

М. А. Попов, С. А. Станкевич, А. А. Козлова

Дистанционная оценка риска деградации земель с использованием космических снимков и геопространственного моделирования

(Представлено академиком НАН Украины В. И. Лялько)

Деградация земель является актуальной и важной проблемой Украины, решение которой позволяет не только детально изучить причины ухудшения качества земель, но также подразумевает определение риска их деградации. Представлена модель оценки риска деградации земель с использованием многоспектральных космических снимков. Модель учитывает изменения растительного покрова и динамику эрозии почв. Показаны возможности предложенной модели на примере оценивания риска деградации земель песчаных арен Херсонской области за два периода (1983–1991 гг. и 1991–2010 гг.) с использованием многоспектральных космических снимков Landsat 5/TM.

Деградация земель является актуальной и важной проблемой Украины, решение которой связано не только с детальным изучением причин ухудшения качества земель, но также подразумевает определение риска их деградации.

Значительные масштабы или труднодоступность деградированных территорий, недостаточность финансирования исследований состояния почвенного и растительного покровов, не всегда удовлетворительное качество соответствующих архивных материалов обуславливают использование многоспектральных космических изображений как информационной основы для выявления потенциального ухудшения качества земель. При этом основной задачей обработки многоспектральных космических снимков является выделение индикаторов деградации земель.

В ходе проведенного исследования индикаторами были определены изменения растительного покрова и динамика эрозии почв. Для картирования этих индикаторов кроме многоспектральных спутниковых снимков среднего пространственного разрешения необходимы и вспомогательные геопространственные данные — цифровой рельеф местности, карты и характеристики почв, климатические параметры территории исследования. В связи с этим проводились изыскания для части территории нижнеднепровских песков: Казачьялагерской и Олешковской арен, Шелеменских песков, расположенных на левом берегу р. Днепр в Цюрупинском и Голопристанском районах Херсонской области (рис. 1).

Нижнеднепровские пески — уникальный лесостепной природный комплекс. Это самый крупный песчаный массив Европы, сдерживаемый наибольшим по площади искусственным лесом [1]. Однако в результате хозяйственной деятельности и пожаров здесь наблюдаются изменения растительного и лесного покрова, уничтожение естественных псамофитных растительных сообществ, что ведет к усилению процессов эрозии и может, в конечном итоге, привести к полному опустыниванию территории. Основными факторами деградации почв на рассматриваемой территории Украины выступают водная (примерно 78%) и ветровая (примерно 20%) эрозии [2].

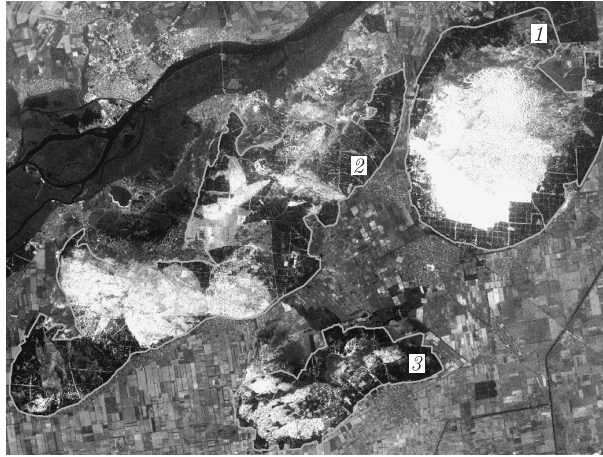


Рис. 1. Границы территории исследования [1 — Казачьелагерская арена; 2 — Олешковская арена; 3 — Шелеменские пески] нанесены на фрагмент многоспектрального космического снимка Landsat-5/TM, 16/08/2001

Изменения растительного покрова на многоспектральных спутниковых снимках определяются стандартными методами [3]. При этом следует отметить целесообразность использования в условиях почвенной эрозии степных ландшафтов юга Украины для картирования растительного покрова не стандартного нормализованного вегетационного индекса (NDVI), а модифицированного почвенно-скорректированного вегетационного индекса (MSAVI) F_v , который может быть рассчитан по формуле:

$$F_v = \frac{2E_n + 1 - \sqrt{(2E_n + 1)^2 - 8(E_n - E_r)}}{2}, \quad (1)$$

где E_n и E_r — оптические сигналы многоспектрального изображения в ближнем инфракрасном и красном спектральных диапазонах соответственно [4].

