

УДК 911.3:33

*З.Н. Шуканова, старший преподаватель кафедры  
экономической географии и охраны природы БГПУ;  
И.В. Чернова, магистр географических наук,  
учитель географии гимназии № 7*

## **ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОГАЗА ПОЛИГОНОВ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ МИНСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ**

**В**ведение. Проблема отходов – это, прежде всего, проблема больших городов, и чем больше город, тем эта проблема острее и актуальнее, поскольку ее решение связано с необходимостью обеспечения санитарной очистки городов, охраны окружающей среды и ресурсосбережения.

Многие десятилетия утилизация отходов не производилась, коммунальные отходы складировали, оставляя решение проблемы будущим поколениям. И в настоящее время не существует удовлетворительного решения этой проблемы ни в одной стране мира. Так, в СНГ на полигоны вывозят 97 % образующихся твердых коммунальных отходов (ТКО), в Беларуси и Великобритании – около 90, в США – 73, в Германии – 70. В нашей стране, согласно Национальной стратегии устойчивого развития, значение складирования твердых отходов как основного направления их удаления сохранится в ближайшей и среднесрочной перспективе.

Между тем метод складирования и захоронения ТКО на полигонах вызывает особую тревогу экологов страны. С экологической точки зрения это наименее предпочтительный вариант в иерархии обращения с отходами. И здесь, прежде всего, необходимо найти решение следующих проблем:

- отчуждения земель для создания полигонов и невозможность их возврата в хозяйственный оборот, которая частично решается за счет использования менее ценных, неудобных для хозяйственной деятельности земель;
- распространения с территории полигона болезнетворных микроорганизмов, предотвращение которого контролируется строгим соблюдением технологий складирования и захоронения;
- просачивания фильтратов из тела полигонов ТКО в водоносный горизонт, что решается путем создания противодиффузион-

ных и дренажных сооружений (бурение скважин, создание завес в грунте, строительство обводных каналов и т. д.);

- эмиссии в атмосферу образующегося из органического вещества газа (свалочный газ) [3].

Из перечисленных выше экологических проблем решение первых трех регулируется действующими экологическими и санитарно-эпидемиологическими нормативами складирования и захоронения ТКО, чего нельзя сказать о проблеме воздействия на атмосферу свалочного газа.

В приземных слоях атмосферы метан, являясь инертным химическим соединением, считается нереакционно способным углеводородом, поэтому экологические нормативы, ограничивающие его выброс в атмосферу, отсутствуют. Как правило, расчет общей концентрации углеводородов в атмосфере производится без учета содержания метана. Между тем ежегодная эмиссия метана с полигонов земного шара сопоставима с потоками, поступающими в атмосферу из таких общеизвестных источников метана, как болота, угольные шахты, животноводческие комплексы и т. д.

В этой связи уместно подчеркнуть, что, по результатам многих научных исследований, ресурсы ископаемого топлива уже к середине нынешнего столетия не смогут удовлетворять потребности мировой энергетики, которая в большинстве стран мира ориентирована на использование ее коммерческих видов (уголь, нефть, газ). Политика энергосбережения, в совокупности с экологической составляющей (средства, которые могут быть затрачены на предотвращение экологического ущерба), вынуждает специалистов и ученых совершенствовать существующие методы и способы рационального использования традиционных энергоресурсов, а также искать другие, желательные возобновляемые и недорогие источники энергии и разрабатывать технологии их использования.

В последнее время появилось много исследований и новых технологий, направленных на использование твердых коммунальных отходов, прежде всего с целью получения жидкого и газообразного топлива. Наиболее предпочтительным с экологической точки зрения, широко распространенным и перспективным способом считается захоронение твердых коммунальных отходов с последующим получением биогаза. Основное достоинство технологии захоронения – сравнительно малые капитальные и эксплуатационные затраты и относительная безопасность. В среднем при разложении одной тонны твердых коммунальных отходов может образовываться 100–200 м<sup>3</sup> биогаза. В зависимости от содержания метана минимальная теплота сгорания свалочного биогаза составляет 18–24 МДж/м<sup>3</sup> (примерно половину теплотворной способности природного газа) [2].

