

УДК 378.147.88

МЕТОД АВТОМАТИЗАЦИИ ОЦЕНКИ ИНДЕКСОВ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ И ИХ ИЗМЕНЕНИЯ ВО ВРЕМЕНИ ПО КОСМИЧЕСКИМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ПРИ ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В ОКРЕСТНОСТИ ПОЛИГОНОВ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Казарян Маретта Леоновна¹,
marettak@bk.ru

Рихтер Андрей Александрович²,
urfin17@yandex.ru

Шахраманьян Михаил Андраникович^{1,2},
7283963@mail.ru.

¹ Владикавказский филиал Финансового университета при Правительстве Российской Федерации, Россия, 362001, г. Владикавказ, ул. Молодежная, 7.

² НИИ АЭРОКОСМОС, Россия, 105064, г. Москва, Гороховский пер., 4.

Актуальность работы обусловлена упрощением процедур получения и обработки космических изображений посредством автоматизации обработки и расчета тех или иных индексов подстилающей поверхности и их временных изменений. Предлагаемый метод позволяет с высокой скоростью и в широких масштабах обнаруживать признаки деградации почвы, в частности, объекты захоронения отходов размера, кратного пространственному разрешению снимков, расчетом соответствующих индексов подстилающей поверхности. Основным недостатком действующих методов детектирования объектов захоронения отходов состоит в том, что их поиск и обнаружение, оценка состояния окружающей среды осуществляются наземными «ручными» методами. Все это и, прежде всего, само выявление объектов дает низкую производительность работы в области мониторинга свалок. В результате внедрения метода автоматизации детектирования объектов захоронения отходов может быть существенно улучшена защита территории от воздействия негативных факторов. Данные факторы, в частности фактор замусоривания окружающей среды, с точки зрения космических изображений могут быть выражены в виде различных индексов подстилающей поверхности.

Цель: описание метода автоматического получения индексов подстилающей поверхности и их временных рядов с использованием космических изображений, привязанных к географической проекции UTM, и базы их метаданных.

Методы исследования: методы получения масок облачности (метод пороговой фильтрации) и регрессионного анализа (метод среднеквадратического отклонения) для проведения темпоральной обработки.

Результаты. Приведен алгоритм автоматической обработки, и описаны основные шаги его работы. Обозначена модель пересчета параметров изменения индексов подстилающей поверхности при добавлении новых значений коэффициентов спектральной яркости или удалении прежних. Работа алгоритма показана на примере расчета временных рядов NDVI заданной области наблюдения и применения метода для анализа данных обработки, в частности, автоматически просчитаны изображения NDVI окрестности полигона ТБО Торбеево Люберецкого района за период 2003–2011 гг. Проиллюстрированы структурные изменения биопродуктивности почвы в окрестности 4 муниципальных свалок городского округа Железнодорожный Московского региона: Кучино, Саввино, Лисьи Горы и Некрасовка.

Ключевые слова:

Полигон ТБО, космическое изображение, индекс подстилающей поверхности, автоматизация, дистанционное зондирование, вегетационный индекс, мультимедиапрограмма.

Введение

Проблема замусоривания многогранна и включает такие аспекты, как [1]: 1) среднестатистический рост площади замусоривания во времени (рост числа новых свалок и размера прежних); 2) технологическая сложность и дороговизна технологий рециклинга, отсутствие технологий для многих видов отходов [2]; 3) актуализация метода складирования на полигонах как основной формы утилизации отходов [3], который также в своей идее является сложным и дорогостоящим процессом; 4) низкий уровень «мусорной» морали и нравственности во многих странах мира, особенно в развивающихся [4]; 5) приведение замусоривания к разным формам деградации почвы, загрязнению воды и воздуха, уг-

нетению и гибели различных видов животных и растительных систем; 6) высокий уровень вероятности заболеваемости, в том числе хронической, жителей в окрестностях полигонов ТБО.

