

А.В. АТЕРЕКОВА, С.Б. СИВАЕВ

ВЫБОР УЧАСТКОВ ПОД ОБЪЕКТЫ ОБРАЩЕНИЯ С ТВЕРДЫМИ КОММУНАЛЬНЫМИ ОТХОДАМИ

НА ОСНОВЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО АНАЛИЗА И МНОГОФАКТОРНОЙ ОЦЕНКИ

Urban Studies and Practices Vol.1 #1, 2016, 70-85

<https://doi.org/10.17323/usp11201670-85>

Авторы:

Атерекова Анна Владиславовна, магистр Высшей школы урбанистики имени А.А. Высоковского НИУ ВШЭ.

E-mail: a.aterekova@gmail.com

Сиваев Сергей Борисович, кандидат технических наук, профессор Высшей школы урбанистики имени А.А. Высоковского НИУ ВШЭ.

E-mail: ssivaev@hse.ru

Аннотация

В статье предлагается формализованный подход к выбору мест под объекты обращения с отходами. Методика позволяет обеспечить баланс между устойчивостью экосистемы и экономической эффективностью при создании инфраструктуры

сбора, обработки, утилизации, обезвреживания, размещения твердых коммунальных отходов.

Методика базируется на пространственном анализе с применением инструментов геоинформационной системы (ГИС) и многофакторном анализе с применением метода анализа иерархий. На примере Схемы расположения межмуниципальных объектов размещения отходов Нижегородской области была проведена практическая апробация предлагаемой методики¹.

Ключевые слова: управление отходами; твердые коммунальные отходы (ТКО); полигон отходов; многофакторный анализ; метод анализа иерархий; устойчивость экосистемы; экономическая эффективность

Актуальность задачи¹

Проблема выбора места размещения объектов обращения с отходами включает широкий круг участников и необходимость учета множества разнообразных, а порой и противоположных мнений. Необходим механизм, который бы позволял выработать компромиссное и объективное решение, учитывающее интересы всех участников.

В действующей в России нормативно-правовой базе и нормативно-технических документах, касающихся планирования инфраструктуры обращения с отходами, «отсутствует четкий состав анализируемых факторов, методики расчетов и принятия многокритериальных решений с учетом различных видов воздействий и их последствий» [Орцханов, 2010, с. 150–153]. В качестве справочного материала при строительстве мусорного полигона (как наиболее распространенного в России типа объектов обращения с отходами) используются СНиП 2.01.28-85 «Полигоны по обезвреживанию и захоронению токсичных промышленных отходов. Основные

¹ Диссертационное исследование в рамках обучения по магистерской программе «Управление пространственным развитием городов» Высшей школы урбанистики НИУ «Высшая школа экономики» в 2015 г. (выпускная квалификационная работа на тему «Методика выбора мест под объекты обращения с твердыми бытовыми отходами»).

положения по проектированию», принятые 1 января 1986 г., и Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов ТБО от 2 ноября 1996 г.

Анализ публикаций [Научная электронная библиотека...] показал, что вопросы выбора мест размещения объектов обращения с отходами в российской научно-исследовательской литературе также отражены мало. Работы в большей степени касаются проведения исследований в отношении текущих мест размещения или порядка эксплуатации действующих полигонов отходов [Путырский, 2014; Селиванова, Трифонова, Селиванов, 2012; Шамсутдинова, 2011; Гарифзянов, Батракова, 2014; Калюжина, Самарская, 2014]. При этом отмечается недостаточная обоснованность решений при выборе мест размещения объектов обращения с отходами и необходимость разработки методического подхода к решению данной задачи [Великанова, 2013].

Описание методики

На основе изучения зарубежных подходов к выбору мест для размещения объектов обращения с отходами и с учетом текущих требований, предъявляемых к размещению аналогичных объектов в России, разработана методика, состоящая из трех последовательных этапов принятия решений.

Первый этап включает отбор потенциально пригодных мест, цель которого состоит в том, чтобы исключить ту часть территории, где размещение опасных для окружающей среды и здоровья человека объектов недопустимо. Отбор пригодных мест проводится путем пространственного анализа с применением геоинформационных систем (ГИС). На основе первичных («исключающих») факторов, определяемых исходя из сложившегося землепользования с учетом природоохранных требований, особенностей рельефа местности, морфологии ландшафта, выбираются потенциальные зоны для размещения объектов ТКО. Далее на втором этапе осуществляется ранжирование выбранных мест по приоритетности. Процедура проводится на основе многофакторного анализа по оценочным критериям путем моделирования задачи принятия решений — к этой процедуре привлекаются эксперты. На третьем этапе осуществляются сравнение вариантов и оценка устойчивости полученных значений. Результатом является выбор наиболее подходящих земельных участков для строительства объектов обращения с отходами.

Общая схема этапов методики представлена на рис. 1.

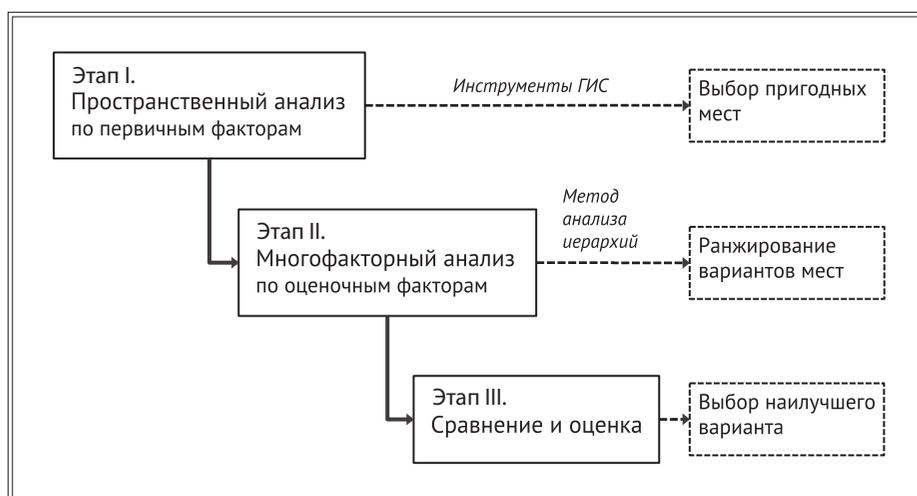


Рис. 1. Методика выбора мест для размещения объектов обращения с ТКО

Алгоритм методики выбора мест размещения объектов обращения с отходами включает десять шагов (рис. 2).



