

Complex Interpretation of Waste Disposal Facilities Using Satellite Imagery

Andrey A. Rihter¹, Alexander B. Murynin^{1,2}

¹Institute for Scientific Research of Aerospace Monitoring AEROCOSMOS, Moscow, Russia
office@aerocosmos.info

²Federal Research Center "Informatics and Control" of the Russian Academy of Sciences, Moscow,
Russia
frccsc@frccsc.ru

Abstract

The paper is focused on the method of complex interpretation of waste disposal facilities using satellite monitoring and ground observations. The method includes the detection of objects by visible interpretation features, the assessment of their parameters and the impact on the environment. The main visible interpretation features of waste disposal facilities and littered areas are given based on satellite images. The possibility of visual assessment of parameters is shown on the example of the geometrical parameters of landfills. The possibility of assessing the impact of littered areas on the environment using visible textural features of surface physico-chemical processes is shown. It is highlighted that an artificial neural network can be built upon the developed method with the aim for complex interpretation of littered areas using satellite imagery.

Keywords: satellite image, landfill, waste disposal facility, visual interpretation, detection, interpretation signs

КОМПЛЕКСНОЕ ДЕШИФРИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ РАЗМЕЩЕНИЯ ОТХОДОВ ПО ДАННЫМ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЁМКИ

А.А. Рухтер¹, А.Б. Мурынин^{1,2}

¹Научно-исследовательский институт аэрокосмического мониторинга "АЭРОКОСМОС",
Москва, Россия
office@aerocosmos.info

²Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской Академии
Наук, Москва, Россия
frccsc@frccsc.ru

Работа посвящена методике комплексного дешифрирования объектов размещения отходов по данным космического и подспутникового мониторинга. Методика включает детектирование объектов по видимым дешифровочным признакам, оценку их параметров и влияния на окружающую среду. Приведены основные видимые дешифровочные признаки объектов размещения отходов и мусорного покрова на космических снимках. Возможность визуальной оценки параметров показана на примере геометрических параметров свалок. Показана возможность оценки влияния областей замусоривания на окружающую среду по видимым текстурным признакам физико-химических процессов, проявляющихся на поверхности. Показано, что на базе разработанной методики может быть разработана искусственная нейронная сеть для комплексного дешифрирования областей замусоривания по данным космической съёмки.

Ключевые слова: спутниковое изображение, объект размещения отходов, визуальное дешифрирование, детектирование, дешифровочные признаки

Введение

В области космического мониторинга свалок, или объектов размещения отходов (ОРО) разработаны различные методики цифровой обработки изображений, в частности: комплексная методика автоматизированного обнаружения и оценки параметров объектов захоронения отходов по данным спутниковой съёмки; методика оценки индексов реакции растительности и почвы; методика автоматизации оценки пространственно-временных индексов подстилающей поверхности цифровой обработкой спутниковых изображений; методика построения 3D-моделей ригидных объектов по одному изображению с помощью координатных сеток. Методики космического мониторинга свалок посредством автоматизации цифровой обработки имеют определённые недостатки: ограниченность задач дешифрирования с помощью цифровой обработки свалок и невозможность проведения полноценного мониторинга данных объектов, имеющих специфические дешифровочные признаки, большая часть задач не решается автоматизацией. Для возможности комплексного подхода к космическому мониторингу свалок необходимо прибегнуть к их визуальному дешифрированию по данным спутниковых съёмок. [1-7]

