

Научно-исследовательская работа  
ЭКОЛОГИЯ

**ПРИМЕНЕНИЕ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ ДЛЯ  
ВЫДЕЛЕНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА  
ПОЛИГОНОВ ТБО**

*Выполнил:*  
**Митрофанов Тимур Александрович**  
*учащийся 9А класса*  
*МАОУ «Лицей – инженерный центр»*  
*Советского района г. Казани*

*Руководитель:*  
**Терёхин Андрей Анатольевич**  
*педагог дополнительного образования*  
*МБУДО "Центр детского творчества*  
*"Танкодром" Советского района г. Казани*

## Введение

Задача выявления, картографирования, мониторинга мест складирования различных видов отходов – одна из наиболее **актуальных** в сфере охраны окружающей среды. С одной стороны, это связано с серьезным негативным воздействием свалок на все компоненты ландшафта за счет физического, химического, биологического загрязнения, а также ухудшением качества жизни населения за счет резкого снижения эстетической ценности природных комплексов и возрастания техногенных рисков. С другой стороны, это обусловлено все большей актуальностью проблемы на фоне длительного отсутствия контроля в этой сфере, резкого снижения экологической культуры населения, возросшего уровня производства и потребления, что вместе с бурным развитием композиционных, строительных и упаковочных материалов делает проблему стихийных свалок одной из наиболее острых.

Несанкционированные свалки по самой своей сути — очень многочисленные, крайне пространственно распределенные и, в основном, небольшие по площади объекты. Вокруг одного поселка городского типа может располагаться от нескольких десятков до полутора сотен мест несанкционированного размещения твердых отходов. Вокруг городов это число возрастает на порядок. В связи с этим полный наземный контроль связан с огромными финансовыми, временными, человеческими затратами, а во многих ситуациях просто невозможен.

Практически единственным источником информации, дающим полную, актуальную, оперативную картину проблемы и при этом минимизирующим финансовые, временные, трудовые затраты для решения данной проблемы, являются современные данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса. Безусловно, наиболее эффективная методика мониторинга мест складирования отходов должна опираться на современные компьютерные технологии, в частности, на средства обработки данных ДЗЗ и геоинформационные системы (ГИС). Космические снимки в сочетании с

выборочным наземным контролем, а также другими источниками информации (имеющимися электронными картами, цифровыми моделями рельефа), становятся основой для оперативного выявления, картографирования и мониторинга свалок.

**Целью** нашего исследования являлась оценка возможности выявления и дальнейшего мониторинга свалок и полигонов ТБО на территории Республики Татарстан.

Для достижения поставленной цели нами были поставлены следующие **задачи**:

- Изучить методики выделения полигонов ТБО на космических снимках.
- Определить критерии для выделения полигонов ТБО.
- Провести дешифрирование космических снимков для выделения полигонов ТБО.

**Практическая значимость** работы обусловлена тем, что ее результаты помогут создать общую информационную картину распределения свалок и полигонов ТБО во времени и в пространстве, оценить сложность проблемы в целом и разработать исходя из реальной ситуации полный комплекс мероприятий по очистке, рекультивации, профилактике возникновения несанкционированных свалок.

## Основная часть

### 1. Анализ литературы

В настоящее время в России накоплено свыше 80 млрд т отходов, ежегодно их образуется еще до 5 млрд т, при этом количество отходов заметно превышает объемы получаемого (добываемого) первичного сырья и материалов. Всё более возрастающее значение проблемы, связанной с отходами, указывает на необходимость скорейшей разработки качественных и действенных государственных/региональных программ, и принятия управленческих решений для минимизации воздействия на окружающую среду, возникающих на всех этапах сбора, перевозки, хранения, комплексной переработки или уничтожения не утилизируемой части отходов. При этом, для разработки и внедрения таких программ необходимо иметь полную информацию о пространственном расположении, масштабах занимаемых территорий и об объемах накопленных отходов. Однако, в настоящее время, такая информация в полном объеме и с достаточной степенью достоверности отсутствует. Что затрудняет осуществление государственного экологического надзора в области обращения с отходами и принятие эффективного управленческого решения, направленного на улучшение состояния окружающей среды. Любое промышленное производство и любой населенный пункт создает отходы. По типу образования отходы принято классифицировать на: актуальные, образующиеся в процессе производственного цикла предприятий, данный вид отходов более характерен для промышленности. И отходы потенциальные, это когда изделия и товары народного потребления из-за брака или окончания периода эксплуатации и срока годности переходят в отходы, этот вид отходов преимущественно характерен для населенных пунктов. Проблемы, порождаемые существованием отходов, можно разделить на два направления: 1) организация вторичной переработки отходов с целью получения сырья и энергии; 2) уменьшение негативного влияния отходов на людей и окружающую среду. Если использование отходов в качестве