Рис. 2. Алгоритм методики выбора мест для размещения объектов обращения с отходами

Ключевыми компонентами методики, определяющими приемлемость ее применения к той или иной территории, являются:

- состав первичных факторов, разработка которых проводится, прежде всего, на основе действующих на исследуемой территории природоохранных требований (шаг 1);
- перечень оценочных факторов, в котором отражаются принципы стратегии управления отходами на исследуемой территории, определяется полнота и степень значимости исходных предпосылок (шаг 5);
- процедуры определения и сопоставления оценочных факторов, включая подход к выбору экспертов, глубину их участия в анализе, качество подготовки материалов для работы экспертов, что в конечном счете определяет объективность полученных результатов (шаги 6–8).

Остальные шаги имеют более технический характер и предполагают обработку вводной информации, что, однако, не умаляет их важности.

Ввиду того что полигон твердых коммунальных отходов (полигон ТКО) является наиболее часто встречающимся типом объекта в технологиях утилизации ТКО и таким полигонам предъявляются наиболее строгие природоохранные требования, данный тип объекта используется в качестве базового в методике. Предельные допустимые значения факторов, определенные на основе требований, предъявляемых к размещению полигонов ТКО, становятся достаточными для применения методики в отношении любых других инфраструктурных объектов обращения с твердыми коммунальными отходами.

Рассмотрим отдельные этапы предлагаемой методики.

Этап I. Пространственный анализ

Разработка первичных факторов

Набор первичных факторов для выбора потенциально пригодных мест и исключения неприемлемых территорий формируется на основе действующих природоохранных требований

к размещению объектов обращения с отходами. В России это нормативно-правовые акты в области охраны окружающей среды, строительные нормы и правила, санитарно-гигиенические правила (СанПиН и СП), регулирующие, главным образом, размещение и проектирование полигонов отходов производства и потребления.

Так, в разд. 2 упомянутого выше *СНиП 2.01.28-85* содержится перечень требований к выбору места размещения промышленных полигонов. Отдельные требования, в частности по размерам земельных участков и санитарно-защитных зон (СЗЗ) для предприятий и сооружений по транспортировке, обезвреживанию и переработке бытовых (коммунальных) отходов, содержатся в действующих строительных нормах и правилах *СНиП 2.07.01-89* «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений» (табл. 1).

Таблица 1. Размеры земельных участков и СЗЗ в соответствии со СНиП 2.07.01-89

Предприятия и сооружения	Размеры земельных участков на 1000 т ТБО в год, га	Размеры СЗЗ, м
Предприятия по промышленной переработке бытовых отходов мощностью: – до 100 тыс. т в год – более 100 тыс. т в год	0,05 0,05	300 500
Склады свежего компоста	0,04	500
Полигоны (кроме полигонов токсичных промышленных отходов)	0,02–0,05	500
Поля компостирования	0,5–1,0	500
Мусороперегрузочные станции	0,04	100
Поля складирования и захоронения обезвреженных остатков (по сухому веществу)	0,3	1000

Источник: СНиП 2.07.01-89.

Определение санитарно-защитной зоны и размеры СЗЗ для объектов обращения с отходами также устанавливает *СанПиН 2.2.1/2.1.1. 1200-03* «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов». Размер СЗЗ уменьшает воздействие источника загрязнения до установленных гигиеническими нормативами значений и обеспечивает уровень безопасности населения при эксплуатации объекта в штатном режиме. СЗЗ отделяют территории жилой застройки, ландшафтно-рекреационных зон, территорий садоводческих товариществ и коттеджной застройки, дачных и садово-огородных участков от «опасных» производственных (коммунальных) объектов [*Постановление Главного государственного..., 2007*]. Для объектов обращения с отходами установлены следующие размеры СЗЗ (наименования объектов в соответствии с формулировками СанПиН):

- Усовершенствованные свалки ТБО — 1000 м (класс I).
- Полигоны ТБО — 500 м от жилой застройки.
- Мусоросжигательные и мусороперерабатывающие объекты:
 - мощностью свыше 40 тыс. т / год — 1000 м (класс I);
 - мощностью до 40 тыс. т / год — 500 м (класс II).
- Участки компостирования ТБО — 500 м (класс II).
- Центральные базы по сбору утильсырья — 300 м (класс III).
- Базы районного назначения для сбора утильсырья — 100 м (класс IV).
- Мусороперегрузочные станции — 100 м (класс IV).

Общие требования по санитарно-эпидемиологическому контролю определены в *ФЗ №52-ФЗ* «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 30 марта 1999 г., а также в *СанПиН 2.1.7.1322-03* «Гигиенические требования к размещению и обезвреживанию отходов производства и потребления» и в *СанПиН 2.1.7.1038.01* «Гигиенические требования

к устройству и содержанию полигонов твердых бытовых отходов». Так, в соответствии с СанПиН 2.1.7.1038.01:

- При выборе участка для устройства полигона ТБО [...] не допускается размещение полигонов на территории зон санитарной охраны водоисточников и минеральных источников; во всех зонах охраны курортов; в местах выхода на поверхность трещиноватых пород; в местах выклинивания водоносных горизонтов, а также в местах массового отдыха населения и оздоровительных учреждений (п. 3.1 СанПиН 2.1.7.1038.01).
- Размер СЗЗ от жилой застройки до границ полигона — 500 м. [...] Перспективными являются места, где выявлены глины или тяжелые суглинки, а грунтовые воды находятся на глубине более 2 м. Не используются под полигоны болота глубиной более 1 м и участки с выходами грунтовых вод в виде ключей (п. 3.2 СанПиН 2.1.7.1038.01).
- Полигон ТБО желательно размещать на ровной территории. [...] Допускается отвод земельного участка на территории оврагов (п. 3.3 СанПиН 2.1.7.1038.01).
- Участок для устройства полигона ТБО должен отводиться в соответствии с утвержденным генеральным планом или проектом планировки и застройки» (п. 3.3 СанПиН 2.1.7.1038.01).