Постановка задачи

Индексы подстилающей поверхности (ИПП) описывают те или иные характеристики поверхности земли для каждой точки космических изображений. Помимо коэффициентов спектральной яркости (КСЯ), для расчета ИПП могут быть использованы различные сторонние данные, такие как параметры погоды, почвы и др. Деградация почвы – одна из форм разрушения экосистем, и для ее оценки существует и разработано множество мето-

дов дистанционного зондирования [5–8]. Также как и другие характеристики поверхности, деградация почвы может быть описана ИПП [9, 10].



Рис. 1. Блок-схема алгоритма

Fig. 1. Block-scheme of algorithm

Во многих случаях требуется найти не только сами ИПП, но и их изменение во времени. В работах [11, 12] был описан метод оценки индексов реакции растительности (ИРР), а также степеней деградации почвы (СДП) как изменение ИРР во времени, показывающих реакцию растительности на те или иные внешние факторы, в частности жизненно важные факторы для растений – тепло, вода и свет.

Предлагается метод автоматизации расчета ИПП (ИРР) и их изменения во времени (СДП) на базе получения и обработки геопривязанных участков космических снимков того или иного типа, в частности Landsat 4, 5, 7, 8. В результате могут быть получены карты значений ИПП и их изменений во времени в режиме реального времени, т. е. при добавлении новых или удалении прежних участков.

Описание алгоритма

Блок-схема алгоритма показана на рис. 1. На входе – космические снимки, геопривязанные к проекции UTM, с наличием файлов с метаданными, такие как снимки низкого пространственного разрешения Landsat 1–8. Выходные данные – изображения ИПП и их изменение, в частности ИРР и СДП.

Процедура работы алгоритма происходит следующим образом. Задается прямоугольная область наблюдения в виде (x_1, y_1) и (x_2, y_2) – координаты нижней левой и верхней правой вершин прямоугольника в UTM. Из файла с метаданными каждого входного снимка выделяются необходимые: размер снимка, координаты вершин снимка и вырезаемого из него участка в UTM, момент времени съемки, тип снимка. В соответствии с матричными

и географическими координатами вырезаемого из снимка участка формируется массив из nb , $n < N$ изображений, где N – полное число снимков, n – число снимков, в которых есть пересечение с областью наблюдения, b – число каналов. Также формируется n масок облачности – бинарных изображений размеров участка (пиксель равен 1, если облачность есть, 0 – нет). Маски [13–14] могут быть получены на базе различных критериев, например $NDVI < 0,1$ и $q_1 > 150$ (выделение ярко выраженной облачности), где $NDVI$ – нормализованный вегетационный индекс [15–16], q_1 – КСЯ на 1-м канале пикселя.

Формирование массива изображений и масок облачности позволяет найти значение ИПП r в различных точках пространства и времени области наблюдения. При этом каждой точке пространства соответствуют свои временные ряды значений КСЯ на всех спектральных частотах (каналах снимков), включающие те временные точки, в которых для данной точки пространства маска облачности равна 0:

$$Q = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & \dots & q_{1k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_{b1} & q_{b2} & \dots & q_{bk} \end{bmatrix}, \quad T = [t_1 \quad t_2 \quad \dots \quad t_k],$$

где Q – временной ряд КСЯ, T – соответствующие отчеты времени съемки, k – число отчетов для данной точки пространства области наблюдения, q_{ij} – КСЯ изображения на i -м канале в t_j -й момент времени съемки.

Индекс p , характеризующий изменение ИПП (ИРР), может быть выражен по-разному, например как коэффициент линейного тренда временного ряда ИПП (СДП) $R = [r_1 \ r_2 \ \dots \ r_k]$:

$$p = \frac{a \cdot b - c \cdot d}{a \cdot e - c^2},$$

$$a = k, b = \sum_{j=1}^k t_j r_j, c = \sum_{j=1}^k t_j, d = \sum_{j=1}^k r_j, e = \sum_{j=1}^k t_j^2. \quad (1)$$

