## МОНИТОРИНГ ЗЕЛЕНЫХ НАСАЖДЕНИЙ НА ЗЕМЛЯХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ В УСЛОВИЯХ РЕКРЕАЦИОННОЙ И ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

## Березина О.А.<sup>1</sup>, Максимович Н.Г.<sup>2</sup>, Шихов А.Н.<sup>1</sup>

## ДЕГРАДАЦИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО И ПОЧВЕННОГО ПОКРОВОВ НА ТЕРРИТОРИИ ЛИКВИДИРОВАННОГО КИЗЕЛОВСКОГО УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», г. Пермь, Российская Федерация, berezina\_olga@psu.ru, and3131@inbox.ru
<sup>2</sup> «Естественнонаучный институт» ФГБОУ ВО «Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь, Российская Федерация, nmax@psu.ru

The article describes the possibility of application of multi-temporal Landsat and Sentinel-2 images for environmental monitoring and assessment in coal mining areas. The study area is abandoned Kizel coal basin, which is located in the Perm region, Russia. The last 20 years, the acid mine drainage (AMD) and mine tailings leachate causes an extreme contamination of ecosystem with iron, aluminium and heavy metals. Some areas (around 20 ha) was outlined of degraded soil and vegetation cover from high-resolution images. The largest areas of degraded soil and vegetation appeared in 2006–2010 and associated with the change of AMD regime.

Добыча угля в Кизеловском бассейне, расположенном на востоке Пермского края, велась с 1796 г. в основном подземным способом. Глубина разработок колебалась от 220 до 1200 м. Водопритоки в крупных и глубоких шахтах иногда достигали 2000 м<sup>3</sup>/ч; на 1 т добываемого угля приходилось около 7 м<sup>3</sup> откачиваемой воды [1]. В настоящее время добыча угля прекращена, ликвидация всех шахт осуществлялась методом полного затопления [2].

После восстановления естественного уровня подземных вод сформировался самопроизвольный выход вод техногенного комплекса на земную поверхность, в химическом составе вод сформировавшихся изливов обнаруживается железо, алюминий, марганец, бериллий и др., в сотни и тысячи раз превышающее ПДК<sub>хп</sub> при pH 2–3. Вклад в ухудшение экологической ситуации вносят также **породные отвалы**, объем лишь учтённых составляет более 21 000 тыс.м<sup>3</sup>. Стоки, образующиеся в результате взаимодействия атмосферных осадков с горными породами отвала, по химическому составу близки к шахтным водам, встречаются превышения по железу до 6000 ПДК<sub>хп</sub>, алюминию – до 11000 ПДК<sub>хп</sub>, марганцу – до 880 ПДК<sub>хп</sub>, показатель pH – стабильно менее 3. Так же существуют выходы вод на поверхность ввиде загрязнённых родников. Всё это представляет угрозу для окружающей среды и оказывает негативное влияние на почвенный и растительный покров [3, 4, 5, 6].

В ходе данного исследования на основе многолетнего ряда спутниковых снимков решалась задача – выявления деградированных вследствие загрязнения участков растительного покрова (с установлением времени их появления). Для этого были получены спутниковые снимки Landsat TM, ETM+ и OLI (за 1987–2017 гг.), а также Sentinel-2 MSI (за 2016–2017 годы). Отбор снимков производился по критериям минимальной облачности, отсутствия дымки, также были отбракованы снимки за период прохождения весеннего половодья на исследуемых реках.

Для выделения участков деградации растительного покрова, происходящей вблизи мест выхода на поверхность шахтных вод (изливов и родников) и породных отвалов, а также по берегам наиболее загрязненных рек использованы как многолетние данные Landsat за 1987– 2017 гг., так и снимки сверхвысокого разрешения с открытого картографического сервиса ESRI ArcGIS World Imagery. Инвентаризация деградированных участков проведена путем визуального дешифрирования снимков сверхвысокого разрешения. Оценка периода начала деградации, а также ее динамики получена по снимкам Landsat и рассчитанным на их основе значениям индекса SWVI [7]:

$$SWVI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$
(1),

где *NIR* – КСЯ в ближнем ИК канале (для данных Landsat-5 TM – от 0,76 до 0,90 мкм), *SWIR* – КСЯ в среднем ИК канале (для данных Landsat-5 TM – от 1,55 до 1,75 мкм).