Существует также *проект новых СанПиН [Проект Постановления Главного государственного...]*, который подготовлен взамен действующего СанПиН 2.1.7.1038.01, где в более структурированном виде оформлены требования к размещению полигонов ТБО:

- Размещение полигона ТБО не допускается (п. 3.2 проекта СП 2.1.7<...>-14):
 - на территории I, II и III поясов зон санитарной охраны водоисточников и минеральных источников;
 - во всех поясах зоны санитарной охраны курортов;
 - в зонах массового загородного отдыха населения и на территории лечебно-оздоровительных организаций;
 - в рекреационных зонах;
 - в местах выхода на поверхность трещиноватых пород;
 - в местах выклинивания водоносных горизонтов;
 - в границах установленных водоохраных зон открытых водных объектов;
 - на землях, занятых или предназначенных под занятие лесами, лесопарками и другими зелеными насаждениями, выполняющими защитные и санитарно-гигиенические функции и являющимися местом отдыха населения;
 - на участках, загрязненных органическими и радиоактивными отходами, до истечения сроков, установленных органами, уполномоченными на осуществление федерального государственного санитарно-эпидемиологического надзора;
 - на территориях, оказывающих влияние на состояние ближайшего водного объекта.
- Участок для размещения полигона ТБО должен располагаться на территориях с уровнем залегания подземных вод на глубине не менее 2 м от нижнего уровня размещаемых отходов (п. 3.4 проекта СП 2.1.7<...>-14).
- Полигоны ТБО должны располагаться ниже мест водозаборов хозяйственно-питьевого водоснабжения, рыбоводных хозяйств, мест нереста и массового нагула рыбы (п. 3.6 проекта СП 2.1.7<...>-14).
- Участок для размещения полигона ТБО должен располагаться с подветренной стороны (для ветров преобладающего направления) по отношению к населенным пунктам и рекреационным зонам, а также быть незатопляемым и неподтапливаемым (п. 3.7 проекта СП 2.1.7<...>-14).
- Не допускается использование под полигоны ТБО болот и участков с выходами грунтовых вод в виде ключей (п. 3.9 проекта СП 2.1.7<...>-14).
- Допускается отвод земельного участка под полигоны ТБО на территории оврагов, начиная с его верховьев, при обеспечении требования по организации сбора и удаления талых и ливневых вод (п. 3.11 проекта СП 2.1.7<...>-14).
- Площадь участка, отводимого под полигон ТБО, выбирается исходя из условия срока его эксплуатации не менее 20 лет (п. 3.14 проекта СП 2.1.7<...>-14).
- Вокруг всей территории полигона ТБО, кроме ограждения, обязательно производится посадка деревьев (п. 3.34 проекта СП 2.1.7<...>-14).

Помимо строительных нормативов и санитарных правил, действует «Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов ТБО» [Инструкция по проектированию..., 1996], в которой также содержится перечень рекомендаций по выбору участка под полигон, в частности:

- Полигоны размещаются за пределами городов и других населенных пунктов. Размер СЗЗ от жилой застройки до границ полигона — 500 м. [...] Лучшими считаются участки с глинами или тяжелыми суглинками и грунтовыми водами, расположенными на глубине не менее 2 м. Исключается использование под полигон болот глубиной более 1 м и участков с выходами грунтовых вод в виде ключей, затопляемых паводковыми водами территорий, районов геологических разломов, а также земельных участков, расположенных ближе 15 км от аэропортов. Под полигоны отводятся отработанные карьеры, свободные от ценных пород деревьев, участки в лесных массивах, овраги и другие территории (п. 1.2 Инструкции).
- Площадь участка, отводимого под полигон, выбирается, как правило, из условия срока его эксплуатации не менее 15—20 лет (п. 1.5 Инструкции).

Таким образом, исходя из рассмотренных выше нормативно-технических требований, первичный отбор потенциально пригодных мест размещения полигонов ТКО рекомендуется осуществлять по 11 факторам (табл. 2).

Таблица 2. Набор первичных факторов для проведения пространственного анализа

	Первичные факторы	Значение	Функция	Источник
1	Расстояние от жилой застройки	1000 м	Max	СанПиН**
2	Расстояние от охранных зон	1000 м	Max	СанПиН
3	Расстояние от промышленных зон*	500 м	Min	—
4	Расстояние от земель с/х назначения	1000 м	Max	—
5	Расстояние до транспортных магистралей	100 м	Min	—
6	Глубина уровня залегания подземных вод	2 м	Max	СП***
7	Расположение ниже мест водозаборов хозяйственно-питьевого водоснабжения, рыбоводных хозяйств	Да	Boolean	СП
8	Незатопляемость и неподтапливаемость участка	Да	Boolean	СП
9	Расположение с подветренной стороны по отношению к населенным пунктам и рекреационным зонам	Да	Boolean	СП
10	Отсутствие болот и выхода грунтовых вод на участке	Да	Boolean	СП
11	Расположение на территории оврагов	Да	Boolean	СП

* ООПТ, зоны охраны объектов культурного наследия, зоны охраняемого культурного слоя, заповедные территории, водоохранные зоны, зоны санитарной охраны источников питьевого водоснабжения, зоны охраняемого природного ландшафта.

** СанПиН 2.2.1/2.1.1. 1200-03.

*** СП 2.1.7.1038.01.

Подготовка ГИС-слоев и проведение пространственного анализа

Пространственный анализ проводится на основе карт, формирующих следующие ГИС-слои (табл. 3).

С учетом критериев первичного анализа для каждого типа территории определяются буферные зоны, чтобы исключить неприемлемые зоны из дальнейшего анализа. Исключаются следующие территории (табл. 4).

Таблица 3. ГИС-слои для пространственного анализа

	Карта	Источник информации	Цель анализа
1	Текущее землепользование	OSM, Wikimapia, публичная кадастровая карта	Первичный отбор
2	Лесной массив	OSM	Первичный отбор
3	Водные объекты	OSM	Первичный отбор
4	Транспортная система	OSM	Первичный отбор
5	Состав почв	OSM	Выбор участков
6	Рельеф	US Geological Survey	Выбор участков
7	«Роза ветров»		Выбор участков
8	Действующие полигоны ТКО	OSM, Wikimapia, публичная кадастровая карта	Выбор участков

Таблица 4. Территории, непригодные для размещения объектов обращения с ТКО

	Функциональное использование территории (ГИС-слой)	Минимальная буферная зона, м
1	Территории жилой застройки, с/х назначения, дач, зеленых насаждений	1000
2	Территории размещения промышленных, военных объектов, гаражей	500
3	Населенные пункты	1000
4	Лесной массив	1000
5	Природоохранные территории	1000
6	Водные объекты	1000
7	Дороги	100

Результатом пространственного анализа является карта, полученная путем пересечения слоев, отображающая зоны, неприемлемые и потенциально приемлемые для размещения объектов обращения с отходами. После исключения непригодных зон в отношении оставшейся территории анализируется состав почв, рельеф местности и формируется предварительный перечень вариантов мест под объекты обращения с отходами.