Процесс разложения отходов продолжается многие десятки лет, поэтому полигон можно рассматривать как стабильный источник биогаза. Масштабы и стабильность образования, расположение в непосредственной близости от урбанизированных территорий и низкая стоимость добычи делают биогаз одним из перспективных источников энергии для обеспечения местных нужд.

Для Республики Беларусь с учетом дефицита собственных ресурсов ископаемого топлива, слабой диверсификации географии их импорта и приоритета экологической составляющей утилизация биогаза особенно актуальна.

**Объект и методика исследований.** В качестве объекта исследования избраны полигоны ТКО Минской агломерации «Тростенецкий» и «Северный». Нами использованы данные, полученные специалистами РУП «Бел НИЦ «Экология» в процессе исследовательских работ, проводимых в 2009–2010 гг. в рамках выполнения Государственной научно-технической программы «Экологическая безопасность» по заданию «Выявить факторы экологических рисков от полигонов твердых коммунальных отходов и провести их количественную оценку, ранжировать объекты по степени опасности и разработать технические решения по снижению воздействия на окружающую среду (на примере Минской области)».

По причине отсутствия достоверных рядов наблюдений ранжировать полигоны по степени опасности достаточно проблематично. Так как до 2006 г. в республике не были разработаны регламентации экологического мониторинга полигонов, систематических замеров состава атмосферного воздуха, отбора и ана-

лиза проб воды не велось. Начиная с 2006 г., согласно СанПиН 2.1.7.12-9-2006 г., при анализе проб атмосферного воздуха на полигонах ТКО должны определяться: метан, сероводород, аммиак, окись углерода, бензол, трихлорметан, четыреххлористый углерод, хлорбензол, фенол, формальдегид (п. 54) [3]. Вместе с тем до настоящего времени Министерством здравоохранения Республики Беларусь не разработаны инструкции по методике определения объемов эмиссии свалочного газа на полигонах складирования отходов.

В определенной мере проблему позволяет решить использование методики определения эмиссий парниковых газов от полигонов, предложенной Международной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК) [3], в соответствии с которой проводится инвентаризация эмиссии парниковых газов в целом по Беларуси. При этом предполагается, что количество (объем) входящих в состав биогаза токсичных соединений пропорционально эмиссии парниковых газов.

В Республике Беларусь, с учетом специфики страны, разработана (Д.М. Ерошина, В.В. Ходин, В.С. Зубрицкий) методика оценки эмиссии метана на полигонах ТКО Минской области [3]. Предполагается проводить оценку эмиссии метана в несколько этапов.

На первом этапе рассчитывается высота накопления отходов, а также по степени метанообразования выявляется уровень управляемости полигонов. В соответствии с рекомендациями МГЭИК по степени метанообразования полигоны подразделяются на управляемые и неуправляемые, а по высоте накопленных отходов – на глубокие (>5 м) и неглубокие (<5 м) [3, с/ 101]. Высота полигонов определялась путем отношения количества накопленных отходов к площади занятой отходами.

На втором этапе определяется количество коммунальных отходов, ежегодно складированных на полигонах. Для этого привлекаются сведения ведомственной отчетности Минжилкомхоза № 1 – саночистка за 2009 г. При этом количество отходов жизнедеятельности населения в отчетности указано, а доля отходов производства, подобных отходам жизнедеятельности населения, условно принимается за 50 % от количества твердых отходов производства.

На третьем этапе работы рассчитывается доля органического вещества (ОВ) в каждом виде отходов. Способный к разложению углерод рассчитывался по формуле:

$$DOC = (0,4 \cdot A) + (0,17 \cdot B) + (0,15 \cdot C) + (0,3 \cdot D), \quad (1)$$

где DOC – доля потенциально разлагаемого вещества;

А – доля бумаги и текстиля в ТКО;  
 В – доля отходов садово-парковых работ или других непищевых органических материалов, способных к разложению в ТКО;  
 С – доля пищевых отходов в ТКО;  
 D – доля древесных отходов или соломы.

