

ГАЗОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ПОЛИГОНОВ

В. А. Балакин, Е. П. Труфманова, Ю. Ю. Старых, ООО «РРЭЦ»

Газогеохимические исследования на полигонах ТКО позволяют получить характеристики, необходимые при выборе оптимального варианта рекультивации конкретного полигона: неоднородность по пожароопасности свалочных отложений и эмиссии биогаза с дневной поверхности, масштабы газогенерации, состояние приповерхностного биофильтра, особенности поступления биогаза на прилегающую территорию.

Массовое закрытие полигонов ТКО в Московской области и других регионах России требует разработки проектов их рекультивации. Конечным результатом рекультивации полигонов являются:

- формирование тела полигона, включая его финальное перекрытие, для снижения негативного влияния на окружающую среду [1];
- снижение негативного влияния полигона на прилегающую к нему территорию;
- создание склонов для спортивно-оздоровительной деятельности (горнолыжных спусков, велодорожек и др.) с учетом сформированного в процессе эксплуатации рельефа;
- обустройство парковой зоны.

Одним из основных факторов, которые необходимо учитывать при разработке проектов рекультивации полигонов ТКО, является биогаз, образующейся в теле полигона в период накопления отходов и в течение 30–50 лет после его закрытия [2]. Генерация биогаза в свалочном теле полигона создает ряд проблем, которые должны решаться в процессе рекультивации территории. К этим проблемам относятся:

- высокое содержание метана в свалочном теле полигона, создающее пожаро-взрывоопасную ситуацию [3];
- масштабные выбросы в приземный слой атмосферы загрязняющих

веществ: метана, диоксида углерода и других летучих токсинов [1];

- избыточное давление биогаза в теле полигона, которое может нарушить герметичность финального перекрытия;
- опасность поступления биогаза на прилегающую территорию, предназначенную под городскую застройку.

По своим физико-химическим характеристикам захороненные отходы на разных полигонах существенно различаются. Более того, даже в пределах одного полигона газогеохими-

ческие условия зачастую значительно варьируются. Существенные различия в составе отходов и условиях их захоронения приводят к разным по масштабам проблемам, связанным с биогазом, образующимся в теле полигона. К этим проблемам относятся: возникновение пожароопасных ситуаций, эмиссия (выбросы) биогаза и других токсичных веществ с дневной поверхности в приземную атмосферу, распространение потоков биогаза из тела полигона на прилегающую территорию.



Горение отходов на полигоне «Широкореченский», г. Екатеринбург

Оценить степень негативного проявления биогаза на полигоне ТКО призваны газогеохимические исследования. Выполненные в соответствии с СП 11-102-97, эти исследования позволяют получить газогеохимические показатели для оценки пожароопасности свалочных отложений и провести районирование территории по степени пожароопасности, оценить масштабы генерации биогаза в теле полигона [4] и неоднородность эмиссии основных компонентов биогаза с его поверхности в приземную атмосферу. Перечисленные газогеохимические характеристики полигонов ТКО являются определяющими для специалистов, разрабатывающих проекты рекультивации полигонов.

ПОЖАРООПАСНОСТЬ НА ПОЛИГОНАХ ТКО

На всех обследованных свалках и полигонах ТКО всегда обнаруживались места горения и тления отходов (см. фото) или следы пожаров. Причиной возгорания является неправильное обращение с отходами, несвоевременная пересыпка завозимых отходов нейтральными грунтами. Однако основной причиной возгораний отходов и распространения пожаров является наличие в грунтовом воздухе метана в содержаниях, превышающих пожаро-взрывоопасный уровень (более 5 %об., согласно СП 11 102-97).

В приповерхностном слое полигонов ТКО содержание метана в грунтовом воздухе изменяется в широких пределах: от 0 до 60 %об. При этом зоны пожаро-взрывоопасных концентраций метана занимают большую часть площади свалок и полигонов ТКО, что хорошо видно на примере городской свалки Челябинска. На рис. 1 представлено распределение метана на глубине 0,8 м по результатам шпурового опробования. Из приведенной схемы видно, что при общей высокой степени пожароопасности полигона отмечается неоднородность распределения концентраций метана в грунтовом воздухе свалочной толщи. Выделяются участки, где метан в грунтовом воздухе отсутствует (точки 42 и 45) и участки с содержанием метана больше 50 %об. (точки 1, 4, 28 и 36).