Общие сведения о визуальном дешифрировании ОРО по спутниковым изображениям

Общая схема визуального дешифрирования ОРО по данным спутниковой съёмки включает: I) детектирование ОРО: определение местоположения, области покрытия, формы и её изменения, компонентов поверхности, структур и подсистем, классификацию); II) оценку параметров ОРО: геометрических на плоскости и в пространстве, географических, температурных, параметров растительности и почвы, компонентных, технологических; III) обследование ОРО и окружающей природной среды (ОПС): оценку состояния объектов ОПС, построение моделей объектов, проверку требований по проектированию, эксплуатации и рекультивации, логический анализ изображений. Основные требования к изображениям: высокое пространственное разрешение снимков, видимый диапазон спектра (полноцветные и полутоновые изображения); отсутствие экранирующих поверхностей (облачность, растительность, снег и др.). В схему визуального дешифрирования включаются: входные данные (изображения, область наблюдения); задачи (от частных до более общих); методы и алгоритмы; интерактивная среда (Google Earth, Яндекс- и Google-карты и др.). Примеры задач: обнаружение несанкционированных объектов на заданной области наблюдения, приуроченной к: административно-территориальному (АТ) делению или кадастровым объектам (населённый пункт, район, окрестность крупного объекта, природоохранная, прибрежная, производственная зона и т.д.); картографирование и разработка геоинформационных баз данных санкционированных и несанкционированных объектов; построение трёхмерных моделей ригидных объектов в составе хозяйственных зон полигонов твёрдых коммунальных отходов, ТКО); оценка соблюдения требований проектирования, эксплуатации и рекультивации для полигонов ТКО.

Основные классы ОРО с точки зрения визуального дешифрирования: полигоны ТКО, муниципальные городские свалки, несанкционированные свалки, рекультивируемые карьеры, рекультивируемые полигоны, захламливания территории, типовые свалки, производственные свалки, терриконы, золоотвалы, шламохранилища и др. На спутниковых снимках различаются классы ОРО в соответствии с общепринятой классификацией по тем или иным характерным для них дешифровочным признакам: полигоны ТКО (первого и второго класса; открытые, закрытые и рекультивируемые; простые, сложные и энергетические); несанкционированные свалки (подклассы – дорожные, эпизодические, стихийные, магазинные и др.); захламливания территорий (аморфные, без чётко выраженных границ скопления твердых коммунальных, промышленных, строительных отходов различных размеров); промышленные (образованное в результате деятельности различных государственных и частных предприятий, расположенные на территориях этих же предприятий или в границах их санитарно-защитных зон) [8-10].

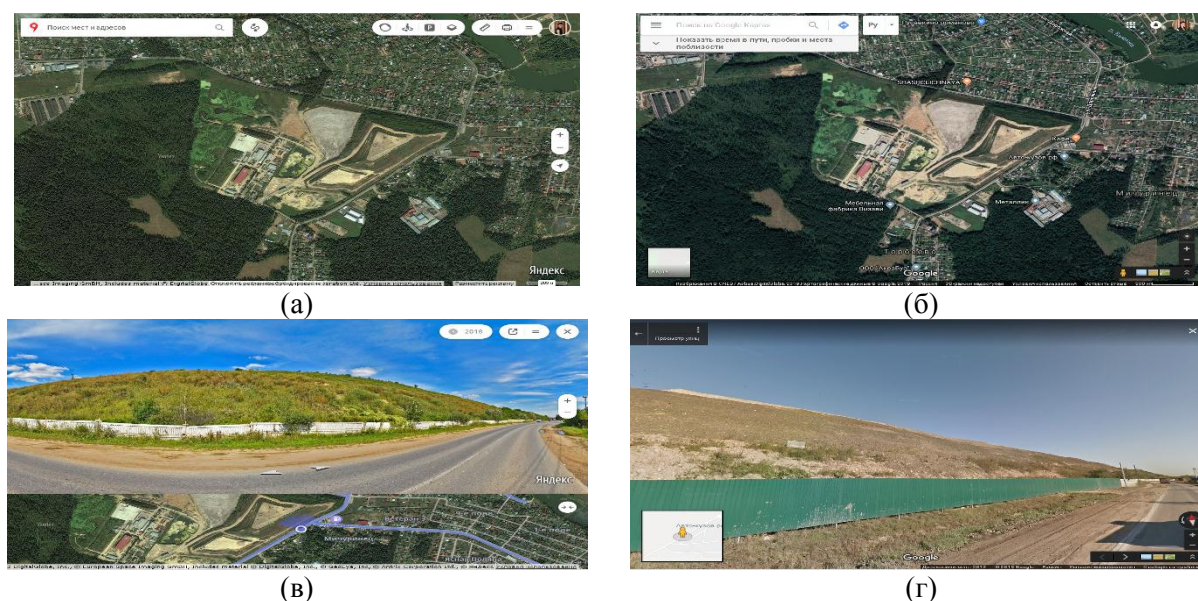


Рис. 1. Съёмка ОРО в интерактивных картах: а, в) Яндекс-; б, г) Google-; а, б) спутниковые, в, г) панорамные изображения (полигон ТКО Торбеево, Московский регион)