Водная эрозия (z_s , мм/мес.) зависит от типа и минерального состава почвы, уровня осадков, геометрической крутизны склонов и густоты растительного покрова. Величину z_s можно рассчитать по регрессионной зависимости вида [5]:

$$z_s = k_s Q^2 (\operatorname{tg} \alpha)^{1,67} \exp(-0,07v), \quad (2)$$

где k_s — эрозионный коэффициент почвы; $k_s \cong 0,13$ мм/мес. для глинисто-песчаных и супесчаных почв [6]; Q — поверхностный сток, мм/мес.; α — угол уклона местности; v — процент покрытия местности растительностью.

Поверхностный сток определяется соотношением количества осадков P , мм/мес. и водным удержанием R , мм/мес.:

$$Q = \frac{(P - 0,2R)^2}{P + 0,8R}. \quad (3)$$

Здесь R зависит от табличного гидрологического показателя почвы C_s , согласно данным справочника [7],

$$R = 25,4 \left(\frac{1000}{C_s} - 10 \right). \quad (4)$$

Следует отметить, что процент покрытия местности растительностью обычно считается пропорциональным NDVI в пределах территории исследования [8] и легко рассчитывается по многоспектральному изображению.

Ветровая эрозия (z_w , мм/мес.) вызывается взаимодействием структурных частиц почвы с приземным воздушным потоком. Ее упрощенная модель описывается уравнением [9]

$$z_w \approx 0,059(w - u)d_s^{-3,67}, \quad (5)$$

где w — скорость приземного воздушного потока, м/с; u — критическая скорость воздушного потока, м/с; d_s — эквивалентный размер структурных частиц почвы, мм:

$$u = 3,202 + 0,025d_s. \quad (6)$$

Скорость приземного воздушного потока при установившейся динамической скорости ветра w_0 определяется в основном сопротивлением растительного покрова [10]:

$$w = w_0 \exp(-0,0139v). \quad (7)$$

Полную эрозию почвы находим суммированием выражений (2) и (7).

Для картирования деградации земель территории исследования были использованы многоспектральные космические снимки Landsat-4/MSS и Landsat-5/TM за период с августа 1983 г. по август 2010 г. Индекс MSAVI F_v рассчитывался, согласно уравнению (1), его изменения картировались. Параллельно проведена оценка полной эрозии $z = z_s + z_w$, ее изменения также картировались. Необходимые вспомогательные параметры извлекались непосредственно из исходных многоспектральных спутниковых изображений Landsat (процент покрытия растительностью), из цифрового рельефа местности ASTER GDEM (уклон местности), почвоведческих и климатических данных [11, 12] (гранулометрический состав и гидрологические показатели почвы, среднемесячные осадки, профили скорости ветра).

На первом этапе обработки были построены серии тематических пространственных классификаций принципиально различных индикаторов деградации земель — изменений растительного покрова и изменений эрозии почв. На втором этапе частные классификации первого уровня интегрируются в результирующую классификацию методом слияния данных [13]. В качестве модели слияния применен байесовский статистический вывод [14]. Значения, полученные в результате интеграции классификаций учитываемых индикаторов, условно разделены на пять классов. Первые два класса отрицательных значений указывают на негативные изменения индикаторов и повышение риска деградации земель. Следующие два класса отображают позитивные тенденции в изменении индикаторов и свидетельствуют об уменьшении риска ухудшения качества земель. Пятым классом представлены территории, на которых в рассматриваемый период времени искомые изменения не происходили.