Характер распределения компонентов биогаза по разрезу определяется при поглубинном опробовании грунто-

вого воздуха скважин, пробуренных в свалочном теле полигона. На рис. 2 представлены характерные графики изменения концентраций биогаза по глубине по результатам газогеохимических исследований на полигоне. Содержание метана в теле свалки достигает 70,7 %об., диоксида углерода – 25,9 %об.

В результате скважинных газогеохимических исследований установлено (рис. 2), что процесс биогазогенерации активно протекает на глубине более 2 м и далее на всей глубине обследования насыпной толщи. В верхней части разреза насыпной толщи (до 2 м) отмечается заметное количество кислорода, что способствует созданию поверхностного биофильтра, в котором происходит частичное окисление метана до диоксида углерода.

Таким образом, пожароопасность вызвана чрезвычайно высоким содержанием метана (до 70 %об.) в свалочном теле полигона Челябинска и определяется высоким (до 60 %об.) содержанием метана в приповерхностном слое полигона. При этом пожаро-взрывоопасные концентрации метана наблюдаются практически по всей площади полигона.

ЭМИССИЯ БИОГАЗА С ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИГОНОВ

Измерение эмиссии биогаза с поверхности полигонов ТКО дает большой разброс значений потоков компонентов биогаза по площади полигонов. Неравномерность распределения эмиссии биогаза с поверхности полигона связана с формированием тела свалки из разнообразных отходов, с неравномерностью засыпки отходов, с включением в тело свалки не только бытовых, но и промышленных и строительных отходов. Несмотря на однообразно высокие концентрации биогаза в глубинных толщах полигона, на поверхность биогаз выходит через неоднородный слой отходов и грунтов. Поэтому требуется измерение эмиссии биогаза в достаточном количестве точек по регулярной сети, чтобы определить среднее значение эмиссии, которое будет интегральным показателем как количества биогаза, поступающего в атмосферу, так и интенсивности генерации биогаза в теле полигона.

Характер эмиссии биогаза с поверхности полигонов ТКО показан на при-

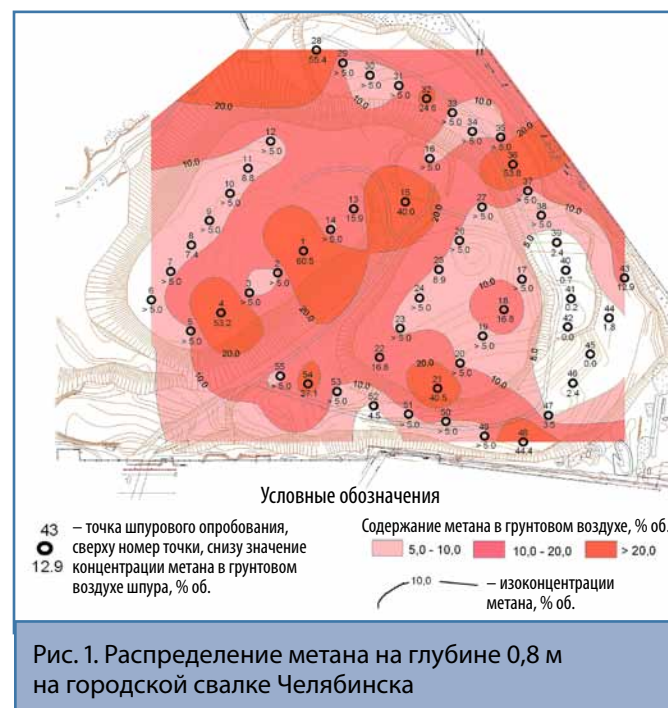


Рис. 1. Распределение метана на глубине 0,8 м на городской свалке Челябинска

мере распределения эмиссии метана с поверхности городской свалки Челябинска (рис. 3). Из рисунка видно, что максимальный поток метана из грунтовой толщи проявляется близ точек П7 и П9. В этих зонах эмиссия метана на поверхность полигона превышает средний его уровень по свалке в десять раз. Более чем в пять раз превышает средний уровень поток метана в зонах расположения точек П14 и П22, а на точке П17 – в три раза.

