

ПРИМЕНЕНИЕ ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА ОБРАЩЕНИЯ С ТВЕРДЫМИ БЫТОВЫМИ ОТХОДАМИ

На сегодняшний день в Украине наиболее распространенным методом обращения с твердыми бытовыми отходами (ТБО) является захоронение несортированных отходов на свалках и полигонах. По официальным данным объемы накопления отходов стремительно растут: если в 2005 г. на свалках было накоплено свыше 60 млн. т бытовых отходов, то по состоянию на 2012 г. – почти 285 млн. т [1]. Численность свалок, многие из которых перегружены и не соответствуют нормам экологической безопасности, уже превысила 6000, а занимаемая ими площадь составляет более 9000 га. Ежегодно образуется более 30 000 несанкционированных свалок, занимающих площадь, большую чем 1100 га [1]. Таким образом, обращение с твердыми бытовыми отходами превратилось в сложную эколого-экономическую проблему, имеющую глубокий социальный подтекст.

Несмотря на то, что захоронение ТБО на свалках негативно воздействует на все компоненты окружающей среды, ухудшает условия жизнедеятельности и здоровья населения, повышает риск возникновения чрезвычайных ситуаций, такой способ ошибочно считается наиболее экономически целесообразным ввиду простоты и кажущейся дешевизны. Отчасти такая ситуация объясняется тем, что при принятии управленческих решений в сфере управления ТБО не учитывается ущерб, вызванный загрязнением окружающей среды вследствие размещения отходов на свалках (табл. 1). По мнению ученых, наиболее вредное воздействие свалки оказывают на почвы, поверхностные и подземные воды, о чем свидетельствуют

результаты исследования свалок ТБО и прилегающих к ним территорий [4, с. 202-206; 5, с. 85-86, 6, 7].

Таблица 1 – Эколого-экономические последствия захоронения
БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

| Факторы воздействия на окружающую среду | Возможный экономический ущерб |
|---|--|
| 1 | 2 |
| <p><i>Воздушная среда:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • вредные газы, имеющие неприятный запах, загрязняют воздух и усиливают парниковый эффект, являются взрыво- и пожароопасными (аммиак, метан, сероводород, меркаптан, фосфористый водород, двуокись углерода); • газы, возникающие вследствие пожара и содержащие токсичные и вредные включения: диоксины, фураны, хлористый и фтористый водород, окислы углерода, азота, сернистый ангидрид, золу | <ul style="list-style-type: none"> • ущерб, связанный с лечением населения от болезней, вызванных загрязнением воздуха; • утраченные потенциальные доходы от продажи квот на выбросы парниковых газов (в соответствии с рыночными механизмами Киотского протокола); • ущерб, вызванный повреждением имущества и разрушением зданий в результате пожаров и взрывов |
| <p><i>Водная среда:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • фильтрат, содержащий фенолы, соединения серы и азота, тяжелых металлов (цинка, свинца, никеля, хрома, кадмия и др.), ионы аммония и хлора, большое количество бактерий кишечной группы и возбудителей инфекционных болезней | <ul style="list-style-type: none"> • ущерб, связанный с лечением населения от болезней, вызванных бактериальным и инфекционным загрязнением воды; • расходы, вызванные необходимостью дополнительной очистки питьевой воды |
| <p><i>Геологическая среда и почвы:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • изменения прочности, водонасыщенности почв; • загрязнение почв инертными материалами; • химическое загрязнение тяжелыми металлами и ионами хлора, кальция, магния, натрия, вызывающих засоленность почв; • бактериологическое загрязнение почв | <ul style="list-style-type: none"> • ущерб, связанный с изъятием из хозяйственного использования земельных участков, занятых свалками и полигонами ТБО; • расходы, связанные с предотвращением и ликвидацией последствий опасных геологических процессов; • ущерб, связанный с негативными изменениями ландшафтов (в частности, уменьшение спроса и |