**а**, **б**) – разность вегетационного индекса SWVI, рассчитанная по снимкам Landsat-5 за 16.07.2006 и 20.07.2010; в, г) – фрагменты высокодетальных снимков тех же участков

Индекс SWVI является оптимальным для выявления большинства видов нарушения растительного покрова. На участках, где происходит гибель растительности и появляется открытый грунт, индекс резко снижается, что обусловлено значительным ростом КСЯ в средней ИК зоне спектра и некоторым снижением – в ближней ИК [8].

По результатам визуального дешифрирования снимков сверхвысокого разрешения, на исследуемой территории выделено 17 участков деградации почвенно-растительного покрова вследствие загрязнения кислыми шахтными водами на общей площади 20 га. Наиболее крупные из них расположены в карстовом суходоле Ладейном логу южнее г. Губаха (рисунок 1-в) и в районе слияния рек Бол. Кизел и Вост. Кизел (рисунок 1-г).

Процесс деградации на рассматриваемых участках начался с 2007 г. в связи с появлением нескольких новых источников выхода кислыми шахтными водами в виде родников. Это подтверждается и по снимкам Landsat, поскольку снижение индекса SWVI на деградированных участках также отмечается с 2007 г. После 2010 г. рост площади деградированных земель по снимкам Landsat не прослеживается. Однако по данным наземных обследований, проведенных Уральским центром социально-экологического мониторинга углепромышленных территорий, процесс деградации земель продолжался до 2012–2013 гг.

На рисунках 1-а и 1-б показаны значения разности индекса SWVI, вычисленные по снимкам Landsat-5 за 2006 и 2010 гг. Участкам деградированных земель соответствуют максимальные значения разности SWVI (от 0,2 и более). Такие же значения, однако, характерны и для сплошных вырубок, которые ведутся на изучаемой территории. Таким образом, индекс SWVI не позволяет отделить участки нарушения лесного покрова вследствие загрязнения почвы шахтными водами от других видов нарушений.

Таким образом, по многолетнему ряду данных Landsat был определен период появления участков деградированных земель в долинах малых рек на территории КУБа. Установлено, что деградация произошла в период с 2006 по 2010 гг., но в настоящее время этот процесс приостановился.

Данный метод позволит оперативно определять масштабы и изменение во времени деградации почвенного и растительного покровов, что необходимо для разработки мероприятий по реабилитации территорий с высокой техногенной нагрузкой и может широко использоваться на других объектах.

Исследование проведено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-45-590793 р\_а).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Геология угольных месторождений СССР/ под ред. М.К. Матвеева. М.: Изд-во МГУ, 1990. 325 с.

2. Berezina O. A., Maksimovich N. G., Pyankov S. V. Hydroecological characteristic of coal-mining regions with crucial anthropogenic load (in the case study of the Yaiva river basin) // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – Vol. 107. 012001 DOI 10.1088/1755-1315/107/1/012001.

3. Petty J. T., and J. Barker. Water quality variability in tributaries of the Cheat River, a mined Appalachian watershed// Proceedings of the American Society of Mining and Reclamation, 2004, 15, P. 1–21.

4. Tiwary R. K., Dhar B.B. Environmental pollution from coal mining activities in Damodar River Basin, India // Mine Water Environ, 1994, 13(3-4), P. 1–9.

5. RoyChowdury, A., Sarkar, D., Deng, Y. et al. Mine Water Environ (2017) 36: 248. https://doi.org/10.1007/s10230-016-0401-9.

6. Wright I.A., Paciuszkiewicz, K. & Belmer, N. Increased Water Pollution After Closure of Australia's Longest Operating Underground Coal Mine: a 13-Month Study of Mine Drainage, Water Chemistry and River Ecology Water// Air Soil Pollut, 2018, 229: 55. https://doi.org/10.1007/s11270-018-3718-0.

7. Hardisky M.A., Klemas V., Smart R.M. The influence of soil salinity, growth form, and leaf moisture on the spectral radiance of Spartina alterniflora canopies // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 1983. Vol. 49. P. 77–83.

8. Крылов А.М., Владимирова Н.А. Дистанционный мониторинг состояния лесов по данным космический съемки // Геоматика. 2011. № 3. С. 53–58.