К основным дешифровочным признакам ОРО на спутниковых изображениях относятся: 1) случайный характер: контура объекта, распределения частей объекта на поверхности, пространственного распределения спектральной яркости текстуры объекта; 2) самоподобие контура, текстуры и формы объекта (наличие основного тела и частей объекта в окрестности); 3) пространственная привязка к характерным природным и антропогенным объектам (берега, дороги, магазины, гаражи и т.д.); 4) наличие основных и неосновных оттенков, примесей в составе текстуры, зернистость текстуры; 5) многокомпонентность, наличие основного компонента с характерной текстурой, идентифицирующей объект (мусорный покров открытого типа), проявление объекта на поверхности (для крупных активных объектов); 6) экранирование мусорного покрова другими объектами (облачность, вода, растительность, грунт, снег и др.), проявляемость объекта в зимнее время года; 7) суточная, сезонная и хронологическая изменчивость текстуры, многообразие текстуры (в зависимости от типа отходов и свалки). [1-2]

При визуальном дешифрировании можно использовать не только спутниковую, но и панорамную съёмку обследуемых участков [2] (рис. 1).

Детектирование ОРО по визуальным признакам

В процессе визуального детектирования спутниковых снимков (например, в программе Google Earth) свалки можно обнаружить почти во всех обитаемых населённых пунктах, особенно «притягиваемых» к более крупным агломерациям (рис. 2).

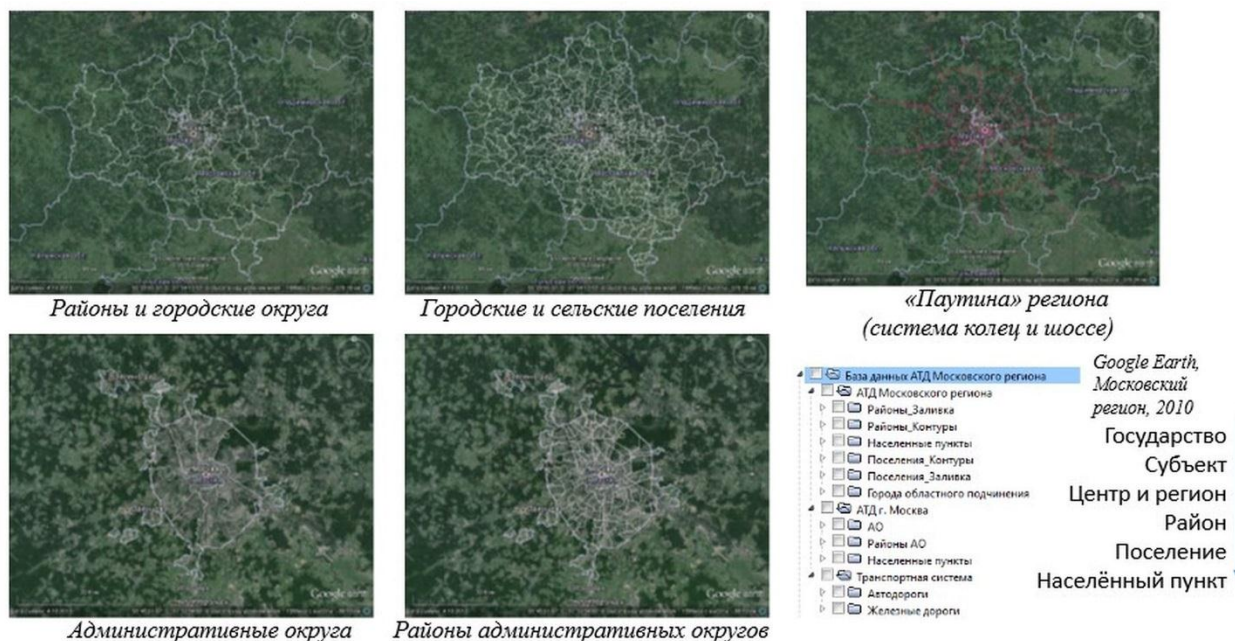


Рис. 2. АД-разложение территории (Московский регион, Google Earth)

При визуальном детектировании ОРО выделяются:

1) область наблюдения: пространственная и / или временная окрестность объекта поверхности (водоёма, промзоны, пляжа, лесомассива и др.); задаваемые области на поверхности Земли в пространстве и / или во времени; АД-объект (регион, район, поселение, город и поселение, посёлок и деревня и др.);

2) потенциально-опасные объекты (ПОО): пространственная привязка – экологически неблагоприятные населённые пункты, территории добывающих и перерабатывающих производств, опушки леса к границам деревни, окрестности дорог на выездах из деревни и т.д.; временная привязка – суточное время (светлое время суток), сезонное время (тёплое время года, высота Солнца), хронологическое время (стадия формирования свалки), погодные условия (отсутствие облачности, снежного покрова и др.);

3) дешифровочные признаки: прямые (собственные признаки объекта), в частности, объекты-индикаторы – текстуры мусорного покрова открытого типа; косвенные (признаки наличия объекта по виду окрестности), в частности, объекты-источники – объекты в окрестности свалки, с высокой вероятностью причастные к её формированию. К последним относятся населённые пункты (их жители), коммунальные хозяйства, предприятия (промышленного и сельского хозяйства), организации и учреждения и т.д.;

4) правила детектирования свалок визуальным обследованием спутниковых изображений: принцип поиска грибов в лесу: скрытый характер (под «листвой», в «оврагах» и т.д.), привязка к характерным объектам (типы «местности» и условия «среды»), наличие «грибов» в окрестности некоторого радиуса от найденного «гриба»; обнаружение свалки по объекту-индикатору и далее – обнаружение остальных компонент и детальное исследование свалки по визуальным признакам; привязка области наблюдения к населённым пунктам и дорожному (авто-, железно-) сообщению между ними.

С точки зрения распределённости по территории свалки характеризуются: концентрацией, количествами появившихся и исчезнувших ОРО от размеров во времени (спектрами распределения), АТ-принадлежности и привязкой к ПОО и др. (рис. 3).

По структуре на спутниковых изображениях выделяются: область ОРО и ОПС; зоны и подсистемы (природные и антропогенные); состав (объектный и компонентный); объекты и события над ними (биологические, физико-химические, технологические, социальные). К зонам ОРО можно отнести: хозяйственная, участок складирования, зона выработки грунта, зона для расширения объекта, старая и новая зоны складирования, прилегающие населённые пункты, санитарно-защитная зона, карты складирования и др. К подсистемам ОРО можно отнести: транспортную, хозяйственную, захламлиений на территории ОРО и ОПС, растительную, водную, производственную, жилую и др. [1]

Поверхность свалки раскладывается на компоненты (классы поверхности), для части из которых характерна текстура открытого мусорного покрова, по которым идентифицируется сам ОРО.

Оценка геометрических параметров ОРО по визуальным признакам

Покажем возможность оценки параметров ОРО по визуальным признакам по данным спутниковой съёмки на примере геометрических параметров.

В общем при визуальном дешифрировании возможна оценка большинства геометрических параметров, что и при автоматизированных методах дешифрирования (табл. 1): 1) размерные (площадь, периметр, площадь основания, высота, угол откоса, объём и др.); 2) динамические (перемещение, скорость перемещения границы, момент образования, момент исчезновения, время существования и др.); 3) распределения (геометрический центр, концентрация замусоривания, концентрация и вытянутость по направлению, аппроксимирующая фигура и тело и др.); 4) прогнозирования (прогноз изменения размеров, формы, перемещения границы, модели прогнозирования и регрессии и др.). Параметры можно оценить в интерактивных картах Яндекс или Google, в программе Google Earth и др.

Табл. 1. Оценка геометрических параметров крупного (полигон ТКО Торбеево) и малого (в его окрестности) ОРО по визуальным признакам

Крупный ОРО					Малый ОРО		
N	T	S (га)	P (м)	H (м)	n	t	s (га)
1	11.06.03	16	1590	10	1	11.06.03	0
2	14.04.09	23	2110	35	2	14.04.09	870
3	16.08.11	23	2110	57	3	27.03.10	420
4	05.11.11	24	2250	57	4	25.04.11	650