Критерий комплексного управления отходами

После того как предварительные места размещения полигона ТКО определены, необходимо оценить их потенциальную пригодность с учетом критерия комплексного управления отходами. Данный критерий оценивает потенциал места с точки зрения возможностей реализации принципов комплексного управления отходами, учитывающих жизненный цикл отходов, иерархию способов обращения и внедрение замкнутых циклов производств. Критерий комплексного управления определяется исходя из планирования перспективной площади земельного участка для размещения дополнительных объектов обращения с отходами, за счет чего, вследствие повышения степени переработки ТКО, достигается снижение количества размещаемых отходов и удлинение срока службы полигона. Размер земельного участка должен быть достаточным, чтобы обеспечить:

- минимальный срок эксплуатации полигона ТКО, который должен составлять 15–20 лет [Постановление Главного государственного..., 2001];

- возможность текущего или перспективного строительства вблизи полигона других объектов обращения с отходами с целью реализации комплексного управления отходами.

Удовлетворяющие всем стадиям отбора участки рассматриваются как потенциальные варианты мест размещения полигона ТКО и участвуют во втором этапе анализа — многофакторном анализе.

Этап II. Многофакторный анализ

Целью многофакторного анализа является ранжирование выбранных вариантов мест размещения объектов обращения с отходами, которое проводится по оценочным факторам путем моделирования задачи принятия решения по методу анализа иерархий (АНР) и/или методу анализа сетевых процессов (АНР). Для упрощения проведения процедуры может быть использовано специализированное программное обеспечение, например, программа *Super Decision [Super Decision...]*.

Метод анализа иерархий был разработан Томасом Саати [Saaty, 1990, p. 9–26] в 1980 г. и получил широкое распространение для решения проблемы поиска наилучшего решения. В соответствии с методом АНР проблема принятия решения разделяется на несколько уровней иерархии, образуя однонаправленные парные связи между всеми уровнями. Вершина иерархии — это главная цель. Уровни ниже — количественные и качественные критерии и субкритерии. На нижнем уровне — варианты решения, которые оцениваются по сформулированным ранее критериям. Метод использует попарное сравнение, измеряя важность каждого элемента относительно друг друга по шкале от 1 до 9 (табл. 5). В результате определяется весовая оценка по каждому альтернативному варианту.

Таблица 5. Шкала оценки при использовании метода анализа иерархий

Оценка по степени важности	Значение	Пояснение
1	Факторы равнозначны: i так же важен, как и j (equally important)	Оба фактора имеют одинаковое значение по отношению к оцениваемому параметру
3	Один фактор умеренно важнее другого (moderately more important)	Исходя из опыта и экспертизы, оценка в пользу одного из факторов
5	Один фактор определенно важнее другого (strongly more important)	Исходя из опыта и экспертизы, оценка решительно в пользу одного из факторов
7	Один фактор существенно важнее другого (very strongly more important)	Исходя из опыта и экспертизы, оценка решительно в пользу одного из факторов, что подтверждается на практике
9	Абсолютная важность одного фактора над другим (extremely more important)	Оценка в пользу одного из факторов очевидна и не вызывает сомнений
2, 4, 6, 8	Срединное значение между двумя смежными суждениями (например, оценка 2 — equally to moderately more important)	При наличии каких-либо ограничений и необходимости поиска дополнительного компромисса
Взаимно простые числа	Если фактор i имеет одно из вышеуказанных значений больше 0, присвоенных ему при сравнении с фактором j , то фактор j будет иметь взаимно-обратное значение при сравнении с фактором i	

Источник: [Saaty, 1990, p. 9–26].

Схема метода анализа иерархий представлена на рис. 3.

Недостатком метода анализа иерархий является его строгая иерархическая структура: элементы каждого уровня однонаправленно связаны между собой (главенствующий элемент

и подчиненный), в то время как проблемы реальной жизни зачастую имеют более сложные связи. Нивелировать данное ограничение позволяет метод анализа сетевых процессов (ANP), являющийся модификацией метода анализа иерархий. При использовании метода ANP проблема принятия решения представляется в виде сети критериев и вариантов (обобщенно — элементов), сгруппированных в кластеры. Все элементы сети могут быть связаны между собой в любом направлении, образуя взаимосвязи внутри и между кластерами (рис. 4). Это обеспечивает возможность более точного моделирования сложных систем.