На заключительном этапе проведен расчет эмиссии метана от полигонов Минской агломерации «Тростенецкий» и «Северный». Для расчета выбросов метана по данному методу используется формула:

$$\text{CH}_4 = (\text{MSWF} \cdot \text{MSF} \cdot \text{DOC} \cdot \text{DOCF} \cdot F \cdot 16/12 - R) \cdot (1 - \text{OX}), \quad (2)$$

где MSWF – доля ТКО, захороненных на полигонах, Гг/год (тыс. т/год);  
 MSF – коэффициент коррекции потока метана (%);  
 DOC – доля потенциально разлагаемого органического вещества (%);  
 DOCF – доля органического вещества, которая фактически разлагается (типичное значение 0,77);  
 F – доля метана в образующихся на свалках газах (типичное значение 0,5);  
 R – утилизированный метан, Гг/год (тыс. т/год);  
 OX – коэффициент окисления (обычно 0);  
 16/12 – конверсионное соотношение.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Согласно определению управляемости, в республике все полигоны ТКО, в том числе «Тростенецкий» и «Северный» относятся к неуправляемым по причине неполной обустроенности, главным образом, из-за отсутствия «продувки» – вентиляции, которая устанавливается посредством закладки перфорированных труб в тело отходов при заполнении полигона.

По высоте накопленных отходов полигон «Северный» относится к первой группе (высота накопившихся отходов превышает 20 м), в то время как полигон «Тростенецкий» еще можно отнести к неглубоким (таблица 1).

Вещества, содержащиеся в биогазе, загрязняют атмосферный воздух, почвы, грунты, поверхностные воды и крайне опасны. Это результат высокого содержания в биогазе метана (40–60 %) и углекислого газа (30–45 %). В биогазе содержится более 100 компонентов, в том числе 2–4 % N<sub>2</sub>, около 1 % H<sub>2</sub>, 0,5–1,5 % H<sub>2</sub>S, до 0,5 % NH<sub>3</sub>, а также в небольших количествах присутствуют несколько десятков ароматических, галогенсодержащих и хлорированных углеводородов [3]. По характеру воздействия на людей и окружающую среду газообразные выделения из свалочных масс на полигонах ТКО можно разделить на две группы. Первая из них, включающая эмиссию

токсичных соединений, в общем составе выделений полигона незначительна, однако на части территории полигона могут наблюдаться концентрации газов, заметно превышающие для воздуха населенных мест максимально разовые предельно допустимые концентрации (ПДК м. р.), а в случае СО – ПДК для воздуха рабочей зоны [2]. Вторая группа соединений в составе биогаза содержит практически нетоксичные газы – метан и углекислый газ, которые, однако, поступая в атмосферу, формируют негативные эффекты, так как относятся к парниковым газам.

Есть мнение, что единица массы метана в сравнении с углекислым газом в 21 раз сильнее усиливает парниковый эффект [7]. Парниковый эффект, обеспечивая оптимальный для биологических объектов температурный режим, является одним из важнейших механизмов обеспечения жизни в целом на нашей планете. Наблюдающееся глобальное потепление климата есть следствие чрезмерных техногенных выбросов в атмосферу. Кроме того метан опосредовано влияет на процесс истощения озонового слоя, темпы которого растут. Следствием увеличения дозы ультрафиолетового облучения является ослабление иммунной системы человека, вспышки кожных и раковых заболеваний.

В случае часто имеющего место возгорания отходов на полигоне состав выделяющихся при этом газов резко меняется. Сгорание органических фракций при недостатке кислорода, приводит к образованию канцерогенных полиароматических углеводородов и других опасных веществ (аммиак, диоксины, фенол, бензол, органо-минеральные соединения и пр.). При пожарах концентрации некоторых из них в атмосферном воздухе значительно превышают ПДК: метана – в 8500 раз, метилбензола – в 1025, хлороформа – в 66, хлорэтана – в 1320, дихлорэтана – в 98, тетрахлорэтана – в 2367, сероводорода – в 25 тыс. раз [3]. В продуктах сгорания отходов содержание тяжелых металлов в некоторых случаях в тысячи раз больше по сравнению с геохимическим фоном. При этом тяжелые металлы, как и твердые остатки горения, могут сохраняться долгие годы, накапливаются в донных отложениях, в почвах и с пылью попадают в организм человека.

