2866

УДК 91.528.7

ОЦЕНКА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОБЛАСТЕЙ ЗАМУСОРИВАНИЯ ПО МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫМ КОСМИЧЕСКИМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ

^{3,5}Рихтер А.А., ^{1,3,4,5}Шахраманьян М.А., ^{1,2}Казарян М.Л., ^{5,6}Мурынин А.Б.

¹Владикавказский филиал Финансового университета при Правительстве Российской Федерации, Владикавказ, e-mail: vfek@bk.ru;

²Северо-Осетинский государственный университет им. К.Л. Хетагурова,

Владикавказ, e-mail: nosu@nosu.ru;

³Институт аэрокосмических технологий и мониторинга РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, Москва, e-mail: 7283963@mail.ru;

⁴Московский институт открытого образования, Москва;

⁵Научно-исследовательский институт АЭРОКОСМОС, Москва, e-mail: aerocosmos.info;

⁶Вычислительный центр им. А.А. Дородницына Российской Академии Наук,

Москва, e-mail: wcan@ccas.ru

Разработан метод оценки геометрических параметров поверхности областей замусоривания по мультиспектральным космическим изображениям. Описан алгоритм оценки геометрических параметров по серии космических изображений заданной территории, и представлена его блок-схема. Приведены основные параметры, оцениваемые алгоритмом. Выведены формулы расчета параметров объекта замусоривания таких как площадь, периметр, центр масс и другие. Также получены формулы для оценки скорости перемещения объекта замусоривания. Рассмотрены результаты применения разработанного метода. Представлены результаты работы алгоритма оценки геометрических параметров поверхности объектов областей замусоривания на примере полигона твердых бытовых отходов Кучино Московской области. Показаны результаты расчета геометрических параметров и их изменения во времени для этого тестового участка. Обсуждаются графики изменения геометрических параметров объекта замусоривания за десятилетний период. Выявлены минимальные и максимальные направления роста данного полигона. Описана методика оценки динамики геометрии неподвижного объекта. Получены графики изменения площади полигона для четырех географических направлений: северо-восточного, северо-западного, юго-восточного, юго-западного. Проведено сопоставление полученных результатов с данными наземных наблюдений. Показана возможность наблюдения процесса зарастания свалок, а также расползания замусоривания на прилегающие территории.

Ключевые слова: мультиспектральные изображения, дистанционное детектирование, область замусоривания, мониторинг свалок, геометрические параметры, полигоны твердых бытовых отходов

ESTIMATION OF GEOMETRICAL PARAMETERS OF THE CONTAMINATED **AREAS ON MULTISPECTRAL SATELLITE IMAGES**

^{3,5}RichterA.A., ^{1,3,4}Shakhramanyan M.A., ^{1,2}Kazaryan M.L., ^{5,6}Murynin A.B. ¹Financial University at Government of Russian Federation Vladikavkaz branch,

Vladikavkaz, e-mail: vfek@bk.ru;

²North Ossetian State University by K.L. Khetagurov, Vladikavkaz, e-mail: nosu@nosu.ru; ³Institute of space technologies and monitoring of the RSU of Oil and Gas I.M. Gubkin,

Moscow, e-mail: 7283963@mail.ru;

⁴Moscow Institute of Open Education, Moscow;

⁵Research Institute for Aerospace Monitoring, Moscow, e-mail: aerocosmos.info; ⁶A.A. Dorodnicyn Computing Centre of RAS, Moscow, e-mail: wcan@ccas.ru