| | |
|---|--|
| | <p>рыночной стоимости недвижимости);</p> <ul style="list-style-type: none"> • ущерб, связанный с невозможностью выращивания экологически чистой продукции растениеводства и животноводства на прилегающих к свалкам ТБО территориях; • ущерб, связанный с профилактикой и лечением населения от болезней, вызванных бактериальным загрязнением почв; • ущерб, связанный с уменьшением рекреационной ценности территории |
| <p><i>Растительный и животный мир:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • химическое загрязнение почвы и водных источников; • развитие патогенных микроорганизмов | <ul style="list-style-type: none"> • ущерб, связанный с уменьшением объемов зеленых насаждений; • ущерб, связанный с уменьшением биоразнообразия, вызванного исчезновением мест обитания многих видов живых организмов и массовой миграцией животных; • ущерб, связанный с повышением заболеваемости культурных растений и домашних животных |

[2, с. 211-212; 3, с. 45-49]

Следует также отметить, что при захоронении отходов на свалках и полигонах происходит анаэробный распад органических компонентов ТБО, продолжающийся в течение нескольких десятилетий. При этом образуется биогаз, основными компонентами которого являются метан (40 – 60 %) и углекислый газ (30 – 45 %). Согласно Рамочной конвенции по изменению климата и Киотскому протоколу, метан и углекислый газ относятся к "парниковым газам прямого действия", усиливающим парниковый эффект. Нужно отметить, что потенциал глобального потепления углекислого газа принят за единицу, а вклад отдельных парниковых газов выражают через условные единицы – эквивалент CO₂ (CO₂-екв.). По сравнению с углекислым газом метан влияет на усиление

парникового эффекта в 21 раз больше (его потенциал глобального потепления равен 21) [8, с. 34].

В Украине свалки и полигоны ТБО являются одним из источников выбросов парниковых газов прямого действия, в частности метана. По сравнению с 1990 г. выбросы метана со свалок ТБО в Украине увеличились в 2009 г. на 92 тыс. т. [8, с. 57]. Несмотря на то, что вклад сектора "отходы" в суммарные выбросы парниковых газов составляет 2,8 %, однако наблюдается негативная тенденция их ежегодного роста. В связи с постоянным увеличением накопления ТБО на свалках выбросы в секторе "отходы" за период 1990–2009 гг. увеличились на 16 % (с 8,4 до 9,7 млн. т CO₂-экв.) [8, с. 61].

Неподобающее обустройство свалок, в частности отсутствие систем сбора и рекуперации биогаза, недостаточный контроль, слабая управляемость физическими и биохимическими процессами, происходящими в теле свалки, приводят к самовозгоранию биогаза, которое сопровождается выделением в атмосферу большого количества вредных веществ, что вызывает существенный экономический ущерб, связанный, в том числе, с ухудшением здоровья населения. Также необходимо отметить, что при захоронении отходов на свалках теряется прибыль, которую можно было бы получить от вторичной переработки ресурсоценных компонентов, входящих в состав ТБО.

Таким образом, свалки выступают потенциальным источником химического загрязнения окружающей среды, ухудшения качества жизни населения, роста заболеваемости людей и сокращения продолжительности их жизни. Поэтому традиционная технология захоронения смешанных бытовых отходов на свалках и полигонах является экономически бесперспективной и экологически недопустимой вследствие значительной опасности для окружающей среды и здоровья населения.

Одним из подходов к решению проблемы выбора оптимального способа обращения с твердыми бытовыми отходами является использование методологии, основанной на

экономико-математическом моделировании и применяемой в системах поддержки принятия решений. Целью данного исследования является создание оптимизационной экономико-математической модели, позволяющей производить адекватный выбор оптимального варианта обращения с ТБО, учитывая при этом не только экономические, но и экологические аспекты проблемы.

В практике управления обращением с отходами процессы принятия решений должны включать два основных этапа:

1) подготовку принятия решения: формулировку задачи, определение цели, создание математической модели, проверку ее адекватности, разработку критериев оценки альтернатив;

2) собственно, принятие решения: моделирование нескольких альтернативных вариантов обращения с ТБО, оценку альтернатив в соответствии с избранными критериями, выбор оптимального решения.