Распространение газа и неприятного запаха от полигонов происходит на расстояние до 300–400 м и оказывает вредное действие на самочувствие жителей близлежащих районов. Неконтролируемая эмиссия биогаза приводит к возникновению пожаров и увеличению риска взрывов.

Учитывая тот факт, что помимо метана, являющегося основным компонентом биогаза, в газовых выделениях присутствуют в разных (но небольших) количествах и другие соединения, в том числе токсичные, а также прямо пропорциональную зависимость объема биогаза от объема захораниваемых ТКО, можно утверждать, что полигоны ТКО «Тростенецкий» и «Северный», с наибольшими объемами образования метана и, соответственно, остальных составляющих биогаза, являются приоритетными по величине экологического риска среди других полигонов, обеспечивающих потребности «Большого Минска».

Определение эмиссии биогаза впервые в Беларуси проведено учреждением РУП «Бел НИЦ «Экология» в 1993 г. на двух крупных полигонах ТКО – г. Гомеля и Мозыря, доля содержащих органику отходов на которых составляет 21 % и 18 % соответственно [3, с. 99]. В результате проведенных исследований установлено, что в составе биогаза на полигоне г. Гомеля образуется метан в количестве 10–15 % объема биогаза, г. Мозыря – до 5,5 %.

На полигонах ТКО г. Минска «Тростенец» и «Северный» аналогичные исследования проведены сотрудниками ИГН НАН Беларуси (Л.Д. Лебедева, А.В. Кудельский) в 2002–2003 гг. На полигоне ТКО «Тростенец» в составе биогаза, зарегистрировано высокое (от 51,7 до 87,1 % объема) содержание метана, на полигоне ТКО «Северный» в составе газовых эманаций присутствует метан (от 0,1 до 4,78 % объема) и углекислый газ (от 0,37 до 2,7 % объема) [3].

Результаты расчета содержания органического вещества (Д.М. Ерошина и др.), подверженного разложению, приводятся в табли-

це 2. Из данных таблицы следует, что наиболее высока доля ОВ в бумаге и картоне и отходах садов и парков, наименьшая – в тканевых и древесных отходах. При отдельном сборе и сортировке отходов фракционный состав ТКО меняется. Исходя их модельного расчета, доля органической фракции уменьшится на 4 %, а ее «энергетическая» составляющая – на 9 % [5].

Исходя из годового количества захораниваемых ТКО и фактической скорости образования метана, проведен расчет эмиссии метана на изученных полигонах Минской агломерации (таблица 1). Расчеты показывают, что в 2009 г. этот показатель на полигонах изменяется от 23,26 Гг до 45 Гг соответственно.

При условии биопереработки отходов с целью получения газа эффективность, по литературным данным, составит не более 20–25 %, что эквивалентно 100–120 тыс. т [1]. Однако здесь следует иметь в виду два аспекта. Первый – конкретные показатели эффективности могут быть достигнуты только на основании детальных проектных разработок, создания и эксплуатации опытно-промышленного полигона; второй – эффективность данного направления следует оценивать не только по выходу биогаза, а в первую очередь по приоритету экологической составляющей. В этой связи важной задачей для ученых является разработка методики расчета эколого-экономической эффективности добычи биогаза в зависимости от факторов, влияющих на его состав и объем выделения: мощности слоя складирования, величины полигонов, сроков их эксплуатации, морфологического состава отходов, доли в них органической составляющей, климатического фактора и др.

