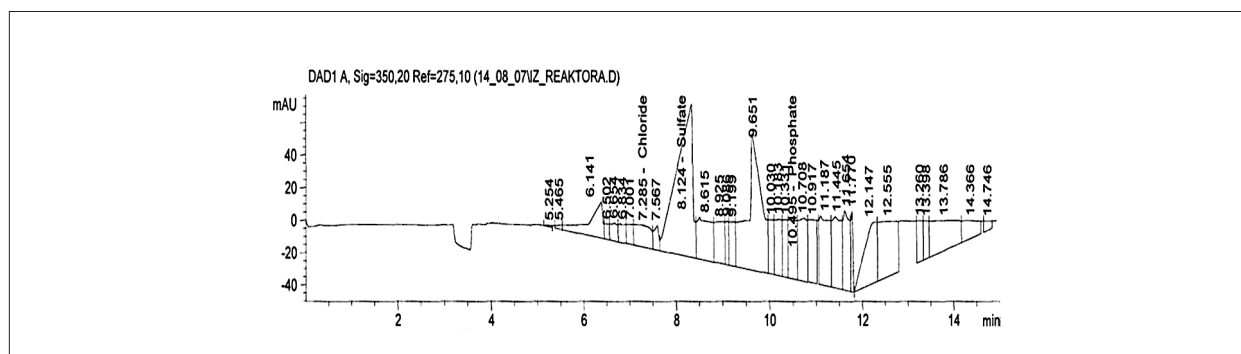


Рис. 4. Электрофореграмма сточной воды из Биореактора (образец № 24-08-07)

Таблица 3

Анионный состав вод из биореактора, полигона ТБО и водопроводной воды восточной части г. Душанбе

Анионы	Образец 28-07-07 из биореактора		Образец 24-08-07 из биореактора		Образец 14-08-07 из ТБО		Водопроводная вода	
	Время миграции, мин.	Содержание, мг/л	Время миграции, мин.	Содержание, мг/л	Время миграции, мин.	Содержание, мг/л	Время миграции, мин	Содержание, мг/л
Бромиды	7,17	-	7,17	-	7,14	576,15	7,098	186,69
Хлориды	7,30	-	7,28	554,74	7,32	263,93	7,306	-
	7,53	237,79	7,56	275,23	7,48	432,53	7,509	668,68
Нитриты	7,67	-	7,67	-	7,66	183,32	7,675	-
Нитраты	8,01	85,17	7,91	-	7,94	160,33	7,862	35,32
Сульфаты	8,25	44,61	8,12	1818,05	8,13	183,68	8,132	35,15
	8,62	10,18	8,61	200,26	8,67	30,89	8,541	123,32
	8,84	-	8,84	-	8,78	59,67	8,842	-
	8,96	-	8,92	243,30	8,96	-	8,969	-
	9,15	-	9,19	159,75	9,15	-	9,121	140,74
	9,26	-	9,26	-	9,26	-	9,261	-
Карбонаты	9,42	418,54	9,43	-	9,36	1891,36	9,401	47,03
Фториды	9,81	152,82	9,83	824,94	9,84	43,52	9,873	71,75
Фосфаты	10,54	-	10,49	-	10,50	408,92	10,543	-
	11,08	-	11,18	41,03	11,24	17,88	11,083	-
	11,63	-	11,65	274,48	11,53	207,72	11,546	134,57
	11,80	-	11,77	90,06	11,80	-	11,833	48,11
	11,93	-	11,93	-	11,93	-	11,934	-
	12,07	-	12,14	348,74	12,14	311,73	12,172	142,16
	12,31	-	12,31	-	12,31	-	12,314	-
	12,78	-	12,78	-	12,80	18,91	12,782	-
	14,29	-	14,36	2390,97	14,28	-	14,289	-
Totals	Totals	1040,93	Totals	7221,59	Totals	4790,57	Totals :	1633,56

ионы натрия, калия и стронция. Сходный минеральный состав имеет вода из биореактора. Высокое содержание стронция в образце сточной воды из биореактора связано с образованием растворимых солей этого металла, который со временем осаждается в виде нерастворимых солей в осадках.