источника энергии и вторичного сырья регулируется преимущественно рыночными отношениями, то снижение негативного воздействия отходов на экосистему и человека можно регулировать с помощью нормативно-правовой базы и службы государственного экологического контроля. Под объектом размещения отходов понимается специально оборудованное сооружение, предназначенное для размещения отходов. К таким сооружениям относятся: полигоны, шламохранилища, хвостохранилища, отвалы горных пород и другие сооружения.

Рассмотрим места размещения наиболее распространенных видов отходов, которыми являются – твердые бытовые отходы (ТБО). К ТБО относятся отходы устройств местного отопления, мусор, собираемый с дворовых территорий, отходы ухода за зелеными насаждениями и жизнедеятельности населения (приготовление пищи, уборка и текущий ремонт квартир и др.), включая крупногабаритные предметы домашнего обихода, упаковка и некоторые другие. Наиболее распространенными в настоящее время местами по размещению и обезвреживанию удаляемых из населенных пунктов ТБО являются полигоны и свалки. Полигоны – это природоохранные сооружения, предназначенные для складирования, изоляции и обезвреживания ТБО, обеспечивающие защиту от загрязнения атмосферы, почвы, поверхностных и грунтовых вод, препятствующие распространению грызунов, насекомых и болезнетворных микроорганизмов. На полигонах обеспечивается статическая устойчивость ТБО с учетом динамики уплотнения, минерализации, газовыделения, максимальной нагрузки на единицу площади, возможности последующего рационального использования участка после закрытия полигонов.

Анализ изученной литературы показывает, что для мониторинга используются космические снимки сверхвысокого пространственного разрешения (0,5 – 1 м), детальность и геометрическая точность которых позволяет уверенно дешифровать свалки, проводить измерения (линейные размеры, площадь), определять координаты и типы свалок. Для установления

фактов сокращения или увеличения площади ранее выявленных свалок, а также для контроля выполнения мероприятий по их рекультивации очень эффективно применение разновременных композитов.

Для свалок характерна неправильная форма, вытянутость вдоль линейных объектов — авто- и железных дорог, склонов речных долин, берегов озер и болот. Содержащиеся в свалках материалы с высокими коэффициентами отражения дают резкое повышение яркости на космических снимках — белые, светло-желтые, светло-голубые оттенки. Исключение составляют менее отражающие сельскохозяйственные, лесохозяйственные и некоторые типы промышленных свалок. Важнейший признак, отображающийся на снимках сверхвысокого разрешения, — мелкозернистая текстура (рисунок), образующаяся за счет неровностей поверхности свалок, слагаемых различными предметами. Несколько более крупная текстура характерна для промышленных и сельскохозяйственных свалок.

Для упрощения и ускорения работы по поиску свалок, а также для повышения точности их выявления по снимку на этапе дешифрирования, используются знания о возможном расположении свалок по отношению к антропогенным и природным объектам. С использованием космических снимков сверхвысокого пространственного разрешения можно визуально определять и картографировать свалки размером от 10 кв. м с очень большой степенью вероятности (до 90–95%).

Для установления фактов сокращения или увеличения площади ранее выявленных свалок, а также для контроля выполнения мероприятий по их рекультивации, очень эффективно применение разновременных композитов — изображений, сформированных из двух разновременных космических снимков на одну и ту же территорию. На таких результирующих изображениях очень контрастно выделяются именно изменившиеся в площадном отношении объекты, в том числе и свалки, что гарантирует тотальный, безошибочный и малозатратный мониторинг.

Следует отметить, что кроме измерения площадных характеристик свалок по одиночным космическим снимкам, современные системы ДЗЗ позволяют измерять высоту тела свалки (точность до 1 м), а также рассчитывать объем складированного мусора за счет выполнения съемки в стереоскопическом режиме (по паре космических снимков).

Кроме установления самого факта складирования отходов и измерения количественных характеристик свалки, по космическим снимкам можно определить и ряд ее качественных параметров, практически выходя на составление экологического паспорта свалки, одной из составляющих которого становится определенный ранее морфологический состав (тип мусора), а другой — определение по снимку воздействия свалки на компоненты вмещающего ландшафта. Это может быть повреждение травяного покрова, кустарников, деревьев по периферии свалки; наличие стоков с территории свалки; захламленность береговой линии, водной акватории объектов, прилегающих к свалке; горение, тление свалки; испарения от свалки (фиксируются только очень мощные потоки).