A new estimation method is developed for the surface geometric parameters of contaminated areas on the basis of multispectral satellite images. This paper describes an algorithm for geometrical parameters evaluation using satellite images of predetermined areas; algorithm flowchart is presented as well as basic measured parameters. Parameters such as area, perimeter, center of mass, and others can be calculated for contaminated object using derived formulas. Along with that formulas are obtained to assess rates of the contaminated area shift. The results of proposed method are shown. We use an example of a solid waste landfill in Kuchino, Moscow region to demonstrate the results of an algorithm for geometrical parameters evaluation. Calculation of the geometrical parameters is given for this test site as well as parameter change over time. Graphs of geometric parameters of contaminated object are provided for a period of over ten years. We revealed the minimum and maximum expansion directions of the polygon. Method assessing the dynamics of the stationary object geometry is described. Graphs for the polygon area change are obtained for four directions: Northeast, Northwest, Southeast, and Southwest. Obtained results are compared with ground-based observations. The possibility of observing the landfills overgrowing process, as well as the arread of contamination and the surrounding areas is domentrated. as the spread of contamination on the surrounding areas is demonstrated.

Keywords: multispectral images, remote sensing, field of littering, monitoring of landfills, geometrical parameters, solid waste landfills

Поверхность Земли, наблюдаемая на космических изображениях, с течением времени сильно меняется. Основные причины связаны с антропогенным воздействием: ростом населения Земли, производства и потребления, научно-техническим прогрессом. В частности, данные воздействия приводят к стабильному росту площадей ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ НАУКИ

замусоривания территории, происходящему даже вопреки всевозможным сдерживающим факторам (энергосберегающим технологиям, морализации общества, деятельности по защите окружающей среды, переработке отходов и т.п.).

С помощью обработки мультиспектральных космических изображений можно детектировать и оценить различные области замусоривания (ОЗ), такие как полигоны твердых бытовых отходов (ТБО), несанкционированные свалки, захламления.

Постановка задачи

Методы оценки замусоривания почвы по космическим изображениям активно развиваются [1, 3, 4, 5, 6]. Одна из актуальных задач состоит в разработке алгоритмов, позволяющих оценить поверхностные геометрические параметры ОЗ. К числу таких параметров относятся: периметр, площадь (поверхности земли, занятая) ОЗ; контур ОЗ; геометрический центр ОЗ; географические координаты ОЗ; концентрация замусоривания и др. В данной работе описываются алгоритмы, позволяющие дать их оценку. Геометрические параметры ОЗ могут быть найдены в разные моменты времени, в зависимости от временного интервала, охватывающего снимки. В результате получается не только изменение геометрической формы ОЗ во времени, но и изменение во времени его площади и периметра. Анализ изменения контура во времени позволит определить направления преимущественного роста ОЗ, перемещение и скорость расползания ОЗ в выделенном направлении.

Описание алгоритмов

Алгоритмы автоматизированной оценки поверхностных геометрических параметров показаны в виде блок-схемы на рис. 1.





Сначала проводится геопривязка серии мультиспектральных изображений и выделение геопривязанных участков расположения ОЗ в разные моменты времени $[t_1 t_2 ... t_n]$. Далее для синего, красного и ближнего инфракрасного каналов мультиспектральных изображений попиксельно рассчитываются индекс реакции растительности в каждый момент t_i . Затем для временной серии этих индексов в моменты $[t_1 t_2 ... t_n]$ – степень деградации почвы к моменту t_i по алгоритму. Причем $1 < m \le i \le n$, t_m – наиболее ранний момент съемки, на котором возможно детектирование данной ОЗ. Данные процедуры описаны в работе [5].