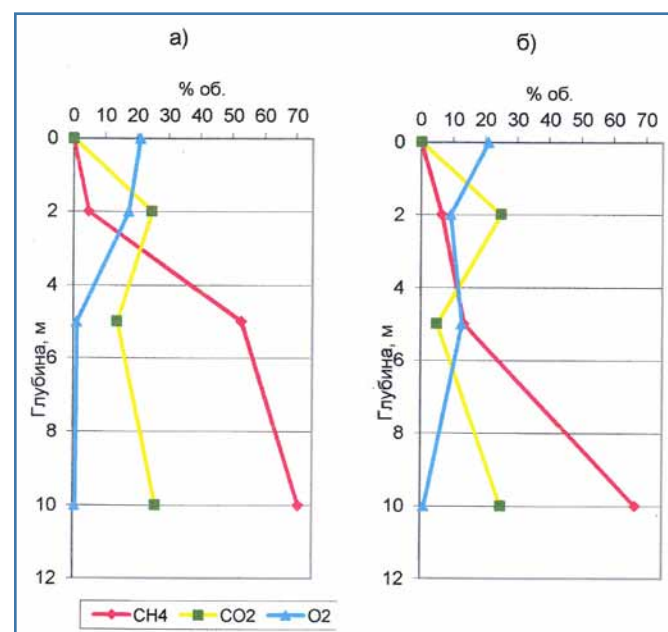


Рис. 2. Изменение содержаний CH_4 , CO_2 и O_2 в об. % с глубиной в скважинах: а – С-1, б – С-2

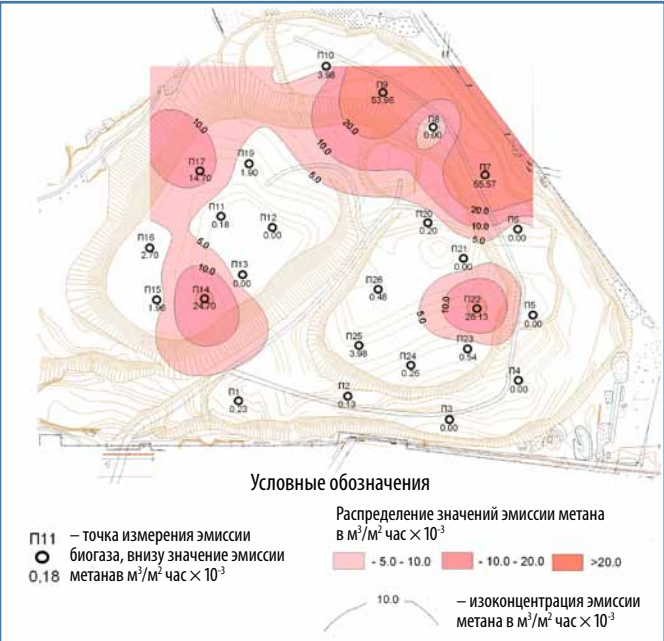


Рис. 3. Распределение эмиссии метана с поверхности городской свалки Челябинска

Результаты проведения эмиссионной съемки, представленные на рис. 3, хорошо коррелируются с неоднородным характером распределения по площади концентраций метана в приповерхностном слое городской свалки Челябинска, полученных по данным шпуровой съемки (рис. 1). В зонах с повышенной концентрацией метана на глубине 0,8 м отмечаются и повышенные значения потоков метана в приземный слой атмосферы из глубины свалочного тела.

РОЛЬ ПРИПОВЕРХНОСТНОГО БИОФИЛЬТРА

Работу приповерхностного биофильтра рассмотрим на примере результатов исследований, проведенных на полигоне ТКО г. Новороссийска.

В точках 1 и 2 производилось поглубинное шпуровое опробование с отбором проб грунтового воздуха в барботеры с глубин 0,2, 0,4, 0,6 и 0,8м. Результаты газового анализа этих проб представлены в табл. 1. По данным изменения содержания метана, диоксида углерода и кислорода с глубиной можно проследить окисление метана в верхней части свалочной толщи. Результаты эксперимента показывают, что содержание метана и диоксида углерода в грунтовом воздухе также значительно уменьшается с глубины 0,8 до 0,2 м.

Содержание кислорода, согласно табл. 1, растет с глубины 0,8 м до глубины 0,2 м от 4,5 до 14,1 %об. в точке 1 и с 13,3 до 18,3 %об. – в точке 2. Если считать, что в приповерхностном слое грунта происходит рассеивание компонентов биогаза, разбавление их атмосферным воздухом, то соотношение концентраций метана и диоксида углерода с приближением к поверхности полигона должно оставаться неизменным. Однако по данным табл. 1 отношение величин потоков и содержаний метана и диоксида углерода с приближением к поверхности уменьшается. Этот факт говорит об относительном увеличении количества CO2 и уменьшения количества CH4 в грунтовом воздухе по мере приближения к поверхности полигона.