При добавлении новой точки rr'

$$p' = \frac{a' \cdot b' - c' \cdot d'}{a' \cdot e' - c'^2}, \quad (2)$$

$$a' = a + m', b' = b + m' \cdot t' \cdot r', c' = c + m' \cdot t',$$

$$d' = d + m' \cdot r', e' = e + m' \cdot t'^2, \quad (3)$$

где m' – маска облачности в данной точке (0 – есть, 1 – нет), t' – момент времени съемки для нового участка. То есть при добавлении к временному ряду ИПП нового изображения ИПП нет необходимости пересчитывать весь временной ряд (см. (1)), достаточно создать 5 матриц значений a, b, c, d и e и просто менять их при каждом новом вводимом изображении ИПП (см. (2) и (3)). По аналогии с добавлением новых изображений ИПП пересчитывается изображение значений p при удалении изображений ИПП. Для этого в (3) вместо сложения – вычитание добавляемых слагаемых.



Рис. 2. Фрагмент массива изображений NDVI (полигон ТБО Торбеево, Люберецкий район Московского региона)

Fig. 2. Fragment of massive of NDVI images array (Torbeevo landfill, Lyubertsy district, Moscow region)

Результаты работы алгоритма

Покажем результаты работы алгоритма на примере оценки NDVI и его изменения во времени.

На рис. 2 приведен фрагмент массива изображений NDVI в окрестности полигона ТБО Торбеево (названия файлов – 'Год/пробел/ДеньГода.tif'). Покадровый просмотр фильма в мультимедиапрограмме [17–18] данных загружаемых в нее изображений показал стабильное уменьшение NDVI на большей части окрестности свалки. Так, спектр изменений биопродуктивности $dB = B_2 - B_1$, $B_{1,2} = 1400 \cdot NDVI_{1,2}$ [гр/(м²·год)], $NDVI > 0,1$ за период с t_1 – август, 2001 г., по t_2 – август, 2011 г., в окрестностях свалки Торбеево показан на рис. 3 [13, 19–20].

На рис. 4 даны изображения NDVI полигона (чем темнее пиксель, тем меньше биопродуктивность растительности), на (а)–(б) видны значительные ухудшения биопродуктивности за 10 лет.

Как видно на рис. 3, расположение максимума левее нулевой отметки dB (особенно в период зрелости фитомассы) свидетельствует об общем ухудшении состояния почвы и растительности за данный период времени в окрестности полигона ТБО Торбеево. Уменьшению биопродуктивности соответствует значительно большая площадь поверхности (чем увеличение) за счет расширения полигона в ширину и высоту, а также замещения природных объектов антропогенными, что влияет на продуктивность их окрестности. Как в характери-

стике плотности распределения, пик показывает средний стабильный уровень изменения биопродуктивности в окрестности свалки. Большая близость к нормальному распределению, чем, например, к распределению редких событий Пуассона (за счет пологости графика функции), показывает в общем закономерность, а не спонтанность процессов, т. е. наличие одного основного источника заражения.

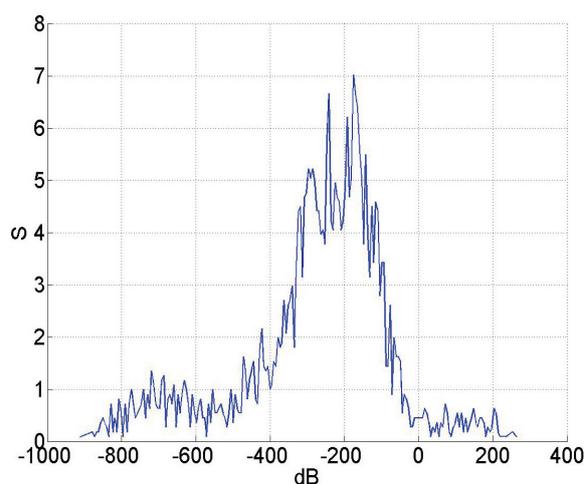


Рис. 3. Спектр изменений биопродуктивности за 2001–2011 гг., август; dB – гр/(м²·год), S – га (полигон ТБО Торбеево)

Fig. 3. Spectrum of solid productivity changes for 2001–2011, August; dB – g/(m²·year), S – ha (landfill Torbeevo)