На рисунках 3 и 4 в качестве примера приведены электрофорезграммы анионов образцов сточных вод, взятых из полигона ТБО и биореактора.

В таблице 3 приведён анионный состав сточных вод из биореактора и полигона ТБО, а в качестве сравнения представлен анионный состав водопроводной воды восточной части г. Душанбе. Как видно, в первые дни имитации дренажа на биореакторе переходят в раствор в основном карбонаты (418,54 мг/л), хлориды (237,79 мг/л), фториды (152,84 мг/л), затем нитраты и сульфаты. После месячной циркуляции в анаэробных условиях содержание хлоридов увеличивается в 3 раза, сульфатов в 37 раз, карбонаты осаждаются в виде нерастворимых солей, образуются фосфаты и другие не идентифицированные соли. В то же время содержание хлоридов меньше по сравнению с водопроводной водой, количество сульфатов, карбонатов, фосфатов и других солей возрастает. Анионный состав дренажных вод ТБО довольно широк и содержит, кроме перечисленных анионов, экстрагируемых в биореакторе, ещё и бромиды. Высокое содержание карбонатов указывает на растворение CO_2 из атмосферы и образование карбонатных солей. Исходя из анионного состава была определена общая минерализация сточных вод, после месячной циркуляции в анаэробных условиях в биореакторе она составляет 7221,59 мг/л, больше, чем водопроводной и дренажной вод из ТБО в 4,5 и 1,5 раза соответственно. Это подтверждает превосходство разрушения мусора в анаэробных условиях.

Выводы

Естественный дренаж способствует растворению минеральных веществ и миграции ионов через почву в объектах жизнедеятельности человека. Анализ катионного и анион-

ного состава дренажных вод в условиях ускоренной имитации разрушения ТБО показал, что в начальный период захоронения в дренажные воды переходят в основном карбонаты, хлориды, фториды, затем нитраты и сульфаты. После покрытия полигона ТБО и создания анаэробных условий в составе дренажных вод возрастает содержание хлоридов и сульфатов, карбонаты осаждаются в виде нерастворимых солей, образуются фосфаты и другие соли. Анионный состав дренажных вод ТБО довольно широк и содержит, кроме перечисленных анионов, экстрагируемых в биореакторе, ещё и бромиды. Высокое содержание карбонатов указывает на растворение CO_2 из атмосферы и образование карбонатных солей. При этом тяжёлые металлы, особенно стронций, остаются в виде нерастворимых солей в осадках.

Таким образом, поступление в водоносные горизонты фильтрата на площади полигонов ТБО с последующей миграцией веществ может приводить к негативной трансформации качества подземных вод на значительных территориях посредством осаждения тяжёлых металлов в виде карбонатов. Расчёт объёма образования фильтрата возможен на основе водного баланса полигона и с учётом условий захоронения свалочной массы. Поэтому при проектировании, строительстве и эксплуатации полигонов ТБО необходимо учитывать климатические и гидрогеологические условия местности.

Литература

1. Город Душанбе: Программа экологического управления. Душанбе. 2005. 156 с.
2. Ишук А.Р., Сайдуллаев У.Р. Оценка сейсмической опасности территории Таджикистана в единицах пиковых ускорений грунта // Труды Международной конференции по снижению сейсмического риска, посвященной 60-летию со дня Хаитского землетрясения 1949 г. в Таджикистане. Душанбе. 2009. С. 210–213.
3. NISMIST (Management of environmental risks from landfills in seismically active regions in the New Independent States (NIS) of Central Asia. (selected publication). Druck: Buch- & Offsetdruckerei Stubbemann GmbH, Hamburg. 2008. 227 p.