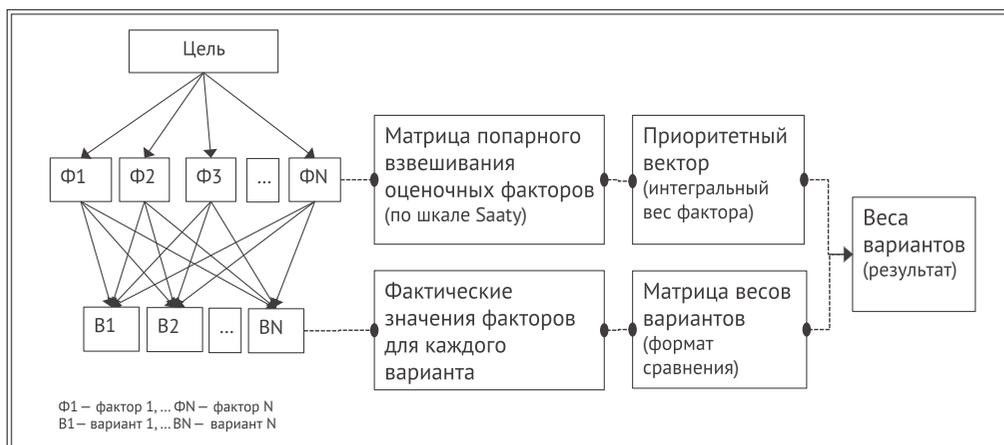


Рис. 3. Метод анализа иерархий

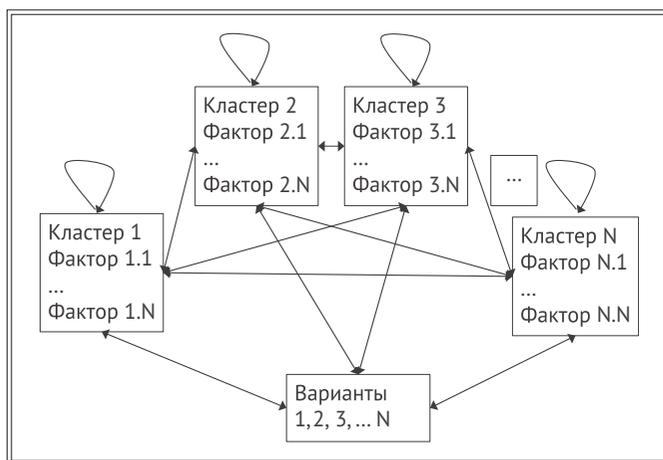


Рис. 4. Метод анализа сетевых процессов

Разработка оценочных факторов и их допустимых значений

Если набор первичных факторов базируется на нормах природоохранного законодательства и в целом не вызывает сложностей при разработке, то перечень оценочных критериев включает в себя больше качественных характеристик, и их сбор является более сложной и ответственной задачей. Неверный выбор факторов, не учитывающий в полной мере интересы всех ключевых участников и общественное мнение, позволяет получить технически верные, но не всегда жизнеспособные в условиях местного социально-экономического контекста территории решения. В зависимости от местных особенностей набор оценочных факторов может различаться. Поэтому при общности методического подхода факторы, по которым проводится ранжирование предварительно выбранных мест, в каждом конкретном случае определяются отдельно в зависимости от задач исследования и особенностей рассматриваемой территории.

Для каждого типа объектов обращения с отходами (МПЗ, завод по компостированию, полигон ТКО и пр.) разрабатывается «свой» набор факторов.

В качестве обобщенного подхода предлагается использовать следующие три группы оценочных факторов: социальные, экологические и экономические. Данное предложение обусловлено тем, что эти три группы позволяют отразить баланс между тремя основными целями: экономическим ростом, устойчивой экосистемой и социальным развитием [Интервью с генеральным...]. Другими словами, такой подход позволяет учесть цели устойчивого развития, когда текущее управление отходами осуществляется с учетом долгосрочных целей и интересов будущих поколений. Эти группы также отражают интересы основных сторон (население, государство, бизнес), тем самым удовлетворяя критерию достаточности учета мнений.

В качестве примера перечня оценочных факторов для демонстрации подхода к проведению второго этапа методики выбраны следующие 10 критериев (рис. 5). В соответствии с методом анализа иерархий все элементы организуются в структуре «Цель — Критерии — Варианты».

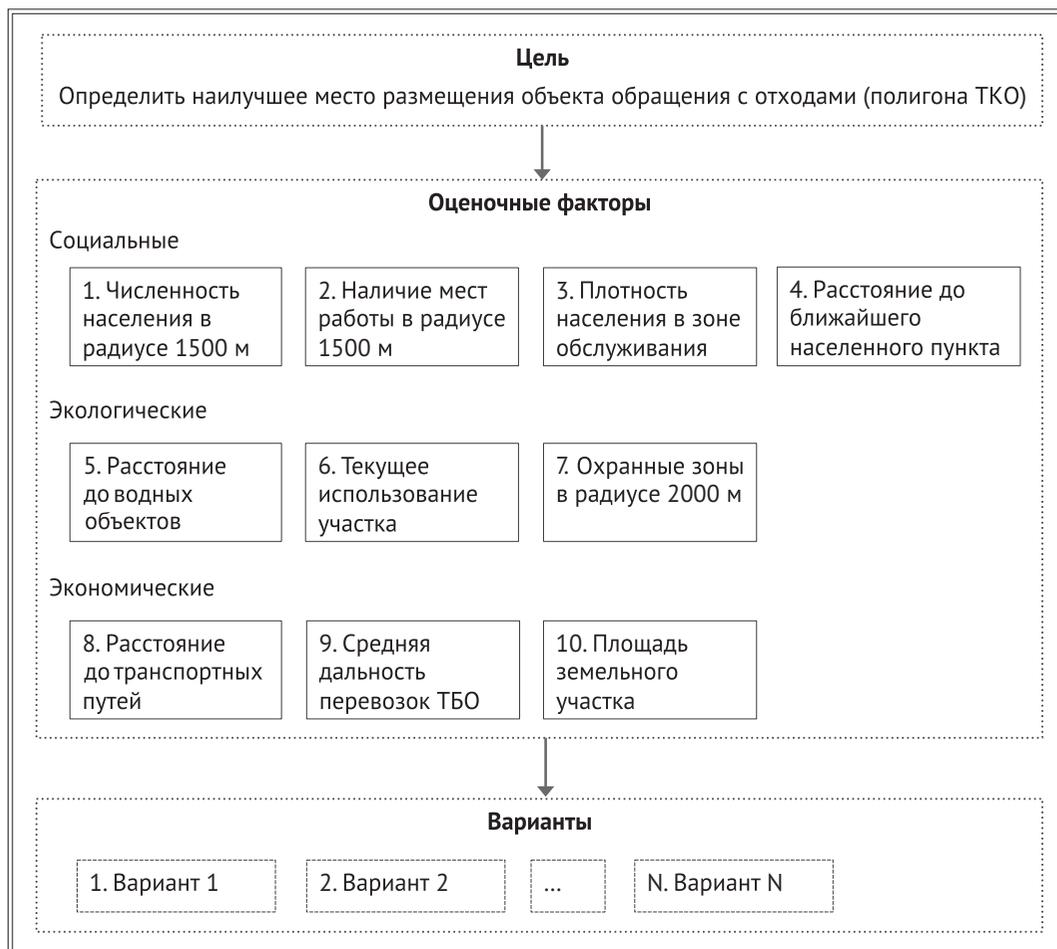


Рис. 5. Пример набора оценочных факторов для сравнения вариантов мест размещения объектов обращения с отходами

Данный состав оценочных факторов не является исчерпывающим, в зависимости от целей и задач исследования любая группа может быть расширена. Например, в экологическую группу могут быть добавлены такие факторы, как количество осадков, скорость ветра, тип почв рассматриваемых участков, в экономическую — число действующих предприятий по переработке отходов в ближнем радиусе от участка, расстояние до источников энергии, расстояние до объектов коммунальной инфраструктуры, доступ к транспортным путям (требуется ли строительство новой дороги) и т.д.