Нужно отметить, что процессы обращения с твердыми бытовыми отходами относятся к классу эколого-экономических процессов, специфика моделирования которых заключается в том, что объектом моделирования выступает взаимодействие общественно-производственных отношений и природных явлений (в отличие от многих экономических моделей, в которых объектом моделирования являются только общественно-производственные отношения) [9, с. 36].

В связи с этим действия, связанные с накоплением, сбором, транспортировкой, переработкой, утилизацией, обезвреживанием и захоронением ТБО, сочетают в себе как экономические, так и экологические аспекты проблемы обращения с твердыми бытовыми отходами. Поэтому для более адекватного описания указанных процессов необходимо использовать два критерия оптимизации, что позволит объединить в одной математической модели как экономические, так и экологические составляющие.

В качестве критерия оптимизации, учитывающего экологический аспект проблемы, предлагается избрать оценку

суммарного экономического ущерба, вызванного загрязнением окружающей среды вследствие размещения отходов на свалках. Суммарный экономический ущерб для i -го варианта действий ($Y_{\text{сум}_i}$) можно рассчитать как сумму ежегодных экономических ущербов, вызванных загрязнением атмосферы, водных и земельных ресурсов в течение периода, оставшегося до возвращения земель в хозяйственный оборот:

$$Y_{\text{сум}_i} = \sum_{j=1}^t (Y_{\text{атм}_{ij}} + Y_{\text{вод}_{ij}} + Y_{\text{зем}_{ij}}), \quad (1)$$

где i – номер рассматриваемой альтернативы (индекс i меняется в пределах от 1 до n);

n – общее количество альтернатив по обращению с ТБО;

t – время, оставшееся до возвращения земель в хозяйственный оборот, лет, которое рассчитывается как разность между суммой лет проектного срока эксплуатации свалки и времени, необходимого для рекультивации земель, и количеством лет от начала эксплуатации свалки;

j – порядковый номер года, для которого рассчитывается экономический ущерб;

$Y_{\text{атм}_{ij}}$ – экономический ущерб, вызванный загрязнением атмосферы для i -го варианта действий в j -м году;

$Y_{\text{вод}_{ij}}$ – экономический ущерб, вызванный загрязнением водных ресурсов для i -го варианта действий в j -м году;

$Y_{\text{зем}_{ij}}$ – экономический ущерб, вызванный загрязнением земельных ресурсов для i -го варианта действий в j -м году.

Для оценки экономических ущербов, вызванных загрязнением водных и земельных ресурсов, предлагается использовать стандартные методики, утвержденные Министерством экологии и природных ресурсов Украины:

"Методику расчета размеров возмещения убытков, причиненных государству вследствие нарушения законодательства об охране и рациональном использовании водных ресурсов" [10]; "Методику определения размеров ущерба, обусловленного загрязнением и засорением земельных ресурсов из-за нарушения природоохранного законодательства" [11]. Определение размера ущерба, причиненного государству вследствие негативного влияния свалок ТБО на атмосферный воздух, потребовало адаптации "Методики расчета размеров возмещения убытков, причиненных государству в результате сверхнормативных выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух" [12] с учетом "Руководящих принципов национальных инвентаризаций парниковых газов" [13], разработанных Межправительственной группой экспертов по изменению климата.

При размещении отходов на свалках и полигонах образуются выбросы, которые можно рассматривать как технологические и аварийные. К первым следует отнести выделение биогаза, ко вторым – выбросы загрязняющих веществ, образующихся при сгорании ТБО на свалках или полигонах. Согласно предложенной нами методике годовой экономической ущерб, вызванный загрязнением атмосферного воздуха в результате размещения отходов на свалках или полигонах, можно определить по формуле:

$$U_{атм} = U_{био} + U_{авар}, \quad (2)$$

где $U_{био}$ – годовой экономической ущерб, вызванный загрязнением атмосферного воздуха вследствие технологических выбросов в атмосферу биогаза со свалок или полигонов, грн; $U_{авар}$ – годовой экономической ущерб, вызванный загрязнением атмосферного воздуха вследствие аварийных выбросов в атмосферу при сгорании отходов на свалках, грн.