Для каждого такого *i* строится область значений степени деградации почвы, большей некоторого порога η₁ (границы обнаружения ОЗ) - она считается областью очагов замусоривания. Также строится другая область, для которой степень больше порога η, (границы выделения ОЗ) – область детектирования, причем $0 < \eta_2 < \eta_1 < 1$. Связанные компоненты этой области, охватывающие область очагов (также связанных компонент), считаются ОЗ – изображениями ОЗ в моменты t, покрывающими сами ОЗ и их прилегающие окрестности. Далее выполняются морфологические процедуры заполнения связанной области и выделения ее контура (границы ОЗ) по известным морфологическим процедурам, описанным в [7]. На изображениях ОЗ в каждый момент t_i строится радиальная сетка от геометрического центра O3 с угловым шагом Δ. Каждому сектору сетки соответствует свое направление и геометрические параметры площадь, периметр, перемещение, скорость перемещения, концентрация замусоривания и их изменения во времени. По входящей в сектор части O3 оцениваются параметры в направлении - угловые распределения параметров. Точность оценки параметров зависит от ошибок обнаружения, выделения и от пространственного разрешения снимков. Геометрические параметры оцениваются как в моменты времени съемки, так и в моменты времени между съемками, прослеживается их динамика во времени. Т.к. ОЗ заполняется неравномерно, то по радиальной сетке выделенного O3 находятся преимущественные направления распространения ОЗ, которые считаются наиболее вероятными для дальнейшего роста. Прогноз роста проводится посредством построения модели прогнозирования и выбора вида линии регрессии.

Площадь и периметр ОЗ оценивается по формулам:

$$S = k^2 \cdot (n - 0, 5l), \quad P = \sqrt{2} \cdot k \cdot l ,$$

где k – разрешение, n – число связных пикселей после заполнения, l – длина контура. Временные параметры характеризуют жизненный цикл ОЗ: возникновение (очаг замусоривания), формирование (очередей для полигонов ТБО, основного тела и захламленности окрестности, зарастание и очистка территории) и исчезновение. Оценка параметров эквивалентного эллипса (центр масс, осевые и центральные моменты инерции, вытянутость, ориентация и др.) полезна для классификации ОЗ. Для ОЗ, заданного вектором абсцисс x и ординат y, центр масс задается координатами

$$[x_{c}, y_{c}]: x_{C} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} x_{i}, y_{C} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} y_{i}.$$

Географические координаты ОЗ находятся по преобразованию матричных координат центра масс ОЗ на изображении в географические в программных средствах ГИС (ENVI, IDL). Относительно центра оцениваются статические и динамические геометрические параметры, например, рост ОЗ в направлении.

Концентрация оценивается как для множества участков одного ОЗ, так и для множества ОЗ, распределенных по территории. Она рассчитывается по формуле $\hat{C} = N/S$, где N - общее число пикселей, занятых ОЗ, S – число пикселей всей территории. Концентрация может быть представлена в форме законов распределения случайных величин, изображений, зависимости от направления ф и времени t. Данный параметр является мерой «грамотности» размещения отходов (сосредоточенности отходов и систематизации/ стихийности их образования), а также степени замусоривания и потенциальной опасности. Концентрация замусоривания в направлении оценивается по распределению отходов в окрестности направляющего вектора из центра масс ОЗ.

Процедура прослеживания контура (например, методом правообходного или левообходного жука) преобразует матрицу контура $C = [x \ y]$ длины l в матрицу линии контура $F = [X \ Y]$. Вытянутость u и углы ϕ можно оценить по формулам:

$$u = \sqrt{\left(X - x_c\right)^2 + \left(Y - y_c\right)^2},$$

$$\phi = \operatorname{arctg}\left(Y / X\right).$$

По линии контура оценивается кривизна, линейность, выпуклость и др. Данные параметры не привязываются к центру масс и зависят только от *F*. Оценка вытянутости ОЗ в направлении φ дается по формуле: $r = k\sqrt{2q/\Delta}$, q – число пикселей связной компоненты, ограниченной направлениями $\varphi - \Delta/2$ и $\varphi + \Delta/2$. Оценка перемещения O3 за время с t_1 до t_2 : $\Delta r = r_2 - r_1 r_1$ и r_2 – вытянутость O3 в направлении φ в моменты t_1 и t_2 . Оценка соответствующей скорости перемещения: $v = \Delta r / (t_2 - t_1)$. Оценка площади O3 в направлении φ : $s(\phi) = k^2 \cdot q$. Располагая серией таких линий перемещения и скорости, можно их спрогнозировать в рамках периода прогноза. Угловое распределение перемещения и скорости перемещения O3 (границ O3) – функции $\Delta r(\varphi)$ и $v(\varphi)$, угловое распределение площади – $s(\varphi)$, где $0 \le \varphi \le 2\pi$.