Безусловно, есть и ряд качественных и количественных параметров свалок, которые на сегодняшний день с применением космических снимков зафиксировать нельзя. В частности, к таким параметрам можно отнести химический состав смеси газов, испаряющихся с поверхности свалки, состав растворов, уходящих в стоки. В этом отношении перспективным представляется применение для этих целей беспилотных летательных аппаратов с полезной нагрузкой в виде легких спектрометров.

Свалки ТБО являются активными загрязнителями окружающей среды. Неправильная их эксплуатация приводит к загрязнению атмосферного воздуха, подземных и поверхностных вод, почвы.

В результате гниения бытовых отходов за счет бактерий образуется свалочный газ (биогаз), который состоит из метана (50-75%), углекислого газа (25-50%), азота (0-10%), водорода (0-1%), сероводорода (0-3%), кислорода (0-2%).

Большинство газов из свалок негативно влияют на окружающую среду. Так, метан и углекислый газ являются «парниковыми газами», вызывающие глобальное потепление на планете. Следует отметить, что метан в 23-25 раз сильнее влияет на глобальное изменение климата чем углекислый газ. Сероводород может вызвать кислотные дожди, которые приводят к повышению кислотности рек и озер, гибели флоры и фауны, ухудшению качества сельскохозяйственной продукции, питьевой воды, атмосферного воздуха, а также приводят к разрушению зданий и сооружений.

В результате проникновения атмосферных вод в тело полигона образуется фильтрат, который может попадать в почву, подземные и поверхностные воды, загрязняя их. Фильтрат образуется при прохождении через толщу отходов, обогащаясь токсичными веществами, входящими в их состав, а также продуктами их разложения.

## 2. Методика работы

В качестве исходных данных мы использовали космические снимки программы Landsat.

Программа Landsat — наиболее продолжительный проект по получению спутниковых фотоснимков планеты Земля. Данные, получаемые при помощи Landsat, используются при решении большого числа тематических задач, включая, например, измерение протяженности и классификация растительного покрова, определение состояния сельскохозяйственных культур, геологическое картирование, контроль эрозии почв в береговой зоне и т.д.

Наиболее актуальные спутниковые данные получают со спутника Landsat 8, американского спутника дистанционного зондирования Земли, восьмого в рамках программы Landsat (седьмой выведенный на орбиту). Изначально назывался Landsat Data Continuity Mission (LDCM), создан совместно NASA и USGS. Выведен на орбиту 11 февраля 2013 года

### Основные научные задачи Landsat-8:

Сбор и сохранение многоспектральных изображений среднего разрешения (30 метров на точку) в течение не менее чем 5 лет;

Сохранение геометрии, калибровки, покрытия, спектральных характеристик, качества изображений и доступности данных на уровне, аналогичном предыдущим спутникам программы Landsat;

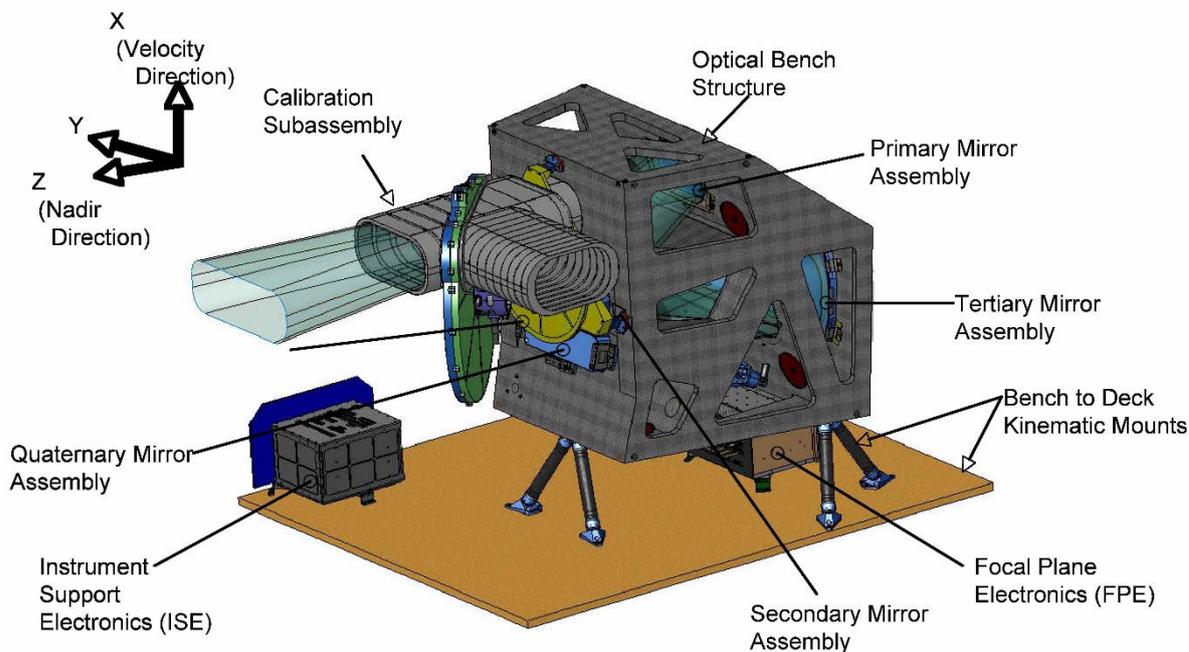
Бесплатное распространение изображений, полученных с помощью Landsat-8