Определение годового экономического ущерба, наносимого выбросами биогаза с полигонов и свалок отходов в конкретном населенном пункте, предлагается осуществлять по формуле:

$$U_{\text{био}} = M_{\text{органич}} \times M_{\text{эkv}} \times C_{\text{эkv}}, \quad (3)$$

где $M_{\text{органич}}$ – масса органических отходов, размещенных на свалке в течение года, из которых образуется биогаз, кг;

$M_{\text{эkv}}$ – масса биогаза, выделяемого из 1 кг органических отходов, депонированных на свалке, выраженная в эквиваленте CO_2 ;

$C_{\text{эkv}}$ – стоимость 1 кг эквивалента CO_2 , грн/кг.

Следует отметить, что на мировом рынке цена единицы сокращения выбросов (ЕСВ) (1 единица ЕСВ равна 1 т эквивалента CO_2) каждый год корректируется и в 2012 г. составляет около 5 евро.

Определение годового экономического ущерба вследствие аварийных выбросов в атмосферу, возникающих при сгорании отходов на свалках, в конкретном населенном пункте предлагается осуществлять по формуле:

$$U_{\text{авар}} = M_{\text{ТБО}} \times B_{\text{сг}} \times K_{\text{нзн}} \times 3П_{\text{мин}} \times K_{\text{сг}} \times K_{\text{т}} \times K_{\text{сум}}, \quad (4)$$

где $M_{\text{ТБО}}$ – масса ТБО, размещенных на свалке в течение года, кг;

$B_{\text{сг}}$ – доля отходов, сгоревших на свалке в течение года;

$3П_{\text{мин}}$ – размер минимальной заработной платы на момент расчета выбросов, грн;

$K_{\text{нзн}}$ – коэффициент пересчета минимальной заработной платы за 1 кг условного загрязняющего вещества, кг^{-1} ;

$K_{\text{сг}}$ – коэффициент, учитывающий опасность выбросов при сгорании ТБО;

$K_{\text{т}}$ – корректирующий коэффициент, учитывающий территориальные социально-экономические особенности местоположения свалки;

$K_{\text{сум}}$ – корректирующий коэффициент, учитывающий социально-экологические особенности региона.

Подробное изложение методики расчета суммарного экономического ущерба, вызванного загрязнением окружающей среды вследствие размещения отходов на свалках, приведено в нашем исследовании [14, с. 102-115].

Вторым критерием оптимизации, учитывающим экономический аспект проблемы, целесообразно принять суммарные затраты на обращение с твердыми бытовыми отходами. Выбор данного критерия обусловлен тем, что все этапы процесса обращения с ТБО сопряжены с использованием людских, материальных и финансовых ресурсов. Вследствие ограниченности ресурсов проблема их рационального использования является весьма актуальной. Суммарные затраты на обращение с твердыми бытовыми отходами для i -го варианта действий ($Z_{\text{сум}_i}$) можно представить в виде суммы годовых расходов, необходимых для обеспечения обращения с ТБО, и расходов, необходимых для рекультивации свалки или полигона по истечении срока их эксплуатации:

$$Z_{\text{сум}_i} = Z_{\text{рек}_i} + \sum_{j=1}^t (Z_{\text{пред}_{ij}} + Z_{\text{сбор}_{ij}} + Z_{\text{трансп}_{ij}} + Z_{\text{утил}_{ij}} + Z_{\text{удал}_{ij}}), \quad (5)$$

где $Z_{\text{пред}_{ij}}$ – расходы на предотвращение возникновения ТБО и минимизации их объема для i -го варианта действий в j -м году;

$Z_{\text{сбор}_{ij}}$ – расходы на сбор ТБО для i -го варианта действий в j -м году;

$Z_{\text{трансп}_{ij}}$ – расходы на транспортировку ТБО для i -го варианта действий в j -м году;

$Z_{\text{утил}_{ij}}$ – затраты на переработку и утилизацию ТБО для i -го варианта действий в j -м году;

$Z_{удал\ ij}$ – расходы на удаление ТБО для i -го варианта действий в j -м году;

$Z_{рек\ i}$ – затраты на рекультивацию участка свалки для i -го варианта действий.