Результаты работы алгоритмов

Покажем результаты работы алгоритмов на примере тестового участка – ОЗ полигона ТБО Кучино, Балашихинский район Московского региона.





Рис. 2. Тестовый участок: а) изображение в программе Google Планета Земля, 11 июня 2003 г.; б) результат автоматического выделения ОЗ, 21 июля 2003 г.

На рис. 2, б показано изображение тестового участка (рис. 2, а), выделенного в результате работы алгоритма, описанного в [8]. Размеры участка: 1,7 км по высоте и 1,4 км по ширине.



Рис. 3. Результаты обработки: а) график роста площади полигона ТБО Кучино за период 2001–2011 гг.; б) угловое распределение перемещения границ ОЗ полигона ТБО Кучино за период 2001–2011 гг.; в) перемещение границ полигона ТБО Кучино за период 2001–2011 гг. в северовосточном (1), северо-западном (2), юго-западном (3) и юго-восточном (4) направлениях; г) перемещение центра масс полигона ТБО Кучино за период 2001–2011 гг.

По информативным признакам, описанным в [1], находится область детектирования и выделяется ОЗ. Далее происходит заполнение ОЗ и выделение его контура. Площадь устойчивого замусоривания выросла в несколько раз за 8 лет. На рис. За – график изменения площади полигона во времени, на котором видны характерные скачки росла площади (в 2005 и 2009 годах). обусловленные этапами складирования проектированием новых территорий под складирование отходов и заполнение этих территорий отходами вдоль и по высоте. В данном случае выделяются очереди 2002, 2004, 2008 и 2010 гг. На графиках площади может наблюдаться спад, колебание или постепенный рост площади. Спад обусловлен зарастанием ОЗ растительностью, постепенный рост, вероятно, обусловлен расползающимся захламлением территории. На рис. 3, б показано угловое распределение перемещения границ (роста размера) ОЗ за период 2001–2011 гг., а на рис. 3, в – средний рост в четырех направлениях: северо-восток, северо-запад, юго-запад и юго-восток. Как видно, наибольший рост наблюдается на юго-востоке, в направлении жилой дер. Фенино. Следует заметить, что в настоящее время с 2011 по 2014 годы преимущественный рост границ наблюдается именно в этом направлении. На рис. 3, г показана линия перемещения геометрического центра полигона. В местах высокой скорости его перемещения происходит расширение границ полигона. Закручивание линии свидетельствует о стабилизации расположения ОЗ ввиду увеличения его размера.

Заключение

Алгоритм оценки поверхностных геометрических параметров ОЗ разработан и протестирован для полигонов ТБО Московской области. К достоинствам алгоритма можно отнести:

 возможность использования бесплатных снимков Landsat для обнаружения ОЗ;

2) минимальные требования к исходным данным;

 простоту обработки космической информации.

Однако целесообразно дальнейшее улучшение алгоритма по некоторым направлениям, например, приблизить временной интервал оценки геометрических параметров к периоду наблюдений. Также следует усовершенствовать алгоритм до выделения ОЗ не только открытого типа, но и ОЗ, зарастающих растительностью.

Список литературы

1. Бондур В.Г., Мурынин А.Б., Рихтер А.А., Шахраманьян М.А. Разработка алгоритма оценки степени деградации почвы по мультиспектральным изображениям // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – Т. 131, № 6. – С. 131–134.

2. Бондур В. Г., Рихтер А. А., Мурынин А. Б. Алгоритм расчета степени деградации почвы // Технические науки в России и за рубежом: материалы II междунар. науч. конф. – М.: Буки-Веди, 2012. – С. 8–14.