По результатам исследований в шпурах на глубине 0,8 м содержание метана в грунтовом воздухе обычно превышает содержание диоксида углерода (в % об.). В атмосферу же попадает метана в 2,2 раза меньше, чем диоксида углерода (в м³). Это объясняется фактом окисления метана в приповерхностном слое грунтов, которыми перекрыт полигон. В приповерхностном

слое происходит окисление метана метанотрофными бактериями. При этом уменьшается количество метана, поднимающегося к поверхности и, соответственно, увеличивается количество диоксида углерода. Так, в точке 2 (табл. 1) отношение концентраций метана и диоксида углерода уменьшается с приближением к поверхности от 1,19 на глубине 0,8 м до 0,28 на глубине 0,2 м.

ОБЪЕМЫ ГЕНЕРАЦИИ БИОГАЗА В ТЕЛЕ ПОЛИГОНА

В методике расчета количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигонов твердых бытовых и промышленных отходов [5] представлен вариант расчета генерации биогаза на полигонах ТКО.

Как правило, на полигонах ТКО определить исходные данные, влияющие на количество выбросов, практически невозможно. Получаемые оценки носят среднестатистический и приближенный характер и имеют отношение к полигонам вообще или даже к абстрактному полигону, а не к конкретному исследуемому полигону ТКО.

Объем генерации метана по методике [5] требует предварительного определения содержания белков, жиров и углеводов в органических отходах путем химического анализа отбираемых проб отходов. Учитывая большую неоднородность отходов и неизвестный характер их распределения по площади и разрезу, можно сказать, что получение общего (интегрального) показателя по этим параметрам требует большого количества проб, отобранных как по площади, так и по разрезу всей толщи отходов. Кроме того, в методике совсем не учитывается работа приповерхностного биофильтра.

На основании многолетних геохимических исследований полигонов ТКО на территории России специалисты ООО «РРЭЦ» («Раменский региональный экологический центр») предлагают метод оценки выбросов и генерации биогаза в теле полигонов на основании измерений потоков биогаза с поверхности полигонов ТКО [4]. Предлагаемый метод основан на особенностях работы приповерхностного биофильтра, то есть окисления метана до диоксида углерода в аэробной зоне.

Таблица 1

Содержание метана и диоксида углерода в шпурах разной глубины

Номер точки	Глубина шпура, м	Содержание метана, %об.	Содержание диоксида углерода, %об.	Отношение содержания метана/диоксида углерода	Содержание кислорода, %об.
1	0,2	1,301	6,07	0,21	14,13
	0,4	3,991	13,42	0,30	8,00
	0,6	4,539	13,20	0,34	8,61
	0,8	7,371	19,22	0,38	4,46
2	0,2	0,172	0,61	0,28	18,33
	0,4	0,985	1,39	0,71	14,48
	0,6	0,950	1,18	0,81	15,38
	0,8	1,505	1,26	1,19	13,32

В отличие от расчета, предлагаемого методикой [5], наш метод [4] оценки генерации основных компонентов биогаза требует измерения таких параметров, как эмиссия основных компонентов биогаза с поверхности полигона и концентрации этих компонентов в толще полигона, в анаэробной зоне. Эти параметры сами по себе являются интегральными для каждого конкретного полигона, и точность их оценки зависит только от количества точек измерений.

В табл. 2 приведены результаты обследования трех полигонов ТКО: выбросы основных компонентов биогаза в приземный слой атмосферы, средние значения эмиссии биогаза с поверхности полигонов и объемы генерации биогаза в теле полигонов, рассчитанные по нашему методу. Из таблицы видно, что данные полигоны ТКО отличаются по степени загрязнения окружающей среды биогазом. Выбросы биогаза на полигоне ТКО г. Новороссийска значительно меньше, чем на остальных полигонах. С одной стороны, это связано с меньшей площадью, но с другой стороны, средняя эмиссия метана более чем в два раза меньше средней эмиссии метана на двух других полигонах. Здесь в атмосферу попадает 48 % генерируемого метана, а на городской свалке Челябинска – 81 %. Это связано с более качественной засыпкой отходов нейтральными грунтами. Поверхностный биофильтр активнее работает на полигоне Новороссийска, чем на городской свалке Челябинска.

ПОСТУПЛЕНИЕ БИОГАЗА НА ПРИЛЕГАЮЩУЮ ТЕРРИТОРИЮ

Геологическое строение основания полигона ТКО и прилегающей территории может способствовать распространению биогаза из тела полигона в грунты, граничащие с полигоном. Если в основании полигона залегают газопроницаемые грунты, например пески, а уровень грунтовых вод не перекрывается основанием полигона, то биогаз будет распространяться по таким грунтам за пределы контура полигона ТКО. Если поверхность полигона ТКО перекрыта газонепроницаемыми грунтами, что затрудняет выход биогаза в атмосферу, то это приведет к усилению миграции биогаза в грунтах прилегающей территории.