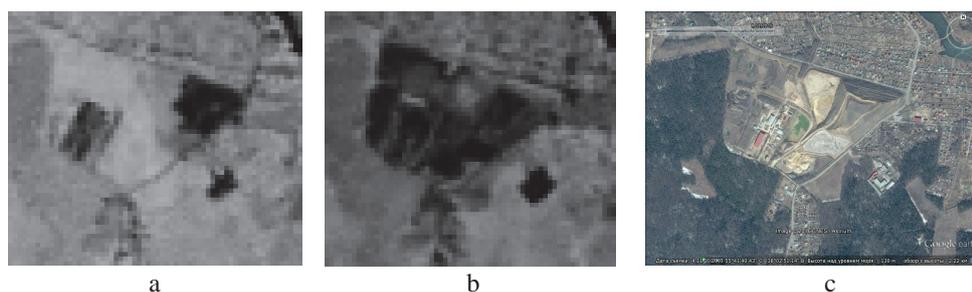


Рис. 4. а) биопродуктивность в 2001 г. (август); б) биопродуктивность в 2011 г. (август); в) изображение Google Earth (полигон ТБО Торбеево)

Fig 4. а) biological productivity in 2001 (August); б) biological productivity in 2011 (August); в) Google Earth image (landfill Torbeevo)

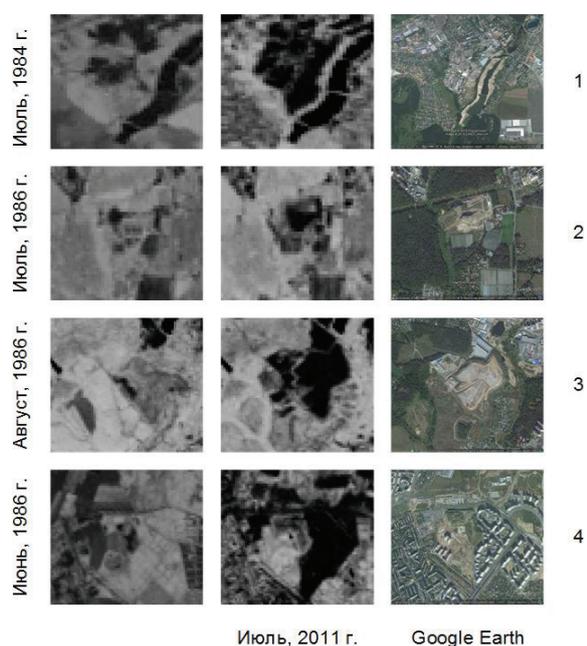


Рис. 5. Структурные изменения биопродуктивности в окрестности некоторых муниципальных свалок г.о. Железнодорожный Московского региона

Fig. 5. Structure changes of solid productivity in several municipal dumps of Zheleznodorozhny town, Moscow region

Площадь области стабильного ухудшения состояния растительности значительно больше площади улучшения состояния. Это выражено не только на территории, запечатанной технологическими объектами (зданиями, сооружениями, автодорогами и др.), но и на территории открытого типа (лес, поле, водоем и др.) – рис. 4, с. Закрытые и открытые территории (ареалы) способны воспроизводить биопродуктивность в некотором ограниченном диапазоне, который со временем стабильно сужается и смещается в область меньших значений. Многочисленные структурные изменения

окружающей среды, возникающие в процессе технологических операций на полигоне, приводят к зарегулированию биопродуктивности тех или иных территорий.

Данное «правило» действует на другие муниципальные свалки, расположенные в окрестности г.о. Железнодорожный (рис. 5), такие как полигон строительных отходов Саввино (1), рекультивируемый полигон Лисьи Горы (2), полигон ТБО Кучино (3), Некрасовка (4), а также полигоны ТБО Торбеево, Машково и Балластный карьер (не изображенные на рисунке).

На базе временного ряда NDVI можно проследить ход изменения биопродуктивности во времени. Например, между стадией активной эксплуатации полигона и реакцией на это окружающей природной среды имеет место переходной процесс [14–15]. Так, для полигона ТБО Кучино ошугимое уменьшение биопродуктивности почвы детектируется с 2001 г., через 5 лет после начала активной стадии эксплуатации. Запечатывание технологическими объектами окрестности и пополнение полигона ТБО Некрасовка (рис. 5) привело к потере устойчивости растительности к данным факторам и стабильному уменьшению ее биопродуктивности, начиная с 2003 г.