 Бровкина О.В. Дистанционный мониторинг антропогенных нарушений таежной зоны Северо-Запада России: Дис. канд. географических наук: 25.00.36. – С.-П., 2011. – 194 с.

4. Казарян М.Л. Исследование вейвлет-преобразований Хаара на корректность в контексте задачи космического мониторинга Земли // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2013. – № 6 (178). – С. 14–17.

5. Тимофеева С.С., Шершукова Л.В., Охотин А.Л. Мониторинг свалок твердых бытовых и промышленных отходов в Иркутском районе по данным космических снимков // Вестник Иркутск. ИрГТУ, 2012. – № 9. – С. 76–81.

6. Шахраманьян М.А., Рихтер А.А. Методы и технологии космического мониторинга объектов захоронения отходов в интересах обеспечения экологической безопасности территории: Учебно-методическое пособие. – М.: Издательский центр РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2013. – 241 с.

 Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. – М.: Техносфера, 2010. – 560 с.

8. Murynin A., Rihter A., Ignatiev V. Detection of the soil degradation areas on multispectral images by measuring the response of vegetation to salinity // 11th International Conference on Pattern Recognition and Image Analysis: New Information

Technologies (PRIA-11-2013), Vol. 6, Samara: IPSI RAS, 2013. – P. 678–681.

References

1. Bondur V.G., Murynin A.B., Rihter A.A., Shahraman'jan M.A. Razrabotka algoritma ocenki stepeni degradacii pochvy po mul'tispektral'nym izobrazhenijam // Izvestija JuFU. Tehnicheskie nauki. 2012. T. 131, no. 6. pp. 131–134.

2. Bondur V. G., Rihter A. A., Murynin A. B. Algoritm rascheta stepeni degradacii pochvy // Tehnicheskie nauki v Rossii i za rubezhom: materialy II mezhdunar. nauch. konf. M.: Buki-Vedi, 2012. pp. 8–14.

3. Brovkina O.V. Distancionnyj monitoring antropogennyh narushenij taezhnoj zony Severo-Zapada Rossii: Dis. kand. geograficheskih nauk: 25.00.36. S.-P., 2011. 194 p.

4. Kazarjan M.L. Issledovanie vejvlet-preobrazovanij Haara na korrektnosť v kontekste zadachi kosmicheskogo monitoringa Zemli // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Serija: Estestvennye nauki. 2013. no. 6 (178). pp. 14–17.

5. Timofeeva S.S., Shershukova L.V., Ohotin A.L. Monitoring svalok tverdyh bytovyh i promyshlennyh othodov v Irkutskom rajone po dannym kosmicheskih snimkov // Vestnik Irkutsk. IrGTU, 2012. no. 9. pp. 76–81.

6. Shahraman'jan M.A., Rihter A.A. Metody i tehnologii kosmicheskogo monitoringa ob#ektov zahoronenija othodov v interesah obespechenija jekologicheskoj bezopasnosti territorii: Uchebno-metodicheskoe posobie. M.: Izdatel'skij centr RGU nefti i gaza imeni I.M. Gubkina, 2013. 241 p.

7. Shovengerdt R.A. Distancionnoe zondirovanie. Modeli i metody obrabotki izobrazhenij. M.: Tehnosfera, 2010. 560 p.

8. Murynin A., Rihter A., Ignatiev V. Detection of the soil degradation areas on multispectral images by measuring the response of vegetation to salinity // 11th International Conference on Pattern Recognition and Image Analysis: New Information Technologies (PRIA-11-2013), Vol. 6, Samara: IPSI RAS, 2013. pp. 678–681.

Рецензенты:

Заалишвили В.Б., д.ф.-м.н., профессор, директор ФГБУН Центра геофизических исследований, г. Владикавказ;

Кусраев А.Г., д.ф.-м.н., профессор, директор Института прикладной математики и информатики, г. Владикавказ.

Работа поступила в редакцию 01.04.2015.

2870