**Таблица 1 – Количество коммунальных отходов, ежегодно захораниваемых на полигонах, и годовая эмиссия метана от них [3]**

Название полигона	Высота накопившихся отходов, м	Количество накапливаемых отходов, тыс. т/год		Годовая эмиссия метана, ГгСН <sub>4</sub>
		Всего	В том числе, коммунальные	
Северный	20	1083,8	591,6	45,0
Тростенецкий	5	512,7	305,8	23,26

**Таблица 2 – Содержание органического вещества в коммунальных отходах, % [3]**

Вид содержащего органику отхода	Доля способного разлагаться ОВ	Доля вида в коммунальных отходах	Доля ОВ, подверженного разложению
Бумага, картон	40	28	11,2
Тканевые отходы	40	7	2,8
Отходы садов и парков	17	1	17
Пищевые отходы	15	27	4,05
Древесные отходы	30	1	0,30
Всего			18,52



В республике накоплен определенный опыт утилизации свалочного метана. На полигоне «Тростенец», который в настоящее время закрыт для эксплуатации и в расчете годовой эмиссии метана не учитывался, осуществлено строительство первой очереди установки для активной дегазации ТКО, мощность которой составляет 1 МВт. Получаемая электроэнергия идет в сеть РУП «Минскэнерго». Данная установка сокращает неконтролируемую эмиссию парниковых газов в объеме около 20 тыс. т в год в эквиваленте CO<sub>2</sub>, которые свалка выбрасывает в атмосферу. Три установки соответственно уменьшат эмиссию примерно на 60 тыс. т в год, что существенно улучшить экологическую ситуацию в районе полигона.

Планируется строительство аналогичной установки по сбору и использованию метана на полигоне «Северный». Переработка всего накапливающегося объема ТКО в газ позволила бы получить в г. Минске до 30 тыс. т биогаза в год [2].

Более эффективному использованию отходов, накопившихся на полигонах Минской агломерации, будет способствовать строительство нового мусороперерабатывающего завода с плазменным реактором вблизи полигона «Тростенецкий». Предполагается, что на первом этапе строительства будет построена станция по сортировке смешанных коммунальных отходов с углубленным извлечением ценных вторичных материальных ресурсов (ВМР). Ввести в строй объект планируется в декабре 2013 г. Инвестиционный договор о строительстве завода подписан с чешской компанией «Eco Clean Energy». Завод будет перерабатывать 50–60 тыс. т мусора в год, мощность производства – 65–90 тыс. МВт/час электроэнергии, которая пойдет на нужды города [5].

Относительно безопасности реализации проекта чешской фирмы единой точки зрения нет. По мнению представителей фирмы, использование плазменного способа во время переработки отходов не сопровождается выбросами в атмосферу. Мусор перерабатывается в биотопливо, из которого потом получается электроэнергия и тепло. Отходы переработки (так называемая лава) могут использоваться в строительстве. Однако белорусские ученые-экологи считают проект строительства завода опасным для окружающей среды, и к тому же экономически нецелесообразным. Международный опыт эксплуатации мусоросжигательных заводов (США, Германия, Великобритания) доказал опасность эмиссии токсичных выбросов в атмосферу.

Вместе с тем мировая практика показывает, что даже развитые страны, где для энергетики использование биогаза не имеет решающего значения, не пренебрегают этим источником энергии как по экологическим, так и по экономическим соображениям. С начала 80-х гг. XX в. образующийся на полигонах биогаз интенсивно добывается во многих странах ЕС. В настоящее время общее количество используемого биогаза составляет примерно 1,2 млрд м<sup>3</sup>/год, что эквивалентно 429 тыс. т метана или 1 % его глобальной эмиссии [2].

В этом отношении наиболее показателен опыт Германии, где из 1 т мусора в среднем на полигонах вырабатывается около 100 м<sup>3</sup> биогаза. При общем объеме выделения биогаза в размере 4 млрд м<sup>3</sup>/год (что эквивалентно 2 млрд м<sup>3</sup> природного газа), его полезное потребление составляет около 400 млн м<sup>3</sup>/год [2]. После очистки биогаз используют для получения электрической и тепловой энергии, расходуемой для промышленных целей, и в системах отопления. Количество биогаза, генерируемого на полигонах, колеблется от 10 до 1200 м<sup>3</sup>/ч. Мощность установок для производства электроэнергии из биогаза составляет от десятка кВт до нескольких тыс. кВт, что позволяет обеспечивать энергией от нескольких домов до небольшого поселка. Нередко биогаз используется в качестве топлива в энергетических установках с двигателями внутреннего сгорания (ДВС). Себестоимость полученной энергии на установках с ДВС примерно в 2–2,5 раза ниже тарифов на электроэнергию для населения.