Заключение

Предлагаемый метод и алгоритм позволяет автоматизировать получение временных рядов значений КСЯ и индексов подстилающей поверхности, получаемых на базе КСЯ, с целью исследования данных космических изображений в пространстве и времени (сезонные и эволюционные изменения объектов того или иного типа). В частности, могут быть получены динамические параметры, т. е. характеристики местности, «растянутые» во времени, на базе статических (в «мгновенной» точке пространства).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шахраманьян М.А., Рихтер А.А. Методы и технологии космического мониторинга объектов захоронения отходов в интересах обеспечения экологической безопасности территорий. – М.: Издательский центр РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2013. – 241 с.
2. Шубов Л.Я., Ставровский М.Е., Шехирев Д.В. Технология отходов мегаполиса. Технологические процессы в сервисе. – М.: ГОУВПО «МГУС», 2006. – 410 с.
3. Основные требования к полигону ТБО при складировании и сепарации отходов / В.А. Игнатьев, Е.В. Левин, В.Д. Баширов, Р.Ф. Сагитов, Н.Д. Федоринов // Научные исследования: от теории к практике: сборник материалов II Международной научно-практической конференции. – Чебоксары: Центр научного сотрудничества «Интерактив плюс», 2015. – С. 11–12.
4. Колесников С.И. Экология. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°»; Ростов н/Д: Наука-Пресс, 2007. – 384 с.
5. Анализ и прогноз урожайности зерновых в Волгоградской области / В.П. Алимova, В.В. Чикомазова, Т.А. Матвеева, Д.К. Агишева, С.А. Зотова // Международный студенческий научный вестник. – 2016. – № 3–3. – С. 406–407.
6. Spatiotemporal monitoring of soil salinization in irrigated Tadla Plain (Morocco) using satellite spectral indices / Abderrazak El Harti, Rachid Lhissou, Kareem Chokmani, Jamal-eddine Ouzemou, Mohamed Hassouna, El Mostafa Bachaoui, Abderrahmene El Ghmari // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. – August 2016. – V. 50. – P. 64–73.
7. Anchang J.Y., Ananga E.O., Ruiliang Pu. An efficient unsupervised index based approach for mapping urban vegetation from IKONOS imagery // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. – August 2016. – V. 50. – P. 211–220.
8. Estimation of arsenic in agricultural soils using hyperspectral vegetation indices of rice / Tiezhu Shi, Huizeng Liu, Yiyun Chen, Junjie Wang, Guofeng Wu // Journal of Hazardous Materials. – 5 May 2016. – V. 308. – P. 243–252.
9. Using NDVI to measure precipitation in semi-arid landscapes / A.N. Birtwistle, M. Laituri, B. Bledsoe, J.M. Friedman // Journal of Arid Environments. – August 2016. – V. 131. – P. 15–24.
10. Игнатьев В.Ю., Мурынин А.Б. Метод и алгоритмы прогнозирования сезонных характеристик областей антропогенного воздействия с использованием многолетних космических данных // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. – 2015. – № 3. – С. 79–89.
11. Murynin A., Rihter A., Ignatiev V. Detection of the soil degradation areas on multispectral images by measuring the response of vegetation to salinity // Распознавание образов и анализ изображений. Новые информационные технологии: 11-я Международная конференция. – Самара, 23–28 сентября 2013. – С. 211–220.
12. Разработка метода оценки степени деградации почвы на основе данных долгосрочных наблюдений / А.А. Рихтер, М.А. Шахраманьян, М.Л. Казарян, А.Б. Мурынин // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2–14. – С. 3095–3099.
13. Three-dimensional imaging approach using built-in lens mask lithography / Toshiki Tanaka, Hisao Kikuta, Hiroaki Kawata, Masaaki Yasuda, Masaru Sasago, Yoshihiko Hira // Microelectronic Engineering. – 1 June 2016. – V. 158. – P. 85–90.
14. Фисенко В.Т., Фисенко Т.Ю. Компьютерная обработка и распознавание изображений. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2008. – 192 с.
15. A new burn severity index based on land surface temperature and enhanced vegetation index / Zhong Zheng, Yongnian Zeng, Songnian Li, Wei Huang // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. – March 2016. – V. 45. – P. A. – P. 84–94.
16. Sensitivity analysis of vegetation indices to drought over two tallgrass prairie sites / Rajen Bajgain, Xiangming Xiao, Pradeep Wagle, Jeffrey Basara, Yuting Zhou // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – October 2015. – V. 108. – P. 151–160.
17. Qiming Zhou, Baolin Li, Bo Sun. Modelling spatio-temporal pattern of land use change using multitemporal remotely sensed imagery / Qiming Zhou, Baolin Li, Bo Sun // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2008. – V. XXXVII. – P. B7. – P. 729–734.
18. Рихтер А.А., Казарян М.Л., Шахраманьян М.А. Обработка космических изображений с использованием средств мультимедиа и ее применение в космическом мониторинге объектов захоронения отходов // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 8–2. – С. 328–332.
19. Головацкая Е.А., Алексеева М.Н., Дюкарев Е.А. Оценка биопроductивности болотных экосистем по дистанционным и наземным данным // Торфяники Западной Сибири и цикл углерода: прошлое и настоящее: материалы Четвёртого Международного полевого симпозиума; под ред. А.А. Титляновой и М.И. Дергачёвой. – Новосибирск, 2014. – С. 166–168.
20. Путилина В.С., Галицкая И.В., Юганова Т.И. Влияние органического вещества на миграцию тяжелых металлов на участках складирования твердых бытовых отходов: аналитический обзор. Серия: Экология. Вып. 76. – Новосибирск: ПНТБ СО РАН, 2005. – 100 с.