Исходя из предложенных критериев, можно оценивать и сравнивать варианты обращения с ТБО (альтернативы). Однако необходимо отметить, что при выборе оптимального варианта обращения с ТБО может возникнуть ситуация выбора в пределах множества несравнимых альтернатив (множества Эджворта-Парето). В таком случае решение должно приниматься либо путем введения дополнительных условий, либо на основе дополнительной информации о важности (привлекательности или нежелательности) для лица, принимающего решение (ЛПР), того или иного критерия [15, с. 23].

Необходимо отметить, что современные методы расчета экономического ущерба, наносимого загрязнением окружающей среды, не позволяют учесть все возможные негативные последствия, вызванные загрязнением. По мнению ученых, рассчитанный экономический ущерб всегда меньше реального и составляет не более 35 – 40 % действительных потерь [16, с. 121]. Именно поэтому предпочтение нужно отдавать критерию, характеризующему ущерб, вызванный загрязнением окружающей среды вследствие захоронения отходов на свалках.

Поскольку выбор альтернатив с большей величиной экономического ущерба, вызванного загрязнением окружающей среды, является нежелательным, считаем целесообразным ввести дополнительный весовой коэффициент – коэффициент нежелательности (k_{ni}), который для i -го суммарного экономического ущерба, вызванного загрязнением окружающей среды, можно вычислить по формуле:

$$k_{ni} = Y_{сум\ i} / \max_i Y_{сум\ i} \quad (6)$$

Коэффициент нежелательности рассчитывается для каждого варианта обращения с ТБО. При этом k_{ni} равен единице для варианта с наибольшим экономическим ущербом, вызванным загрязнением окружающей среды, среди всех рассматриваемых альтернатив. Введение данного коэффициента способствует выбору более экологически безопасных вариантов обращения с отходами.

Одним из методов решения задач многокритериальной (векторной) оптимизации является свертывание векторного критерия с помощью метода суммирования, когда в качестве обобщенного критерия оптимизации выступает максимальное (или минимальное) значение суммарного критерия. При этом каждый частный критерий, как правило, умножается на соответствующие весовые коэффициенты. В литературе описаны различные способы определения весовых коэффициентов, в частности, упорядочение критериев в зависимости от их относительной важности [17, с. 14].

Применяя метод свертывания векторного критерия, можно учесть относительную важность частных критериев с помощью построения обобщенного критерия и свести многокритериальную задачу оптимизации к решению однокритериальной задачи. Таким образом, обобщенный критерий оптимальности (O_i) представляет собой взвешенную сумму частных критериев оценки:

$$O_i = k_{ni} \times Y_{\text{сум}_i} + Z_{\text{сум}_i} \quad (7)$$

Обобщенный критерий, выраженный формулой (7), позволяет учитывать нежелательность увеличения суммарного экономического ущерба, вызванного загрязнением окружающей среды вследствие размещения отходов на свалках.

Окончательное решение по выбору оптимального варианта действий по обращению с твердыми бытовыми отходами принимается ЛПР в соответствии с решающим правилом, в качестве которого предлагается принять минимальное значение обобщенного критерия. Операцию выбора альтернативного

варианта действий в соответствии с условием достижения минимального значения обобщенного критерия оптимальности можно выразить следующей формулой:

$$\text{Sel } i : O_i = \min \quad (8)$$

Иными словами, необходимо выбрать такой i -й вариант действий (альтернативу), при котором значение оценки в соответствии с решающим правилом, выраженным формулой (8), будет наименьшим.