Попарное взвешивание

После определения состава факторов, по которым будет проводиться оценка вариантов мест расположения объектов обращения с отходами, необходимо взвесить степень важности и приоритетности данных факторов. Для этого факторы попарно сравниваются между собой относительно степени их влияния на исходную задачу — выбор места размещения объекта обращения с отходами. Сравнение факторов осуществляется методом экспертного анализа. Для опроса экспертов разрабатывается анкета, которая содержит вопросы, позволяющие для каждой пары факторов оценить важность и степень приоритетности одного фактора относительно другого. Например, вопрос может быть сформулирован таким образом: какой из двух факторов — фактор 1 «Численность постоянного населения в радиусе 1500 м от места размещения полигона ТКО» или фактор 8 «Расстояние до транспортных путей» — является более важным при выборе места размещения объекта и «Насколько сильно»? Важность одного фактора по отношению к другому оценивается по шкале Saaty, где 9 — наивысшая степень важности, 1 — факторы одинаково важны. Соответственно, если фактор 1 является более важным в сравнении с фактором 8 и имеет оценку 6, то фактор 8 по отношению к фактору 1 будет иметь обратную оценку 1/6. Если выразить в общем виде: $a_{ij} = 1$ и $a_{ji} = 1/a_{ij}$. Подобным же образом оценивается приоритет группы факторов между собой — какая группа наиболее важная: социальная, экономическая или экологическая. На основе этих оценок формируется матрица попарного взвешивания оценочных факторов. Для проверки качества результатов рассчитывается индекс соответствия (consistency ratio). Если значение индекса не превышает 0,1, то матрица попарного взвешивания считается согласованной, непротиворечивой. После оценки значений и попарного взвешивания всех элементов рассчитывается интегральное значение весов для каждого фактора — приоритетный вектор факторов.

Определение фактических значений и нормирование факторов

В состав показателей, по которым проводится оценка вариантов, включаются как количественные, так и качественные факторы. В зависимости от характера ограничений допустимые значения количественных факторов определяются:

- по фактическим значениям показателей;
- исходя из допустимых диапазонов значений.

Например, расстояние до транспортных магистралей учитывается по фактическим значениям: чем ближе место размещения полигона к дороге, тем лучше. А расстояние до мест проживания населения учитывается по диапазонам значений, так как данный фактор имеет дополнительное ограничение: чем дальше место размещения полигона ТКО от населенных пунктов, тем лучше, однако в то же время расстояние должно быть приемлемым, чтобы обеспечить рентабельность обслуживания вывоза ТКО из городов и поселений.

Качественные оценки определяются:

- по булевой логике

или

- по весовым значениям.

Например, для оценки влияния полигона ТКО на качество и эстетику окружающего пространства оценивается наличие или отсутствие природоохранных зон и зон охраны объектов культурного наследия в пределах 2000 м: истинно, если охранные зоны отсутствуют, и ложно, если присутствуют. Для оценки возможности размещения полигона ТКО на том или ином земельном участке используются весовые коэффициенты: веса обозначают необходимость и сложность изменения вида текущего использования земельного участка.

Итак, для каждого варианта места размещения по результатам обработки эмпирических данных и экспертных оценок указываются фактические значения показателей. Далее, для возможности сравнения количественных и качественных факторов между собой необходимо привести их значения к единому нормированному знаменателю (в диапазоне от 0 до 1). Подход к переводу фактических значений в нормированные выбирается в зависимости от типа фактора и может базироваться на следующей логике рассуждений:

- Для качественных факторов (2, 6, 7) применяется весовая оценка: чем лучше характеристика объекта по анализируемому фактору, тем выше нормированное значение.

- Для количественных факторов используется три подхода:
 - либо фактические характеристики сохраняются в исходном виде и далее нормируются по методу средневзвешенного значения (5, 8, 9);
 - либо фактические значения оцениваются с учетом диапазонной оценки, и нормированные значения определяются в зависимости от диапазона (1, 4);
 - либо фактические данные интерпретируются исходя из их связи с качественной составляющей (3, 10).

В установлении нормированных значений факторов обязательно участие экспертов, которые проводят процедуру на основе стандартизированного подхода.

Пример подхода к переводу фактических значений факторов в формат для сравнения представлен в табл. 6.

Таблица 6. Подход к взвешиванию оценочных факторов

	Факторы	Описание	Пример нормированных значений
Социальные	Фактор 1 «Численность населения в радиусе 1500 м, человек»	Оценивается численность постоянно проживающего населения вблизи «опасного» объекта	Если в радиусе 1500 м проживает до 50 человек – 0,75, 50–100 человек – 0,5, более 100 человек – 0,25
	Фактор 2 «Наличие предприятий в радиусе 2000 м»	Оценивается наличие вблизи «опасного» объекта мест работы населения	Если предприятия присутствуют в пределах радиуса 2000 м – 0,25, если мест приложения труда в радиусе 2000 м нет – 0,75
	Фактор 3 «Плотность населения на обслуживаемой территории»	Оценивается степень важности наличия объекта для удаления образующегося количества ТКО в зависимости от концентрации обслуживаемого населения	Объекты, предназначенные для обслуживания высокоурбанизированных территорий, имеют больший вес
	Фактор 4 «Расстояние до ближайшего населенного пункта»	Оценивается угроза риска эксплуатации объекта для окружающей среды и здоровья человека	Если участок расположен на удалении не менее 2 км – 0,75, если на расстоянии 1–2 км – 0,5, если менее 1 км – 0,25
Экологические	Фактор 5 «Расстояние от водных объектов»	Оценивается риск загрязнения источников воды и нарушения экосистемы	Используются фактические значения по каждому объекту обращения с отходами, которые далее переводятся в весовые с учетом средневзвешенного значения
	Фактор 6 «Текущее использование земельного участка»	Оценивается степень нарушения текущего использования земельного участка и необходимость проведения работ кадастрового учета по изменению вида функционального использования	Если участок уже предназначен для размещения объектов обращения с отходами, то оценка – 0,75, для территорий промышленного назначения – 0,5, для остальных – 0,25
	Фактор 7 «Охранные зоны в радиусе 2000 м»	Оценивается угроза вреда на охраняемые территории и влияние на эстетику окружающего пространства	Если в радиусе 2 км нет природоохранных территорий и объектов охраны культурного наследия, то значения весов 0,75, в противном случае – 0,25
Экономические	Фактор 8 «Расстояние до транспортных путей»	Оценивается влияние на стоимость перевозок в зависимости от удаленности полигона ТБО от транспортных путей	Используются фактические значения по каждому объекту обращения с отходами, которые далее переводятся в шкалу с учетом средневзвешенного значения
	Фактор 9 «Среднее расстояние до населенных пунктов»	Оценивается влияние на стоимость перевозок в зависимости от дальности маршрута для удаления отходов с обслуживаемой территории	Используются фактические значения по каждому объекту обращения с отходами, которые далее переводятся в шкалу с учетом средневзвешенного значения
	Фактор 10 «Площадь участка»	Оценивается достаточность площади выбранного участка для размещения всего количества ТКО, образуемого в зоне обслуживания, а также возможность строительства в перспективе вблизи объекта перерабатывающих предприятий. Площадь участка должна коррелировать с численностью населения	Участок полностью удовлетворяет критерию текущей обеспеченности и расширения инфраструктуры – 0,9. Участок удовлетворяет средним характеристикам текущей обеспеченности и имеет запас площади для расширения инфраструктуры – 0,75. Площадь участка удовлетворяет критерию текущей обеспеченности ограниченно с учетом высоты складирования – 0,5. Площадь участка имеет ограниченные размеры даже с учетом высоты складирования, строительство новых объектов затруднительно – 0,25