Поступила 21.06.2016 г.

Информация об авторах

Казарян М.Л., кандидат физико-математических наук, доцент, заведующая кафедрой математики и информатики Владикавказского филиала Финансового университета при Правительстве Российской Федерации.

Рихтер А.А., инженер НИИ «АЭРОКОСМОС».

Шахраманьян М.А., доктор технических наук, профессор кафедры математики и информатики Владикавказского филиала Финансового университета при Правительстве Российской Федерации; заместитель директора НИИ «АЭРОКОСМОС».

UDC 378.147.88

METHOD FOR AUTOMATING ESTIMATION OF SURFACE INDICES AND THEIR TIME CHANGES USING SPACE IMAGES. APPLICATION OF THE METHOD IN ASSESSING THE ENVIRONMENT STATE IN THE VICINITY OF SOLID WASTE LANDFILLS

Maretta L. Kazaryan¹,
marettak@bk.ru

Andrey A. Rikhter²,
urfin17@yandex.ru

Mikhail A. Shakhramanyan^{1,2},
7283963@mail.ru

¹ Financial University at Government of the Russian Federation, Vladikavkaz Branch,
7, Molodezhnaya street, Vladikavkaz, 362001, Russia.

² Research Institute «AEROCOSMOS»,
4, Gorokhovskiy line, Moscow, 105064, Russia.

The relevance of the research is caused by simplification of receiving and processing satellite images through automation of processing and calculation of various indices of underlying surface, and their temporal changes. The proposed method allows detecting, with high speed and on a large scale, the signs of soil degradation, in particular, the waste disposal facilities of the size, multiple of images spatial resolution, calculating proper surface indices. The main drawback of the existing methods of detecting waste disposal sites is that their search, detection, environmental assessment are carried out by ground, "manual" methods, which gives low productivity and research in this area, first of all, their revealing. As a result of introduction of the automation detection method of waste disposal facilities the security of territory, affected by negative factors, expressed on the surface of the earth by various surface indices, and particularly by factor of littering the environment, can be improved significantly.

The main aim of the study is to develop a method for obtaining automatically the underlying surface indices and time series using satellite images linked to UTM geographical projection and their metadata.