Результирующая карта изменений риска деградации земель исследуемых территорий представлена на рис. 2. Визуальный анализ карты показывает, что в основном изменение риска деградации земель связано с изменениями состояния растительного покрова. В продолжение обоих рассматриваемых периодов степень изменения риска была слабой. Значительное увеличение площади территорий с повышенным риском ухудшения качества земель в период с 1991 по 2010 гг. связано с масштабными пожарами, имевшими место в августе 2007 г.

Таким образом, многоспектральные космические снимки могут быть эффективно использованы при изучении индикаторов ухудшения качества земель и определении изменений риска их деградации на обширных территориях в определенный период времени.

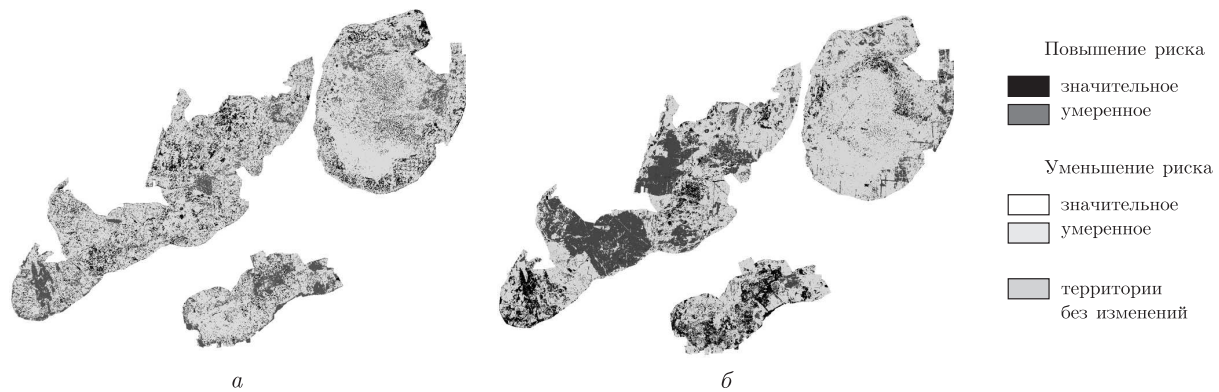


Рис. 2. Изменение риска деградации земель исследуемых территорий за период 1983–1991 гг. (а) и 1991–2010 гг. (б)

Кроме того, применение космических снимков позволит не только охватить огромные площади земель, подверженных деградации, и наладить получение достоверной информации из труднодоступных участков, но и значительно уменьшить стоимость проведения работ по определению качества земельных ресурсов и рисков его ухудшения. В дальнейшем, модель, предложенная в статье, может быть интегрирована в систему геоинформационной поддержки управления земельными ресурсами на локальном и региональном уровнях.