5	27.03.14	24	2250	63	5	16.08.11	520
6	08.02.16	24	2250	63	6	27.03.14	1000
7	26.05.16	24	2250	63	7	11.04.15	480
8	31.05.16	24	2250	63	8	26.05.16	1280
9	26.09.16	24	2250	63	9	31.05.16	1500
10	06.04.17	32	2530	63	10	26.09.16	1600
11	03.05.17	32	2530	63	11	06.04.17	1020
12	26.07.17	32	2530	63	12	03.05.17	1480
13	01.08.18	32	2530	63	13	26.07.17	1080
14	19.08.18	32	2530	63	14	01.08.18	730
					15	11.01.19	890

В программе Google Earth (Pro-версия) с помощью инструмента Линейка возможна оценка множества геометрических параметров, в частности: длина прямой и дуговой линии, длина пути; периметр и площадь многоугольника; периметр и площадь окружности; длина 3D-линии и -пути; площадь поверхности и объём многогранника и др.

В табл. 1 дана оценка изменения площадей S , периметров P и высот H в разные моменты времени T (дата съёмки) методом визуального дешифрирования на примере крупного ОРО (полигона ТКО Торбеево) в интерактивных картах по спутниковым и панорамным изображениям. На рис. 3 – исторические снимки ОРО в Google Earth (N – номер снимка в момент T) (а) и пример измерений S , P и $H \sim L \cdot \operatorname{tg} \alpha$ (б-г). Ясно, что все параметры, в том числе T , имеют абсолютные и относительные ошибки, обусловленные прежде всего использованием визуального метода, ошибками съёмочной аппаратуры, геопривязки, пространственным разрешением и моделями расчёта. Как видно из табл. 1 и рис. 3: площадь и периметр свалки растут во времени; рост площади покрытия замусоривания со временем уменьшается (свалка стабилизируется по занимаемой ею площади); изменения площади и периметра происходит скачками; скачки обусловлены появлением последовательно участков складирования (блоки А, В, С, в настоящее время ОРО расширяется до D и E). Для каждого блока сначала отводится некоторая площадь (возникает скачок площади), затем блок растёт в высоту (активная фаза роста и стабилизация) и корректируется по площади (немного увеличивается и также стабилизируется).

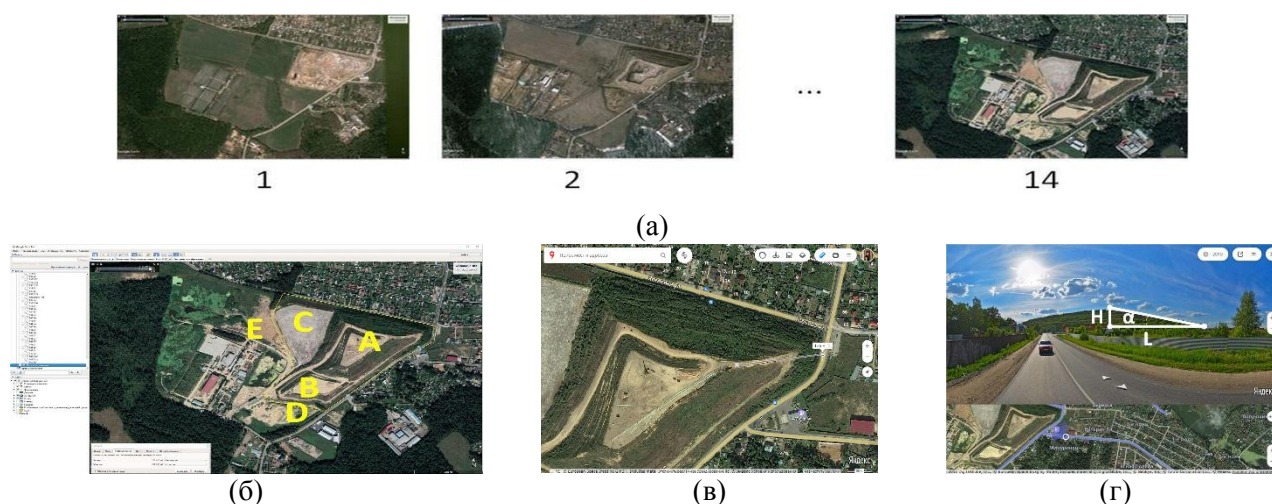


Рис. 3. Оценка геометрических параметров ОРО методом визуального дешифрирования: а) временной ряд изображений ОРО, б) оценка площади и периметра инструментами Google Earth; в-г) оценка высоты: в) оценка длины линии L , г) измерение угла откоса α (Яндекс-карты)