The methods used in the study: methods of getting cloud masks (threshold filtering method) and regression analysis (method of standard deviation) for temporal processing.

The results. The paper introduces the algorithm of automatic data processing and describes the main steps of its operation. The authors define the model of conversion parameters of underlying surface indices change when adding new values of the spectral brightness coefficients or deleting the previous ones. The algorithm operation is shown by the example of calculation of NDVI time-series of the given observation area and their application to analyze the processing data, in particular, the NDVI images are automatically calculated in neighborhood landfill of Torbeevo Lyubertsky district for 2003–2011. The paper illustrates structural changes in soil bio-productivity with-in four municipal landfills of Zheleznodorozhny urban district in Moscow region: Kuchino, Savvino, Licyi Gory, Nekrasovka.

Kew words:

Landfill, space image, underlying surface index, automation, remote sensing, vegetation index, multimedia program.

REFERENCES

- Shachramanyan M.A., Richter A.A. *Metody i tekhnologii kosmicheskogo monitoringa obektov zakhroneniya otkhodov v interesakh obespecheniya ekologicheskoy bezopasnosti territoriy* [Methods and techniques of space monitoring of waste disposal sites to ensure the ecological safety of territories]. Moscow, RGU nefti i gaza imeni I.M. Gubkin Press, 2013. 241 p.
- Shubov L.Ya., Stavrovskiy M.E., Shekhirev D.V. *Tekhnologiya otkhodov megapolisa. Tekhnologicheskie protsessy v servise* [Metropolis Waste Technology. Processes in service]. Moscow, GOUV-PO «MGUS» Publ., 2006. 410 p.
- Ignatev V.A., Levin E.V., Bashirov V.D., Sagitov R.F., Fedorinov N.D. *Osnovnye trebovaniya k poligonu TBO pri skladirovanii i separatsii otkhodov* [Basic requirements for landfill for waste storage and separation]. *Nauchnye issledovaniya: ot teorii k praktike: Sbornik materialov II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Proc. II International Scientific and Practical Conference. Researches from theory to practice]. Moscow, 2015. pp. 11–12.
- Kolesnikov S.I. *Ekologiya* [Ecology]. Moscow, Dashkov i K0 Publ.; Rostov n/D, Nauka-Press, 2007. 384 p.
- Alimova V.P., Chikomazova V.V., Matveeva T.A., Agisheva D.K., Zotova S.A. *Analiz i prognoz urozhaynosti zernovykh v Volgogradskoy oblasti* [Analysis and forecast of grain yield in Volgograd region]. *Mezhdunarodny studencheskiy nauchny vestnik*, 2016, no. 3–3, pp. 406–407.
- Abderrazak El Harti, Rachid Lhissou, Karem Chokmani, Jamal-eddine Ouzemou, Mohamed Hassouna, El Mostafa Bachaoui, Abderrahmene El Ghmari. *Spatiotemporal monitoring of soil salinization in irrigated Tadla Plain (Morocco) using satellite spectral indices*. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, August 2016, vol. 50, pp. 64–73.
- Anchang J.Y., Ananga E.O., Ruiliang Pu. *An efficient unsupervised index based approach for mapping urban vegetation from IKONOS imagery*. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, August 2016, vol. 50, pp. 211–220.
- Tiezhu Shi, Huizeng Liu, Yiyun Chen, Junjie Wang, Guofeng Wu. *Estimation of arsenic in agricultural soils using hyperspectral vegetation indices of rice*. *Journal of Hazardous Materials*, 5 May 2016, vol. 308, pp. 243–252.
- Birtwistle A.N., Laituri M., Bledsoe B., Friedman J.M. *Using NDVI to measure precipitation in semi-arid landscapes*. *Journal of Arid Environments*, August 2016, vol. 131, pp. 15–24.