В итоге формируется матрица факторов, которая представляет собой таблицу, в которую заносятся нормированные значения каждого фактора по каждому варианту места размещения.

Этап III. Сравнение вариантов и оценка устойчивости результатов

Исходя из матрицы нормированных значений факторов и приоритетного вектора факторов определяется весовой индекс (ранг) каждого из вариантов. Целью сравнения является выбор наилучшего варианта места размещения объекта обращения с отходами. Вариант с наибольшим весом является наиболее предпочтительным. Остальные варианты выстраиваются по мере убывания ранга. По каждому варианту фиксируются выводы, включающие преимущества и недостатки участка, возможные ограничения и дополнительные условия при создании объектов.

Завершающей процедурой методики является анализ чувствительности, который показывает степень влияния факторов на полученные результаты, т.е. как изменяются итоговые результаты при изменении исходных параметров.

В итоге удастся найти оптимальное решение по месту размещения объектов обращения с отходами, учитывая интересы всех участвующих групп в соответствии с природоохранными требованиями.

Заключение

Цель работы состояла в том, чтобы предложить методический подход к решению задачи выбора мест размещения объектов обращения с отходами для применения в России. Предложена методика, нацеленная на применение в России, в составе методики разработаны наборы первичных и оценочных факторов. Предложенная методика включает необходимые и достаточные условия: 1) согласуется с требованиями российского природоохранного законодательства, что является необходимым базисом; 2) позволяет найти компромиссное решение между всеми группами заинтересованных в вопросе выбора мест под объекты обращения с отходами, включая население, бизнес, государство, что обеспечивает наибольшую перспективную эффективность от реализации проектов. Методика является гибкой и позволяет ее модифицировать в зависимости от исходных предпосылок каждой конкретной задачи: прежде всего, за счет изменения набора оценочных критериев и порядка проведения оценки факторов для углубления качества экспертизы результатов.

Данная методика может быть использована в качестве инструментария поддержки принятия решений при выборе мест размещения объектов обращения с отходами органами власти субъектов Российской Федерации при разработке территориальных схем обращения с отходами.

Литература

- Великанова Т.В. (2013) Методы и модели размещения объектов обращения с отходами в регионе // *Фундаментальные исследования*. № 11. С. 1289–1293.
- Гарифзянов Р.Д., Батракова Г.М. (2014) Идентификация и оценка экологического состояния территорий размещения отходов методом дешифрования космических снимков // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Природная экология. Урбанистика*. № 3. С. 86–95.
- «Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов ТБО» (утв. Министерством строительства РФ 2 ноября 1996 г.).
- Интервью с генеральным директором Совета по жилищному строительству в Сингапуре доктором Cheong Koon Hean // *Ifhp.org*. Режим доступа: <http://www.ifhp.org/ifhpchannel> (дата обращения: 30.04.2015).
- Калюжина Е.А., Самарская Н.С. (2014) Экологические особенности воздействия полигонов твердых бытовых отходов на состояние окружающей среды в районах их расположения // *Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона»*. № 3. Научная электронная библиотека *elibrary.ru / Elibrary.ru*. Режим доступа: <http://elibrary.ru> (дата обращения: 12.05.2015).

- Орцханов Т.А. (2010) Градостроительные аспекты, направленные на обеспечение экологической безопасности территорий размещения полигонов ТБО // Градостроительство. № 3. С. 150–153.
- Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 25.09.2007 № 74 «О введении в действие новой редакции санитарно-эпидемиологических правил и нормативов СанПиН 2.2.1/2.1.1. 1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов».
- Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 30.05.2001 № 16 «О введении в действие санитарных правил». СП 2.1.7.1038.01 «Гигиенические требования к устройству и содержанию полигонов твердых бытовых отходов».
- Проект Постановления Главного государственного санитарного врача РФ «Об утверждении СП 2.1.7<...>-14 «Санитарно-эпидемиологические требования к устройству и эксплуатации полигонов для твердых бытовых отходов» (по состоянию на 24.12.2014) (подготовлен Роспотребнадзором).
- Путырский В.Е. (2014) Проблема утилизации отходов: методы натурального моделирования // Гидравлика и инженерная геология. № 5. С. 86–91.
- Селиванова Н.В., Трифонова Т.А., Селиванов О.Г. (2012) О размещении и строительстве межмуниципального комплекса по переработке и захоронению твердых бытовых и приравненных к ним промышленных отходов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Т. 14. № 1 (9). С. 2443–2446.
- Шамсутдинова А.И. (2011) Основы эколого-экономического регулирования при размещении отходов на полигонах ТБО (на примере Республики Башкортостан) // Научный журнал НИУ ЭТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент». № 2 (9).
- International Federation for housing and Planning / Ifhp.org. Режим доступа: <http://www.ifhp.org/ifhpchannel> (дата обращения: 30.04.2015).
- Saaty T.L. (1990) How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process // European Journal of Operational Research. No. 48. P. 9–26.
- Super Decision Software. Creative Decisions Foundation / Superdecisions.com. Режим доступа: <http://www.superdecisions.com/> (дата обращения: 20.02.2015).