В общем виде экономико-математическую модель выбора оптимального варианта обращения с твердыми бытовыми отходами можно представить в виде следующей системы отношений:

$$Y_{\text{сум } i} = \sum_{j=1}^t (Y_{\text{атм } ij} + Y_{\text{вод } ij} + Y_{\text{зем } ij}),$$

$$Z_{\text{сум}} = Z_{\text{рек}} + \sum_{j=1}^t (Z_{\text{пред } j} + Z_{\text{сбор } j} + Z_{\text{трансп } j} + Z_{\text{утиль } j} + Z_{\text{удал } j}), \quad (9)$$

$$O_i = k_{n_i} \times Y_{\text{сум } i} + Z_{\text{сум } i}, \quad \text{где } k_{n_i} = Y_{\text{сум } i} / \max_i Y_{\text{сум } i},$$

$$\text{Sel } i : O_i = \min,$$

$$i = \overline{1, n}; \quad j = \overline{1, t}.$$

При построении оптимизационной математической модели одним из обязательных условий является проверка модели на наличие вариантности (альтернативных сценариев развития). Проверка результатов вычисления по предложенной экономико-математической модели на наличие ненулевого диапазона вариантов развития осуществляется путем расчета относительного показателя вариантности по формуле [9, с. 18]:

$$K_{\text{var}} = \frac{O_{\text{max}} - O_{\text{min}}}{O_{\text{max}}}, \quad (10)$$

где K_{var} – показатель вариантности экономико-математической модели в целом;

O_{min} – минимальное значение обобщенного критерия оценки;

O_{max} – максимальное значение обобщенного критерия оценки.

Теоретически значение показателя вариантности может быть в пределах от 0 до 1. Показатель вариантности, близкий к нулю, свидетельствует о незначительном отклонении найденного оптимального варианта действий от уже известного. В таком случае эффективность применения разработанной экономико-математической модели для поиска наилучшего сценария развития будет низкой. Если значение показателя вариантности приближается к единице, это означает, что экономический объект более свободно использует имеющиеся ресурсы для своего функционирования. Оптимальное значение данного показателя, по мнению исследователей, должно находиться в пределах от 0,2 до 0,5 [9, с. 19].

Данная математическая модель была положена в основу разработанной нами информационной системы поддержки принятия решений (СППР) относительно вариантов обращения с ТБО, предназначенной для использования руководителями органов местного самоуправления [14, с. 147-155]. Процесс выбора оптимального варианта обращения с ТБО был продемонстрирован на примере населенного пункта в сельской местности. Выбор производился среди предложенных четырёх альтернатив.

С помощью разработанной СППР в качестве оптимальной альтернативы был избран вариант, получивший минимальную оценку обобщенного критерия, т. е. наиболее эффективный с точки зрения затрат при условии минимизации эколого-экономического ущерба, наносимого негативным воздействием отходов на окружающую среду. Оптимальный вариант

соответствует требованиям действующего законодательства Украины в сфере обращения с отходами и предусматривает отдельную систему сбора твердых бытовых отходов, их перевозку спецтранспортом, дальнейшую сортировку и получение вторичного сырья, которое затем перерабатывается на специализированных предприятиях. Инертные остатки после сортировки ТБО размещаются на полигоне при районном (областном) центре. Органические компоненты ТБО перерабатываются с помощью биологических методов (компостирование, вермикультура) в самом населенном пункте. Расходы, необходимые для осуществления указанных операций, а также на рекультивацию полигона, включены в тариф на услуги по вывозу ТБО.

Особенностью такого варианта является то, что в нем предусмотрены затраты на осуществление мероприятий, направленных на предотвращение образования и минимизацию объемов ТБО, в частности, обучение населения и управленцев, организацию и проведение экологических акций, разработку и печать информационных, методических материалов по вопросам экологически безопасного обращения с отходами.

Таким образом, предложен подход к выбору оптимального варианта обращения с твердыми бытовыми отходами, основанный на экономико-математическом моделировании процессов обращения с отходами. Особенностью разработанной оптимизационной экономико-математической модели является то, что она позволяет учесть не только экономические, но и экологические аспекты обращения с отходами. В качестве критериев оптимизации выбраны суммарные расходы на обращение с твердыми бытовыми отходами и суммарный экономический ущерб, вызванный загрязнением окружающей среды вследствие размещения отходов на свалках. Предложенная модель является основой для создания системы поддержки принятия управленческих решений по вопросам выбора оптимального варианта обращения с твердыми бытовыми отходами.