Landsat-8 получает изображения в видимом диапазоне волн, в ближнем ИК и в дальнем ИК, с разрешением снимков от 15 до 100 метров на точку.

Всего используется 14 модулей Focal Plane Modules, в каждом модуле установлено 10 линейных сенсоров различных диапазонов (Рис. 1),

каналов 11, потому что 10 сенсор «Thermal InfraRed» записывает два канала 10 и 11.

## OLI Instrument Overview



1

Рис.1 Модуль записи данных Landsat 8

Используя полученные каналы снимка, можно создавать цветные комбинированные изображения для различных целей. Например, комбинация каналов 5-4-3 обладает большой информативностью и точностью для задач дифференциации растительного покрова и заселённых территорий. Примеры сочетания каналов показаны на Рис. 2

Дистанционное определение температуры поверхности Земли находит применение при геотермическом картировании, которое используется для решения широкого круга фундаментальных и прикладных задач:

- анализа теплового потока Земли,
- исследования распространения вечномёрзлых пород,

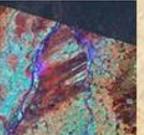
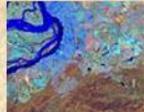
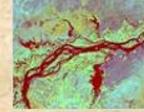
<p>Комбинация «естественные цвета». В этой комбинации используются каналы видимо диапазона, поэтому объекты земной поверхности выглядят похожими на то, как они воспринимаются человеческим глазом.</p>		<p>4-3-2</p>
<p>Здоровая растительность отображается в оттенках красного, коричневого, оранжевого и зеленого. Почвы могут выглядеть зелеными или коричневыми, урбанизированные территории – белесыми, серыми и зелено-голубыми, ярко голубой цвет может детектировать недавно вырубленные территории, а красноватые – восстановление растительности или разреженную растительность.</p>		<p>5-6-2</p>
<p>Эта комбинация ближнего, среднего ИК-каналов и красного видимого канала позволяет четко различить границу между водой и сушей и подчеркнуть скрытые детали плохо видимые при использовании только каналов видимого диапазона.</p>		<p>5-6-4</p>
<p>здоровая растительность выглядит ярко зеленой. Эта комбинация лучше для анализа сельскохозяйственных культур.</p>		<p>6-5-2</p>
<p>Эта комбинация не включает ни одного канала из видимого диапазона, и обеспечивает оптимальный анализ состояния атмосферы. Береговые линии четко различимы. Может быть использован для анализа текстуры и влажности почв. Растительность выглядит голубой.</p>		<p>7-6-5</p>

Рис. 2 Примеры сочетаний комбинаций слоев Landsat 8

- обнаружения природных пожаров, экологического мониторинга полигонов ТБО,
- обнаружения теплового загрязнения водоёмов сбросами промышленных вод.

Мы решили использовать возможность дистанционного определения температуры по космическим снимкам для экологического мониторинга полигонов ТБО.

На наш взгляд, из-за химических реакций с выделением тепла полигоны ТБО должны выделяться повышенной температурой поверхности.

Для определения температуры мы использовали следующую методику. Исходными данными для определения температуры служат значения интенсивности излучения  $R$ , пришедшего на сенсор спутника и зарегистрированного соответствующим тепловым каналом.

