

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ГОРНЫХ РАЗРАБОТОК НА ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ ОБСТАНОВКУ

Цзян Чэнь

*Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь,
sweenei1j@gmail.com*

Экологический мониторинг горнодобывающих районов является необходимым условием для охраны окружающей среды. Технология дистанционного зондирования широко используется для определения экологического состояния горнодобывающих районов, а исследовательские приложения в области экологического мониторинга горнодобывающих районов сводятся к определению типов поверхности в горнодобывающих районах, инверсии и мониторингу параметров растительности в горнодобывающих районах.

Ключевые слова: горные экосистемы; мониторинг с помощью дистанционного зондирования; экосистемы.

Введение. На протяжении многих лет добыча рудной энергии вызвала различные повреждения и воздействия на экологическую среду районов добычи, в основном включающие: оседание поверхности, разрушение земель, деградацию растительности, ухудшение состояния почвы, загрязнение воды и другие проблемы [1]. Для устойчивого экологического развития горнодобывающей промышленности большое значение имеет изучение влияния процесса добычи на окружающую среду. Общие разведанные запасы калийных солей в Беларуси составляют 1,29 млрд тонн, что составляет около 10 % мировых запасов калийных солей и является третьим по величине показателем в мире. В то же время Беларусь является вторым в мире экспортером калийных удобрений, поэтому экологически безопасная добыча калийных ресурсов играет важную роль в экономической стабильности Беларуси.

Технология дистанционного зондирования постепенно вытесняет ручные полевые пробы и картографирование. Интенсивная добыча полезных ископаемых на большинстве рудников, продолжающаяся десятилетиями, в сочетании с большими площадями добычи, требует, чтобы данные экологического зондирования отвечали требованиям больших площадей, длительных периодов времени, высокого пространственного разрешения и скорректированного временного разрешения. Технология дистанционного зондирования зародилась в 1970-х гг. Благодаря исследованиям и развитию технологии дистанционного зондирования, пространственное и

временное разрешение данных дистанционного зондирования постоянно улучшалось после многих лет непрерывного сбора данных о поверхности Земли различными спутниками наблюдения Земли, в результате чего была создана огромная база данных. Это стало важным инструментом для мониторинга и оценки состояния окружающей среды в районах добычи полезных ископаемых [2].

Классификацию элементов поверхности в горнодобывающих районах можно разделить на две части: общие типы общих элементов поверхности и типы элементов поверхности, характерные для горнодобывающих районов.

Таблица 1

Определение характерных типов поверхности в районе добычи

Типология	Источники данных	Разрешение, м	Методы идентификации	Точность %.	Библиография
карьер	Landsat 4/5/7/8	30	Классификация с помощью дерева решений, классификация с помощью аффинной функции	82.00-97.07 %	[3]
	Sentinel-2A, SPOT 2	10	Глубокая конволюционная нейронная сеть	96.14-98.74 %	[4]
концентратор (сетевое оборудование)	Landsat 5/8	30	Классификация по функции близости	73.91 %	[5]
куча твердых отходов	Landsat 5/7/8	30	Классификация с помощью дерева решений, классификация с помощью аффинной функции	60.87-97.07 %	[6]
строительство шахты	GF-1/2	1-2	Визуальная интерпретация, классификация с помощью дерева решений	99.97 %	[7]
	Sentinel-2	10	Глубокая конволюционная нейронная сеть	97.25 %	[4]
куча руды	Landsat 8	30	Классификация на основе экспоненциального метода	90.97 %	[10]
	WorldView-2	0.5	Классификация с помощью дерева решений	93.25 %	[8]
область оседания	GF-1/2	1-2	Визуальная интерпретация	98.00 %	[9][11]

1. Поверхностные карьеры, идентификация поверхностных районов добычи является более популярным направлением исследований в идентификации элементов шахт.

2. Транзитная площадка, точность идентификации элементов транзитной площадки по данным Landsat достигает 73,91 %.

3. Кучи твердых отходов, наивысшая точность идентификации твердых отходов в шахте по данным Landsat достигает 97,07 %.

4. При построении шахт обычно используется визуальная интерпретация и классификация с помощью дерева решений.

5. Шахтная свая, метровые и субметровые изображения дистанционного зондирования высокого разрешения и изображения дистанционного зондирования с разрешением 30 м могут эффективно идентифицировать ее.

6. Зоны оседания, где поверхность в той или иной степени проседает после завершения подземной добычи. Данные оптического дистанционного зондирования не чувствительны к проседанию поверхности, поэтому ученые в основном используют данные радиолокационного дистанционного зондирования для изучения проседания поверхности [9].