10. Ignatov V.Yu., Murynin A.B. Metod i algoritmy prognozirovaniya sezonnykh kharakteristik oblastey antropogennogo vozdeystviya s ispolzovaniem mnogoletnikh kosmicheskikh dannyykh [Method and prediction algorithms of seasonal performance of anthropogenic interference areas using long-term space data]. *Bulletin of the Russian Academy Sciences. Theory and control systems*, 2015, no. 3, pp. 79–89.
11. Murynin A., Richter A., Ignatov V. Detection of the soil degradation areas on multispectral images by measuring the response of vegetation to salinity. *11-ya mezhdunarodnaya konferentsiya. Raspoznavanie obrazov i analiz izobrazheniy: Novye informatsionnye tekhnologii* [Proc. 11th International Conference. Pattern recognition and image analysis: new information technologies]. Samara, 23–28 September, 2013. pp. 211–220.
12. Rikhter A.A., Shakhramanian M.A., Kazaryan M.L., Murynin A.B. Development of the method for assessing soil degradation degree based on long-term observations. *Fundamentalnye issledovaniya*, 2015, no. 2 (P. 14), pp. 3095–3099. In Rus.
13. Toshiki Tanaka, Hisao Kikuta, Hiroaki Kawata, Masaaki Yasuda, Masaru Sasago, Yoshihiko Hira. Three-dimensional imaging approach using built-in lens masklithography. *Microelectronic Engineering*, 1 June 2016, vol. 158, pp. 85–90.
14. Fisenko V.T., Fisenko T.Yu. *Kompyuternaya obrabotka i raspoznavanie izobrazheniy* [Computer processing and image recognition]. St-Petersburg, SPbGU ITMO Press, 2008. 192 p.
15. Zhong Zheng, Yongnian Zeng, Songnian Li, Wei Huang. A new burn severity index based on land surface temperature and enhanced vegetation index. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, March 2016, vol. 45, P. A, pp. 84–94.
16. Rajen Bajgain, Xiangming Xiao, Pradeep Wagle, Jeffrey Basara, Yuting Zhou. Sensitivity analysis of vegetation indices to drought over two tallgrass prairie sites. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, October 2015, vol. 108, pp. 151–160.
17. Qiming Zhou, Baolin Li, Bo Sun. Modelling spatio-temporal pattern of land use change using multitemporal remotely sensed imagery. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2008, vol. XXXVII, P. B7, pp. 729–734.
18. Rikhter A.A., Kazaryan M.L., Shakhramanian M.A. Processing space images using multimedia and its application in monitoring waste disposal objects. *Fundamentalnye issledovaniya*, 2015, no. 8–2, pp. 328–332. In Rus.
19. Golovatskaya E.A., Alekseeva M.N., Dyukarev E.A. Otsenka bioproduktivnosti bolotnykh ekosistem po distantsionnym i nazemnym dannym [Evaluation of bio-productivity of wetland ecosystems by remote and land-based data]. *Torfyanski Zapadnoy Sibiri i tsikl ugleroda: proshloe i nastoyashchee. Materialy Chetvertogo Mezhdunarodnogo polevogo simpoziuma*. [Proc. of Fourth International Field Symposium. Peat bogs of western Siberia and carbon cycle: past and future]. Eds. A.A. Titlyanova, M.I. Der-gacheva. Moscow, 2014. pp. 166–168.
20. Putilina V.S., Galitskaya I.V., Yuganova T.I. *Vliyaniye organicheskogo veshchestva na migratsiyu tyazhelykh metallov na uchastkakh skladirovaniya tverdykh bytovykh otkhodov: analiticheskiy obzor* [Influence of organic matter on of heavy metals migration in the areas of solid waste disposal: analytical review.]. *Ser. Ekologiya*, Vyp. 76, Novosibirsk: GPNTB SO RAN, 2005. 100 p.

Received: 21 June 2016.

Information about the authors

Maretta L. Kazaryan, PhD in Physics and Mathematics, associate professor, head of the department, Financial University at Government of the Russian Federation, Vladikavkaz Branch.

Andrey A. Richter, engineer, Research Institute «AEROCOSMOS».

Michail A. Shakhramanian, Dr. Sc., professor, Financial University at Government of the Russian Federation; deputy director, Research Institute «AEROCOSMOS».