Интенсивность излучения объекта, достигающего орбиты  $R$ , вычисляется по формуле:

$$R = M_R Q + A_R.$$

Калибровочные коэффициенты  $M_R$  и  $A_R$  можно найти в файле метаданных с именем «\*\_mtl.txt», который поставляется вместе со сценой в одном архивном файле. Из списка параметров, приведённых на рис. 2, должны быть выбраны RADIANCE\_MULT ( $M_R$ ) и RADIANCE\_ADD ( $A_R$ ), соответствующие нужному каналу.

Температура  $T$  вычисляется по следующей формуле:

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{R} + 1\right)} - 273,15 \text{ (}^\circ\text{C)},$$

Здесь  $K_1$  и  $K_2$  – калибровочные константы, значения констант  $K_1$  и  $K_2$  надо брать отдельно для каждого теплового канала данной сцены из её файла метаданных (Рис.3).

```
GROUP = TIRS_THERMAL_CONSTANTS
K1_CONSTANT_BAND_10 = 774.89
K1_CONSTANT_BAND_11 = 480.89
K2_CONSTANT_BAND_10 = 1321.08
K2_CONSTANT_BAND_11 = 1201.14
END_GROUP = TIRS_THERMAL_CONSTANTS
```



Рис.3 Метаданные сцены Landsat 8: калибровочные константы для вычисления температуры

Космические снимки были взяты нами на портале геологической службы США. Снимки находятся в открытом доступе на трех интернет-порталах: EarthExplorer (<http://earthexplorer.usgs.gov>), GloVis (<http://glovis.usgs.gov>) и LandsatLook Viewer (<http://landsatlook.usgs.gov>).

## Заключение

На данный момент мы закончили обработку двух полигонов: полигона ТБО в Верхнеуслонском районе Республики Татарстан и полигона ТБО в Высокогорском районе Республики Татарстан.

Анализ проводился с использованием снимка подходящего качества, полученного в сентябре 2017 года.

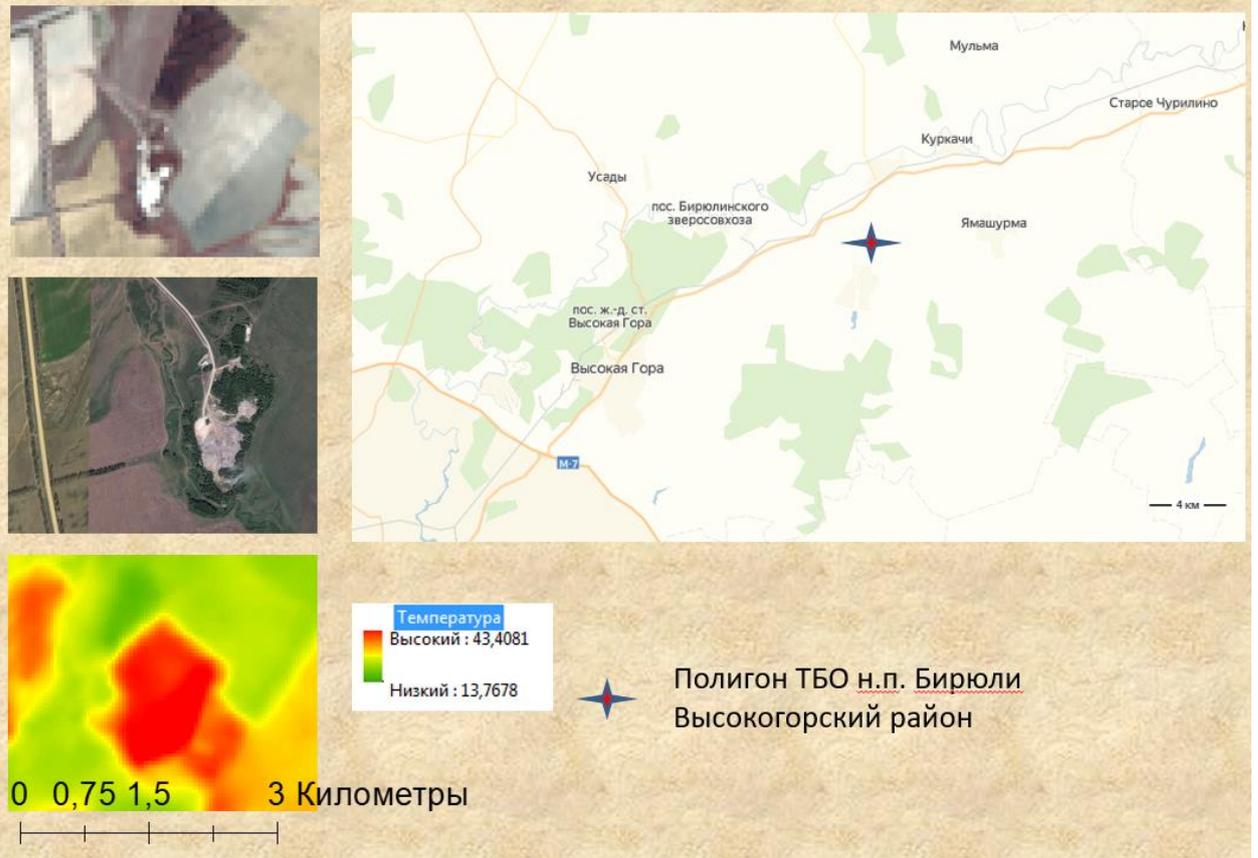
Обработка проведена в программе ArcGis 10.4. Сначала был получен композит в естественных цветах, а затем рассчитали температуру по данным с канала «B10» по формулам, приведенным выше.