A. ATEREKOVA, S. SIVAEV

SELECTION OF SITES FOR WASTE MANAGEMENT FACILITIES ON THE BASIS OF SPATIAL ANALYSIS AND MULTI-FACTOR ASSESSMENT

Authors:

Anna Aterekova, Master of Vysokovsky Graduate School of Urbanism (NRU HSE).

E-mail: a.aterekova@gmail.com

Sergei Sivaev, candidate in technology, Professor (Vysokovsky Graduate School of Urbanism NRU HSE).

E-mail: ssivaev@hse.ru

Abstract

The paper proposes a formal approach to the selection of sites for waste treatment facilities. The procedure allows to achieve a balance between the stability of ecosystem and economic efficiency in the creation

of infrastructure for collecting, processing, recycling, incineration and disposal of solid municipal waste. The technique is based on the spatial analysis using the tools of geographic information system (GIS) and the multifactorial analysis using the Analytic Hierarchy Process.

Practical approbation of the proposed method is performed on the Scheme of inter-municipal waste disposal facilities of the Nizhny Novgorod region.

Key words: waste management; municipal solid waste; MSW; landfill; multifactorial analysis; Analytic Hierarchy Process; sustainability; economic efficiency

References

- Elektronnyiy nauchnyy zhurnal "Inzhenernyy vestnik Dona"* [Electronic scientific journal "Vestnik Don Engineering"], no 3.
- Garifzyanov R., Batrakova G. (2014) Identifikatsiya i otsenka ekologicheskogo sostoyaniya territorij razmeshcheniya otkhodov metodom deshifrovaniya kosmicheskikh snimkov [Identification and assessment of the ecological conditions of the waste disposal areas by satellite image interpretation]. *Vestnik Permskogo natsionalnogo politekhnicheskogo universiteta. Prirodnayaekologiya. Urbanistika* [Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. The natural ecology. Urban study], no 3, pp. 86–95.
- "Instruktsii po proektirovaniyu, ekspluatatsii i rekultivatsii poligonov TBO" (utv. Ministerstvom stroitelstva RF 02.11.1996 [Instructions for the design, operation and reclamation of landfills for municipal solid waste, Ministry of Construction of the Russian Federation, November 2, 1996].
- International Federation for housing and Planning. *Ifhp.org*. Available at: <http://www.ifhp.org/ifhpchannel> (accessed: 30.04.2015).
- Kalyuzhina E., Samarskaya N. (2014) Ekologicheskie osobennosti vozdeystviya poligonov tverdyh bytovykh otkhodov na sostoyanie okruzhayushey sredy v rayonah ih raspolozheniya [Ecological features of the impact of municipal solid waste landfills on the environment in the areas of their location].
- Nauchnaya elektronnyaya biblioteka [Scientific Electronic Library] *elibrary.ru / Elibrary.ru*. Available at: <http://elibrary.ru> (accessed: 12.05.2015).
- Ortskhanov T.A. (2010) Gradostroitelnyye aspekty, napravlennyye na obespechenie ekologicheskoy bezopasnosti territoriy razmeshcheniy poligonov TBO [Urban development aspects aimed at ensuring the ecological safety of the placement of MSW landfills]. *Gradostroitelstvo* [City planning], no 3, pp. 150–153.
- Postanovlenie Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha RF ot 25.09.2007 № 74 "O vvedenii v deystvie novoy redaktsii sanitarno-epidemiologicheskikh pravil inormativov SanPiN 2.2.1/2.1.1. 1200-03 "Sanitarno-zaschitnyye zony i sanitarnaya klassifikatsiya predpriyatii" [Resolution

- of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation from 25.09.2007 № 74 "On introduction of the new version of the sanitary-epidemiological rules and norms SanPiN 2.2.1 / 2.1.1.1200-03 "Sanitary protection zones and sanitary classification of enterprises, structures and other objects"]].
- Postanovlenie Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha RF ot 30.05.2001 № 16 "O vvedenii v deystvie sanitarnykh pravil». Sanitary Rules 2.1.7.1038.01 "Gigienicheskie trebovaniya k ustroystvu i soderzhaniyu poligonov tverdykh bytovykh othodov" [Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation from 30.05.2001 № 16 "On introduction of the sanitary regulations." Sanitary Rules 2.1.7.1038.01 "Hygienic requirements to the device and the content of municipal solid waste landfills"]].
- Proekt Postanovleniya Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha RF "Ob utverzhdenii SP 2.1.7<...>-14 "Sanitarno-epidemiologicheskie trebovaniya k ustroystvu i ekspluatatsii poligonov dlya tverdykh bytovykh othodov" (po sostoyaniyu na 24.12.2014) (podgotovlen Rospotrebnadzorom) [Draft Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation "On approval of the 2.1.7 <...> -14 "Sanitary-epidemiological requirements to the design and operation of landfills for municipal solid waste" (as of 12/24/2014) (prepared by Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing (Rospotrebnadzor))].
- Putyrskiy V. (2014) Problema utilizatsii othodov: metody naturnogo modelirovaniya [The problem of waste processing: the method of field modelling] *Gidravlika i inzhenernaya geologiya* [Hydraulics and Engineering Geology], no 5. pp. 86–91.
- Saaty T.L. (1990) How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, no 48, pp. 9–26.
- Selivanova N., Trifonova T., Selivanov O. (2012) O razmeschenii i stroitelstve mezhmunitsipalnogo kompleksa po pererabotke i zahoroneniyu tverdykh bytovykh i priravnennykh k nim promyshlennykh othodov [On the location and construction of inter-municipal facility for processing and disposal of municipal solid and similar industrial waste]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* [Bulletin of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], vol. 14, no 1 (9), pp. 2443–2446.
- Shamsutdinova A. (2011) Osnovy ekologo-ekonomicheskogo regulirovaniya pri razmeschenii othodov na poligonah TBO (na primere Respubliki Bashkortostan) [Fundamentals of ecological and economic regulation at the waste disposal on landfills (on example of the Republic of Bashkortostan)]. *Nauchnyy zhurnal NIU JeTMO. Seriya "Jekonomika i jekologicheskij menedzhment"*, no 2 (9).
- Super Decision Software. Creative Decisions Foundation. *Superdecisions.com*. Available at: <http://www.superdecisions.com/> (accessed: 30.04.2015).
- Velikanova T. (2013) Metody i modeli razmeshcheniya ob'ektov obrashcheniya s otkhodami v regione [Methods and models of placement of facilities for waste management in the region]. *Fundamentalnye issledovaniya* [Fundamental research], no 11, pp. 1289–1293.