**Выводы.** Вышеизложенное позволяет утверждать, что проблема обезвреживания и утилизации коммунальных отходов вошла в число наиболее актуальных экологических проблем современности и требует незамедлительного решения.

Основное затруднение состоит в том, что до сих пор не найдено экономически приемлемых подходов, которые бы позволили справиться с массой быстро растущих объемов отходов в крупных мегаполисах.

С экологической точки зрения использование биогаза, получаемого из ТКО, будет способствовать:

- выполнению национальных обязательств Республики Беларусь по сокращению выбросов парниковых газов в рамках Киотского протокола;
- минимизации риска случайного возгорания отходов и выброса различных токсичных ве-

ществ в атмосферу, которые могут нанести вред здоровью людей;

- снижению «парникового эффекта» как следствию сокращения выброса парниковых газов.

Для более эффективного использования биогаза в энергетических целях необходимо:

- усовершенствовать методику расчета эколого-экономической эффективности получения биогаза в условиях нашей страны;
- рационализировать обустройство полигонов ТКО с целью получения максимально возможных объемов биогаза и минимизации издержек по выработке из него электрической и тепловой энергии;
- совершенствовать систему накопления статистических данных об отходах, идущих на складирование и захоронение.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Адамович, А.Б. Новые технологии утилизации свалочного газа / Б.А. Адамович, Ю.Б. Васильев // Твердые бытовые отходы. – 2008. – № 1. – С. 29–35.
2. Гурвич, В.И. Добыча и утилизация свалочного газа (СГ) – самостоятельная отрасль мировой индустрии / В.И. Гурвич, А.Б. Лифшиц // Экологические системы. – 2006. – № 9 – С. 17–22.
3. Ерошина, Д.М. Экологические аспекты захоронения твердых коммунальных отходов на полигонах / Д.М. Ерошина, В.В. Ходин, В.С. Зубрицкий. – Минск: РУП «БелНИЦ «Экология», 2010. – 150 с.
4. Лысухо, Н.А. Полигоны коммунальных отходов как источники парниковых газов / Н.А. Лысухо, Д.М. Ерошина // Природные ресурсы. – 2003. – № 2 – С. 106–110.
5. Проблемы и перспективы утилизации коммунальных отходов в Минской агломерации / М.Г. Ясовеев, И.В. Чернова, А.А. Колосовский и др. // Научно-методическое обеспечение деятельности по охране окружающей среды: проблемы и перспективы: сб. науч. тр. / М-во природ. ресур. и охр. окр. среды Респ. Беларусь, РУП «Бел НИЦ «Экология»; под ред. В.И. Ключенович. – Минск, 2011. – С. 197–202.
6. Альтернативные технологии по обращению с отходами / М.Г. Ясовеев, А.А. Колосовский, Н.Л. Борисова и др. // Новые технологии рециклинга отходов: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 24–25 нояб. 2011 г. / Белорус. гос. технол. ун-т; редкол.: И.М. Жарский [и др.]. – Минск, 2011. – С. 281–285.
7. <http://bdg.by/news/business/13393.html>.

#### SUMMARY

*Design procedures of the share of organic substance for each kind of the communal wastes containing organic substanses, capable to decay and estimations of issue of methane from ranges of a firm municipal waste "Trostenetsky" and "Northern" are analyzed. Environmental (ekologo-economical) necessity of the use of biogas within Minsk agglomeration is proved. The experience of the developed countries in recycling the firm municipal waste for the purpose of getting electric and thermal energy is generalised.*

Поступила в редакцию 5.01. 2012.