В результате мы установили, что полигоны ТБО различаются температурой поверхности от смежных областей на 15-20 градусов, что может являться хорошим критерием для их выделения (Рис. 4,5)

Полигон в Верхнеуслонском районе на данный момент закрыт, что объясняет его более низкую температуру поверхности (Рис.4).

Также мы заметили, что в 800 метрах от полигона ТБО в Высокогорском районе присутствует повышенный температурный фон. В этом месте как раз расположен овраг и, возможно, там также складировются бытовые отходы.

**Рис. 5** Выделение полигона ТБО в Высокогорском районе Республики Татарстан



**Рис. 4** Выделение полигона ТБО в Верхнеуслонском районе Республики Татарстан



## **Выводы:**

1. Наиболее оптимальной методикой для выделения на космических снимках полигонов ТБО является методика расчета значения температуры с обязательной геометрической коррекцией снимков
2. Наилучшим критерием выделения полигонов ТБО является температура их поверхности
3. Нами проведено выделение двух полигонов в Высокогорском и Верхнеуслонском районе Татарстана на основе выделенного нами критерия.

## *Перспективы нашего исследования.*

Создание интерактивной базы данных свалок Республики Татарстан.  
Выявление зон вероятного загрязнения подземных вод и определения направления их движения.

## Литература

1. Аристов. М. А. Мониторинг полигонов ТБО и обнаружение стихийных мусоросвалок по данным космической съемки / М. А. Аристов // ГеоПрофиль. -2009. -№ 2. -С. 34-41.
2. ГОСТ Р 51769-2001 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Документирование и регулирование деятельности по обращению с отходами производства и потребления»: Утв. Постановлением Госстандарта РФ № 251-ст от 28 июня 2001 г. -М. -6 с.
3. ГОСТ Р30772-2001 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения»: Утв. Постановлением Госстандарта РФ № 607-ст от 28 июня 2001 г. -М. -32 с.
4. Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов твердых бытовых отходов: Утв. Мин. строй РФ 5ноября1996 г. -10 с.
5. Липилин Д. А. Мониторинг свалок на территории Краснодарского края по материалам спутниковых снимков (методика и результаты) // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2013. – Т. 3. – С. 621–625.
6. Методы и приборы контроля окружающей среды. Экологический мониторинг. И.В. Якунина, Н.С. Попов. – Тамбов: Издательство ТГТУ, 2009.
7. Полигоны твердых бытовых и промышленных отходов / Куксов С. В, Осипова Л. А., Вестник АГТУ, 2005/№ 3, С. 35–40
8. Федеральный закон № 89-ФЗ от 02.06.1998 «Об отходах производства и потребления»
9. Щербакова Е. Н. и др. //Новые образовательные технологии: сб. науч. ст. АГТУ. – 2005. –Вып. 2 (26). – С. 185–189.
10. Экологический мониторинг окружающей среды: учеб. пособие для вузов: в 2 т. / Ю.А. Комиссаров, Л.С.Гордеев, Ю.Д. Эдельштейн, Д.П. Вент; под ред. П.Д. Саркисова. – М.: Химия, 2005.
11. Экономические основы экологии: Учебник для вузов 3-е изд. / В. В. Глухов, Т. П. Некрасова, Т. В. Лисочкина. – С. Петербург: Питер, 2003. – 384 с.