Существует три основных метода распознавания признаков поверхности шахты: визуальная интерпретация изображений дистанционного зондирования, традиционные методы классификации под наблюдением (классификация по принципу максимального правдоподобия, классификация с помощью дерева решений, классификация с помощью машины опорных векторов и т. д.) и методы глубокого обучения. В последние годы глубокое обучение применяется для распознавания типов признаков поверхности шахты. Показатели растительности могут косвенно отражать степень деградации почвы, параметры элементов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Основные исследования по количественному дистанционному зондированию для мониторинга растительности в горнодобывающей зоне

Параметры	Номер	Разрешение/м	Методологии	Точность	Период-ть и частота	Источник
Индекс растительности	Landsat 5/7/8	500 м, 30 м	NDVI	-	34 года, 34 раза	[12]
Растительный покров	Landsat 5/8	30 м	Линейные модели спектрального смещения	R^2 0.986 2, RMSE 0.041 8	24 года, 5 раз	[13]
Тип растительности	WorldView-2/3	2/1.2 м	Модель машинного обучения	79.31-91.60 %	1 раз	[14]
Содержание хлорофилла в растительности	Наземные спектральные измерения	-	Частичные наименьшие квадраты, метод нейронных сетей	R^2 0.835-0.982	1 раз	[15]
	Дистанционное зондирование с помощью БПЛА	13 см	Статистическая регрессионная модель	83.4 %	1 раз	[16]

Окончание табл.2

Параметры	Номер	Разрешение/м	Методологии	Точность	Период-ть и частота	Источник
Содержание тяжелых металлов	Наземные спектральные измерения	-	Статистические регрессионные модели, нейронные сети	R^2 0.01-0.99	1 раз	[17]
Чистая первичная продуктивность	GF-1	2.1 м	CASA моделирование	-	1 раз	[18]
Индекс площади листьев (LAI)	Снимки дистанционного зондирования с беспилотников	-	Статистическое моделирование на основе вегетационных индексов	RMSE < 0.2	1 раз	[19]
Биомасса	WorldView-2/3	0.5-2.0 м	Характерные параметры и регрессионное моделирование биомассы	53.22 - 74.64 %	8 лет, 8 раз	[20]

1. Мониторинг индекса растительности в горнодобывающих районах с помощью дистанционного зондирования

Индекс растительности – это показатель, полученный в результате комбинации различных полос данных дистанционного зондирования, наиболее часто используемый нормализованный индекс NDVI, величина которого является нейтральным отображением состояния растительности целевой территории, на которую влияет множество факторов.

2. Фракционный растительный покров (FVC) – это доля растительности в каждом пикселе изображения дистанционного зондирования к общей площади всего пикселя, численный размер FVC напрямую отражает долю растительности на целевой территории, что является ключевым показателем для экологического мониторинга окружающей среды в районе добычи.

3. Тип растительности, на который влияет различное качество почвы, качество воды, питательных веществ и другие факторы в районе добычи. Мониторинг типов растительности осуществляется с помощью изображений высокого пространственного разрешения и данных гиперспектральных изображений, при этом в основном используются данные высокого разрешения метрового уровня WorldView-2 и WorldView-3, что позволяет достичь высокой точности распознавания.

4. Содержание хлорофилла в растительности, для чего обычно используются данные наземных спектральных измерений и данные спектрального дистанционного зондирования с беспилотного летательного аппарата.

5. Содержание тяжелых металлов, исследования в области дистанционного зондирования все еще находятся в зачаточном состоянии.

6. Чистая первичная продуктивность растительности – это масса органического вещества, накопленного на единицу площади зеленой растительности в единицу времени. Этот показатель может в определенной степени отражать экосистемную функцию горнодобывающего района.

7. Индекс площади листьев LAI (Leaf Area Index) определяется как половина перехваченной площади листьев на единицу площади поверхности листьев.

8. Биомасса растительности определяется как общий вес (сухой вес) органического вещества растительности на единицу площади. Этот показатель отражает влияние горнодобывающей деятельности на экологическую среду и является важным параметром для восстановления экологической среды в горнодобывающих районах.

Заключение. Дистанционное зондирование является одним из важных средств мониторинга экологической среды в горнодобывающих районах. Анализируется ход исследований в области дистанционного мониторинга экологической среды в горнодобывающих районах с точки зрения идентификации и классификации элементов поверхности в горнодобывающих районах и дистанционного мониторинга элементов растительности в горнодобывающих районах. Уделяется внимание обобщению и заключению данных дистанционного зондирования и пространственного разрешения, используемых для идентификации элементов поверхности в горнодобывающих районах.