1. Котенко Т. И., Уманец О. Ю., Селюнина З. В. Природный комплекс Казачьеллагерской арены Нижнеднепровских песков и проблемы его сохранения // Заповід. справа в Україні. – 1999. – 5, вип. 1. – С. 61–72.
2. Svetlitchny A. A. Soil erosion induced degradation of agrolandscapes in Ukraine: Modeling, computation and prediction in conditions of the climate changes: Regional Aspects of Climate-Terrestrial-Hydrologic Interactions in Non-boreal Eastern Europe / Ed. by P. Ya. Groisman, S. V. Ivanov. – Odessa: Springer, 2009. – P. 191–199.
3. Lu D., Mausel P., Brondizio E., Moran E. Change detection techniques // Intern. J. Rem. Sensing. – 2004. – 25, No 12. – P. 2365–2401.
4. Zhongming W., Leesa B. G., Feng J. et al. Stratified vegetation cover index: A new way to assess vegetation impact on soil erosion // Catena. – 2010. – 83, No 1. – P. 87–93.
5. Hairsine P. B., Rose C. W. Modeling water erosion due to overland flow using physical principles // Water Resources Res. – 1992. – 28, No 1. – P. 237–250.
6. Хотиненко О. М. Протидефляційна стійкість поверхонь агроландшафтів Південного Степу України // Вісн. аграр. науки. – 2007. – № 7. – С. 78–80.
7. Hydrologic Soil-Cover Complexes. Chap. 9 of National Engineering Handbook. – Part 630 Hydrology. – Washington: USDA, 2004. – <http://www.info.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=17758.wba>.
8. Carlson T. N., Ripley D. A. On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index // Remote Sensing of Environment. – 1997. – 62. – No 3. – P. 241–252.
9. Dolgilevich M. J. Extent and Severity of Wind Erosion in the Ukraine / Proceedings of International Symposium on Wind Erosion. – Manhattan: Kansas State Univ., 1997. – <http://www.weru.ksu.edu/symposium/proceedings/dolgilev.pdf>.
10. Степаненко С. Н., Волошин В. Г. Профили скорости ветра в слое проникаемой шероховатости // Укр. гідромет. журн. – 2010. – № 6. – С. 24–34.
11. Hoffmann M., Zhovtonog O. I., Popovich V. F., Bolkina O. P., Mikhaylenko S. A. Use of GIS and GIS-based models for river basin management tasks and water management within rural areas // Transactions of ICID 23rd European Regional Conference. – Lviv: Ivan Franko National Univ., 2009. – <http://europeicid2009.org/media/trudy/Hoffmann-Ukraine.pdf>.
12. Чорний С. Г., Хотиненко О. М. Оцінка протидефляційної стійкості ґрунтів у зв'язку з сучасними змінами клімату // Агрохімія і ґрунтознавство: Міжвід. темат. наук. зб. – Харків: Ін-т ґрунтознавства та агрохімії ім. О. Н. Соколовського УААН, 2009. – Вип. 70. – С. 69–76.

13. Solberg A. H. S. Data fusion for remote-sensing applications // Image Processing for Remote Sensing / Ed. by C. H. Chen. – Boca Raton: CRC Press, 2008. – P. 249–271.
14. Zeng Y., Zhang J., van Genderen J. L. Comparison and analysis of remote sensing data fusion techniques at feature and decision levels // ISPRS Symposium on Remote Sensing: from Pixels to Processes (ISPRS'06). – Enschede: ITC, 2006. – <http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/part7/PDF/014.pdf>.

ГУ “Научный центр аэрокосмических исследований Земли Института геологических наук НАН Украины”, Киев

Поступило в редакцию 30.08.2011

М. О. Попов, С. А. Станкевич, А. О. Козлова

Дистанційна оцінка ризику деградації земель з використанням космічних знімків і геопросторового моделювання

Деградація земель є актуальною та важливою проблемою України, розв'язання якої пов'язане не лише з детальним вивченням причин погіршення якості земель, але також передбачає визначення ризику їхньої деградації. Представлено модель оцінки ризику деградації земель з використанням багатоспектральних космічних знімків. Модель враховує зміни рослинного покриву та динаміку ерозії ґрунтів. Наведено можливості запропонованої моделі на прикладі оцінювання ризику деградації земель піщаних арен Херсонської області за два періоди (1983–1991 рр. та 1991–2010 рр.) з використанням багатоспектральних космічних знімків Landsat 5/TM.

M. A. Popov, S. A. Stankievich, A. A. Kozlova

Remote risk assessment of land degradation using satellite images and geospatial modeling

Land degradation is an urgent important problem in Ukraine. The solution of this problem concerns not only a detailed study of the causes of land degradation, but also involves identifying the risk of its degradation. A model for the assessment of a risk of land degradation using multispectral satellite images is proposed. The model involves changes in the vegetation cover and the soil erosion dynamics. Using multispectral Landsat 5/TM images, the risk assessment of land degradation of natural sand areas within the Kherson oblast' was carried out for two time periods (1983–1991, 1991–2010) in order to demonstrate the proposed model.