Выбросы основных компонентов биогаза в атмосферу (1), среднее значение эмиссии биогаза с поверхности полигонов (2) и генерация биогаза в теле полигонов (3)

Полигон	Площадь га	CH ₄			CO ₂		
		1 кг/час	2 м ³ /м ² час	3 кг/час	1 кг/час	2 м ³ /м ² час	3 кг/час
«Левобережный»	23,7	624,2	0,0071	1233,0	3557,0	0,0087	1957,6
г. Новороссийск	13,8	271,0	0,003	564,6	1666,7	0,0061	896,2
г. Челябинск	45	2471,5	0,0077	3022,9	4448,3	0,005	3084,6

Были проведены исследования этого явления на примере одного из полигонов ТКО, расположенного на рекультивированной территории бывших отстойников сточных вод, сложной песчаными грунтами. Были отобраны пробы воздуха из стволов 14 скважин, расположенных на границе полигона и на прилегающей территории (рис. 4). Показано, что в грунтах прилегающей территории распространяются мощные латеральные потоки биогаза. Таким образом, можно утверждать, что отсутствие газогенерирующих грунтов на прилегающей к полигону ТКО территории не является гарантией газогеохимической безопасности. Любое строительство близ полигона требует исследований его влияния на газогеохимическое состояние прилегающей территории.

Основными приемами устранения негативных факторов воздействия биогаза при разработке и реализации проектов рекультивации полигонов ТКО являются:

- извлечение (добыча) биогаза из тела полигона путем активной или пассивной дегазации с последующим его использованием;
- создание зон (окон) с максимальной эмиссией биогаза в приземную атмосферу с развитым (эффективным) поверхностным биофильтром;
- активизация процессов биогазобразования в толще полигона для ускоренного срабатывания биогазового (органического) потенциала.

Проведение газогеохимических исследований на полигоне ТКО способствуют выбору оптимального варианта рекультивации полигона для безопасного использования его территории в дальнейшем. Практические результаты проведения многолетних газогеохимических исследований на полигонах ТКО позволяют сделать выводы, которые необходимо учитывать в проектах рекультивации.

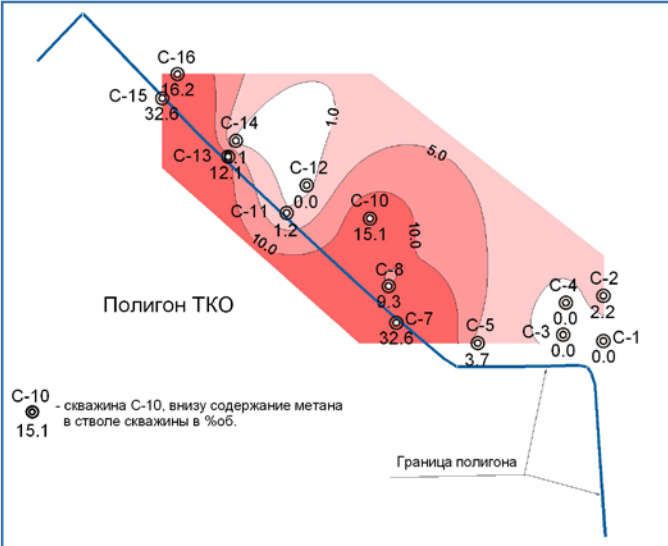


Рис. 4. Поступление биогаза на прилегающую территорию полигона ТКО

ЛИТЕРАТУРА

1. Академия коммунального хозяйства им. К. Д. Памфилова. Рекомендации по проектированию, строительству и рекультивации полигонов ТБО. М., 2009.

2. Вайсман Я. И., Вайсман О. Я., Максимова С. В. Управление метаногенезом на полигонах твердых бытовых отходов. Пермь: Книжный мир, 2003.

3. Комаров А. В., Лопатин В. В., Жуков В. В. Мониторинг тепловых полей и оценка миграции свалочных газов на полигоне ТБО «Хметьево» (Московская область). – Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2013. № 3.

4. Балакин В. А., Труфманова Е. П., Старых Ю. Ю. Оценка масштабов генерации биогаза на полигонах ТКО. – ТБО. – 2017. – № 5. – С. 22–24.

5. Методика расчета количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигонов твердых бытовых и промышленных отходов. Академия коммунального хозяйства им. К. Д. Памфилова. М., 2004.