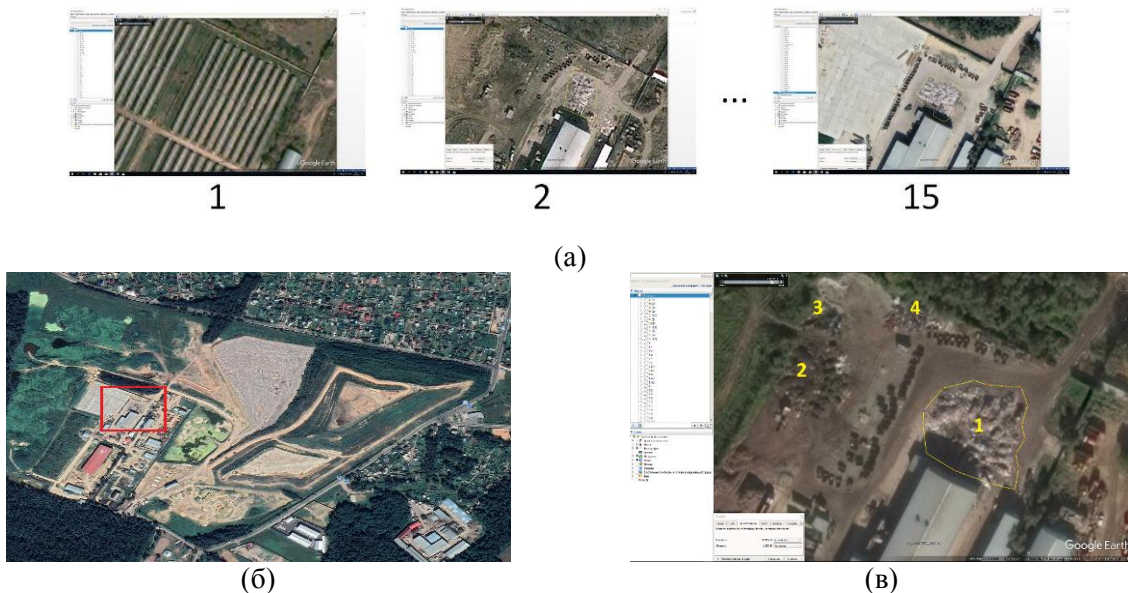


Рис. 4. Малый ОРО в окрестности крупного ОРО: а) временной ряд изображений ОРО; б) расположение участка в окрестности полигона (N=14) и разметка ОРО (объекты 1-4) на данном участке (N=9, n=10) инструментами Google Earth

Параметры малых ОРО находятся аналогично. Наиболее значимым параметром для них является их площадь. Как видно из рис. 4 и результатов измерений (табл. 1), площадь с ОРО 1 – «флуктуирующая» величина и её среднее значение s_0 оценивается как среднее арифметическое площадей s_i в разные моменты времени t (с номерами n):
$$s_0 = \frac{1}{n_2 - n_1 + 1} \sum_{i=n_1}^{n_2} s_i,$$

где n_1 – номер даты появления свалки, n_2 – исчезновения свалки. В нашем случае: $n_1=2, n_2=15$ (n_2 – последний момент времени наблюдения, ОРО не исчез). Из таблицы: $s_0 \sim 970 \text{ м}^2$.

Как показывает анализ временных серий изображений, с уменьшением области наблюдения изменение изображающей поверхности имеет более стохастичный и динамичный характер, меньше наблюдаемых визуально временных закономерностей – сравните «динамику» изображений крупного (рис. 3) и малого ОРО (рис. 4).

Оценка состояния окружающей среды ОРО по визуальным признакам

При дистанционном мониторинге состояния среды в окрестности ОРО методом визуального дешифрирования можно использовать спутниковые и панорамные изображения, их логический анализ, фотофиксацию, подключать к процессу интернет-ресурсы. По видимым признакам в некоторой мере оценивается состояние почвенно-растительного покрова, правила эксплуатации ОРО, признаки физико-химических процессов, проявляемых на поверхности, прошлое и будущее в окрестности изображения и приведение его в «движение» посредством логического анализа [1].