Список использованной литературы

1. Аналіз стану сфери поводження з побутовими відходами в Україні за 2011 рік: статистична інформація Міністерства регіонального розвитку, будівництва і житлово-комунального господарства України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.minregion.gov.ua>.

2. Сметанин В.И. Защита окружающей среды от отходов производства и потребления / В.И. Сметанин. – М.: КолосС, 2003. – 230 с.

3. Студінський В.А. Управління твердими побутовими відходами в містах України / В.А Студінський. – К.: КІМО, 2006. – 152 с.

4. Годовська Т.Б. Еколого-гігієнічний аналіз впливу полігону твердих побутових відходів на підземну гідросферу / Т.Б. Годовська, В.П. Фещенко // Меліорація і водне господарство. – 2010. – Вип. 98. – С. 198-208.

5. Снітинський В. Екологічний стан водних джерел територій, прилеглих до Луцького сміттєзвалища / В. Снітинський, Н. Баб'як // Еколого-економічні проблеми розвитку АПК: міжнародна наук.-практ. конф., присвячена 10-й річниці конференції ООН з питань охорони навколишнього середовища та розвитку, 25-27 вересня 2002 р.: тези доп. – Львів: Львівський державний аграрний університет, 2002. – С. 84-87.

6. Лысухо Н.А. Воздействие объектов размещения отходов на окружающую среду / Н.А. Лысухо, Д.М. Ерошина [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://waste.com.ua/cooperation/2008/theses/lysuho.html>.

7. Романова Е.М. Экологические проблемы, порождаемые несанкционированными свалками на территории Ульяновской области / Е.М. Романова, В.Н. Намазова [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://waste.com.ua/cooperation/2008/theses/romanova.html>.

8. Национальный кадастр антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов в Украине за 1990-2009 гг. – К., 2011. – 557 с.

9. Кузубов М.В. Моделювання економічних і еколого-економічних процесів / М.В. Кузубов, О.М. Єдинак, Н.Л. Овандер. – К.: КСУ, 2010. – 170 с.

10. Про затвердження Методики розрахунку розмірів відшкодування збитків, заподіяних державі внаслідок порушення законодавства про охорону та раціональне використання водних ресурсів: Наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища України від 20.07.2009, № 389 // Офіційний вісник України. – 2009. – № 63, С. 128, ст. 2242.

11. Про затвердження Методики визначення розмірів шкоди, зумовленої забрудненням і засміченням земельних ресурсів через порушення природоохоронного законодавства: Наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища та ядерної безпеки України від 27.10.97, № 171, із змінами від 04.04.2007 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?page=1&nreg=z0285-98>.

12. Про затвердження Методики розрахунку розмірів відшкодування збитків, які заподіяні державі в результаті наднормативних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря: Наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища від 10.12.08, № 639 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0048-09>.

13. Пересмотренные руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов, МГЭИК, 1996. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ncsf.ru/resources/method/01-rus/volume2/file06.pdf>.

14. Горобець О.В. Еколого-економічні аспекти поводження з твердими побутовими відходами особистих селянських господарств: дис. на здобуття наук. ступеня канд. екон. наук: спец. 08.00.06 "Економіка природокористування та охорони навколишнього середовища" / О.В. Горобець. – Житомир, 2011. – 245 с.

15. Ларичев О.И. Объективные модели и субъективные решения / О.И. Ларичев. – М.: Наука, 1987. – 144 с.

16. Екосередовище і сучасність: монографія. Т. 5. Управління екосередовищем в умовах регіоналізації [С.І. Дорогунцов, М.А. Хвесик, Л.М. Горбач, П.П. Пастушенко]. – К.: Кондор, 2006. – 446 с.

17. Батищев Д.И. Многокритериальный выбор с учетом индивидуальных предпочтений / Д.И. Батищев, Д.Е. Шапошников. – Нижний Новгород: Изд-во ИПФ РАН, 1994. – 92 с.