Библиографические ссылки

1. Wang Yunjia Research progress and prospect on ecological disturbance monitoring in mining area // Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2017. № 46 (10). P. 1705-1716.

2. Multi-source remote sensing technology for monitoring safety and environment in mine / Liu Shanjun [et al.] // Geomatics and Spatial Information Technology, 2015. № 38 (10). P. 98-100.

3. Detecting decadal land cover changes in mining regions based on satellite remotely sensed imagery: a case study of the stone mining area in Luoyuan County, SE China / Z. M. Zhang [et al.] // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2015. № 81 (9). P. 745-751.

4. A sentinel-2 based multispectral convolutional neural network for detecting artisanal small-scale mining in Ghana: applying deep learning to shallow mining / J. Gallwey [et al.] // Remote Sensing of Environment, 2020. № 248. P. 111970.

5. *Lf Min* Information Extraction and Dynamic Monitoring of Openpit Mining Area Based on Remote Sensing Technology . Tangshan: North China University of Science and Technology, 2020.

6. *Mezned N., Dkhala B., Abdeljaouad S.* Multitemporal and multisensory Landsat ETM+ and OLI 8 data for mine waste change detection in Northern Tunisia // *Journal of Spatial Science*, 2018. № 63 (1). P. 135-153.

7. *Liu Li, Gao Junhua, Yu Deqing* Monitoring and analysis of mine land occupation in Hunan Province based on remote sensing // *Geospatial Information*, 2019. № 17 (1). P. 41-46.

8. Typical surface features extraction in mining area based on data Of Lidar and WorldView-2/ *Lu Yao [et al.]* // *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2015. № 12. P. 57-59.

9. Analysis of distribution and rehabilitation status of mining destroys land and existing problems in China / *Yang Jinzhong [et al.]* // *Earth Science Frontiers*, 2021. № 28 (4). P. 83-89.

10. Coal mine area monitoring method by machine learning and multispectral remote sensing images / *He D K [et al.]* // *Infrared Physics & Technology*, 2019 № 103. P. 103070.

11. *Zhang Zhiliang, Zeng Qiming, Yang Ligong* Мониторинг деформации поверхности в районах добычи полезных ископаемых с помощью адаптивного метода DS-InSAR, включающего типы почвенно-растительного покрова // *Журнал Пекинского университета (естественнонаучное издание)*, 2024. № 60 (2). P. 265-276.

12. *Zhang Miaolin* Change Detection of Vegetation in Mining Area on Spatiotemporal Fusion Data: Taking Ningdong Coal Base As an Example. Beijing: China University of Geosciences-Beijing, 2019.

13. *Li Hengkai, Lei Jun, Yang Liu* Extraction of vegetation coverage and analysis of landscape pattern in rare earth mining area based on Landsat image // *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016. № 32 (10). P. 267-276.

14. *Wang Nan, Wang Guisheng, Zhang Zhen* Monitoring of waterlogging stress disaster of ecological restoration forest using high resolution remote sensing data in the Datong abandoned coal mine // *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2018. № 7. P. 13-17, 47.

15. Spectral characteristics of reclaimed vegetation in a rare earth mine and analysis of its correlation with the chlorophyll content / *Li H [et al.]* // *Journal of Applied Spectroscopy*, 2020. № 87 (3). P. 553-562.

16. Identify maize chlorophyllII impacted by coal mining subsidence in high groundwater table area based on UAV remote sensing / *Xiao Wu [et al.]* // *Journal of China Coal Society*, 2019. № 44 (1). P. 295-306.

17. *Wei Zhi'* An Study on Estimation of Chlorophyll Content of Reclaimed Vegetation Leaf in Rare Earth Mining Area Based on Hyperspectral Data. Ganzhou: Jiangxi University of Science and Technology, 2020.

18. The application of Chinese GF-1 satellite high resolution in monitoring the semi-arid grassland for large surface mining area / *Zhao Feifei [et al.]* // *Geomatics & Spatial Information Technology*, 2015. № 38 (8). P. 108-110.

19. *Lu Jie* Monitoring of Vegetation and Soil Erosion in Dump Slope Based on UAV Remote Sensing Technology. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2018.

20. Study on biomass inversion method of reclaimed vegetation in prairie mining area based on Worldview-3 and Sentinel-1 SAR data / *Liu Yanhui [et al.]* // *Earth Science Frontiers*, 2021. № 28 (4). P. 219-228.