(а)



(б)

Рис. 5. Визуальные признаки фильтрационных процессов на свалках: а) фотографии; б) спутниковые изображения фильтрата [Google Earth]

На спутниковых изображениях наблюдаются видимые признаки не только нарушений эксплуатации ОРО, но и предполагаемых форм ухудшения состояния почвы и растительности в прилегающей окрестности участка складирования (заболачивание, сокращение плодородного слоя, замусоривание, технологическая деградация). Верификация признаков может быть выполнена посредством фотофиксации (рис. 5а). На рис. 5б показаны признаки фильтрата на поверхности на исторических спутниковых изображениях (данные ~2010 г.) в прилегающей окрестности полигонов ТКО Кучино, рекультивируемого с 2017 г. (Балашихинский район), и Тимохово (Ногинский район).

Выводы

По результатам разработки методики комплексного визуального дешифрирования свалок разрабатывается обучаемая искусственная нейронная сеть (ИНС) комплексного дешифрирования свалок по данным спутниковой съёмки. Для практической работы по комплексному дешифрированию ОРО с помощью ИНС прежде всего необходимо: 1) выработать технологию получения обучающей выборки (тип и модель нейронной сети, структуру входных и выходных данных, алгоритм построения маски эталонных объектов и др.); 2) определить источник геоинформационных данных для выгрузки тайлов через кэш или интернет (например, Яндекс-карты); 3) выработать схему по автоматизации детектирования ОРО при дообучении и непосредственной работе ИНС по потокам изображений. [4-7]

Работа поддержана Минобрнауки России, проект RFMEF158317X0061. Работа поддержана грантом РФФИ №16-51-55019.

References

- [1] Kazaryan M.L., Richter, A.A., Shakhramanyan M.A., Nedkov R. Space monitoring of solid domestic waste and industrial waste disposal facilities: theoretical, methodological and socioeconomic aspects: [monograph], *Scientific and Research publishing center INFRA-M* ", 2018. ISBN 978-5-16-014435-1 Article 690551.01.01 ID 982 304.
- [2] Murynin AB, Richter A.A. Features of the application of methods and algorithms for the reconstruction of the three-dimensional form of rigid objects according to the panoramic survey, *Machine learning and data analysis*, 2018, 4 (4), pp. 235-247.

- [3] Bondur V.G., Ivanov V.A., Fomin V.V. Features of the spread of water pollution from an underwater source in the stratified environment of the coastal water area, *Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Physics of the atmosphere and the ocean*, 2018, 54 (4), pp. 453-461.
- [4] Garifzyanov RD, Batrakova G.M. Identification and assessment of the ecological status of waste disposal areas by the method of decoding satellite images, *Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Applied ecology. Urbanism*, 2014, 3 (15), pp. 86-95.
- [5] Garifzyanov RD, Batrakova G.M. Possibilities of remote sensing of the Earth in order to update the regional inventory of production and consumption wastes (using the example of the Perm Territory), *Modernization and research in the transport complex*, 2015, No. 1, pp. 219-222.
- [6] Slyusar N.N., Batrakova G.M., Garifzyanov R.D. The use of unmanned aerial vehicles for the inspection of solid municipal waste disposal sites, *In the collection: Geoinformation support for the spatial development of the Perm Territory Collection of scientific papers*, Perm, 2017, pp. 50-53.
- [7] Dudareva D.A., Garifzyanov R.D. Technical and software of aerial photography from unmanned aerial vehicles for research of waste disposal facilities, *Chemistry. Ecology, Urbanism*, 2018, Vol. 1, pp. 378-382.
- [8] SeungHyun Son, Menghua Wang, Jae-Kyoung Shon. Satellite observations of optical and biological properties in the Korean dump site of the Yellow Sea, *Remote Sensing of Environment*, 2011, 115 (2), pp 562-572.
- [9] Weisheng Lu. Big data analytics to identify illegal construction waste dumping: A Hong Kong study, *Resources, Conservation and Recycling*, 2019, Vol. 141, pp 264-272.
- [10] Liang-tong Zhan, Zhen Zhang, Yun-min Chen, Rui Chen, Ai-guo Li. The 2015 Shenzhen catastrophic landslide in a construction waste dump: Reconstitution of dump structure and failure mechanisms via geotechnical investigations, *Engineering Geology*, 2018, Vol. 238, pp 15-26.