

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ В СОЛИГОРСКОМ ГОРНОПРОМЫШЛЕННОМ РАЙОНЕ

Ч. Цзян, А. Н. Червань

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
2203030, Беларусь, email: sweeneij@gmail.com*

В данной работе было исследовано влияние горнодобывающей деятельности на окружающую среду площадью 8100 км² с помощью четырех вегетационных индексов. Объект исследования – Солигорский калийный горный район Минской области. Установлено, что среди девяти регионов вегетативные индексы региона Е, где расположен рудник, имеют самое низкое значение, в регионе G – самое высокое значение всех индексов, а регионы H и I имеют тенденцию к снижению по сравнению с индексами в регионе G, что связано с местным направлением ветра и большим количеством лесов на поверхности.

Ключевые слова: индекс растительности; горнодобывающая промышленность; Солигорск.

STUDY OF THE IMPACT OF MINING OPERATIONS ON THE ENVIRONMENT IN THE SOLIGORSK MINING DISTRICT

Ch. Jiang, A. N. Chervan

*Belarusian State University, 4, Nezalezhnosti Ave., 2203030, Belarus,
e-mail: sweeneij@gmail.com*

In this paper the impact of mining activities on the environment of an area of 8100 km² was investigated using four vegetation indexes. The object of the study is the Soligorsk potash mining district of Minsk region. It was found that among nine regions vegetation indices of region E, where the mine is located, have the lowest value, region G has the highest value of all indices, and regions H and I tend to decrease compared to the indices in region G, which is due to the local wind direction and a large number of forests on the surface.

Keywords: vegetation index; mining; Soligorsk.

Калийная промышленность является основой белорусской экономики, а Белорусская калийная корпорация «Беларуськалий» – одним из крупнейших мировых производителей калийных удобрений с годовым объемом производства 11,71 млн тонн в 2022 году, что составляет 17 % от общего мирового производства калийных удобрений и занимает 3 место в мире (USGS), и планами по увеличению производства до 15,9 млн тонн в 2025 году. По состоянию на 2015 год на долю предприятия приходилось 11 % налоговых поступлений

Минской области [1]. Устойчивая эксплуатация минеральных ресурсов имеет значительное влияние, в Китае также существует проблема ущерба окружающей среде, вызванного развитием горнодобывающей промышленности, поэтому более значимым является изучение влияния горнодобывающей промышленности на окружающую среду. В качестве центра в исследуемой области был взят Солигорский горнодобывающий район. Кроме того, в область исследования вошли прилегающие к нему участки территории протяженностью 30 км в каждую сторону, названные соответственно районами А-I, как показано на рисунке 1 ниже.

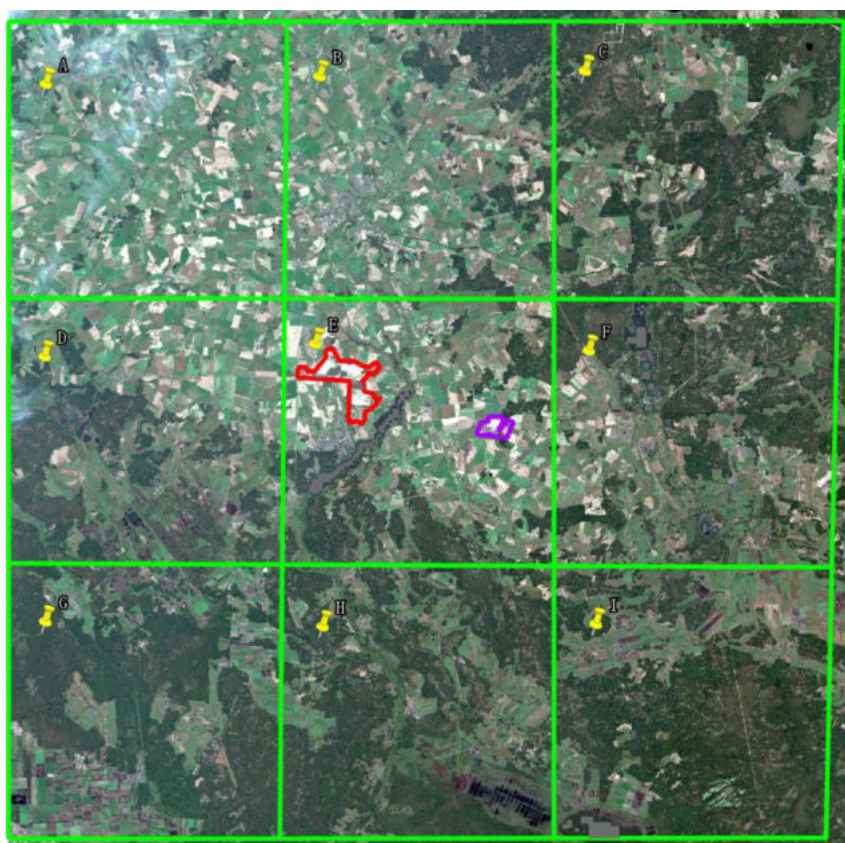


Рис. 1. Деление территории исследования

Для сравнения разницы каждого индекса между горнодобывающим районом Е и восемью окружающими районами, а также для оценки влияния горнодобывающей деятельности на окружающую среду были выбраны четыре общепринятых индекса растительности: NDVI, GNDVI (Зеленый нормализованный индекс растительности), SAVI, GCI (Индекс зеленого хлорофилла). Формулы и информация приведены в таблице ниже, где: NIR – отражение в ближнем инфракрасном диапазоне, Red – отражение в красном диапазоне, Blue – отражение в синем диапазоне, Green – отражение в зеленом диапазоне.

Индекс растительности и формула

Индекс	Формулы	Цитирование
GCI	$GCI = \frac{NIR}{Green} - 1$	Anatoly A. Gitelson et al. 2003 [2]
GNDVI	$GNDVI = \frac{NIR - Green}{NIR + Green}$	Li Fenling et al. 2015 [3]
NDVI	$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$	Wang Zhengxing et al. 2003 [4]
SAVI	$SAVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red + L} \times (1 + L) \quad L = 0.5$	Guo Yuchuan et al. 2011 [5]

Климатическая информация по Солигорскому горнопромышленному району была получена с сайта Climatic Data [6], вегетационный период в Солигорском районе в целом длится 5,6 месяца (170 дней) с 22 апреля по 9 октября. Одиннадцать наборов изображений снимков дистанционного зондирования Sentinel-2A с 19 марта 2023 г. по 30 сентября 2023 г. с разрешением 10 м были загружены с сайта Европейского космического агентства Copernicus (<https://www.copernicus.eu/en>). Индексы растительности были обработаны для получения данных об индексах растительности девяти исследуемых районов и усреднены для получения вариации индексов данных исследуемых районов в различные месяцы, исключая изображения дистанционного зондирования, которые были сняты в более облачную погоду, как показано на рисунке 2 ниже.

Анализ рисунка 2 показывает, что:

1. Индексы растительности NDVI и GNDVI демонстрируют практически одинаковую тенденцию из месяца в месяц, без существенных изменений в районах А, В, С и D. В районе Е, где расположены два калийных рудника, наблюдается значительное снижение индексов растительности NDVI и GNDVI. Анализ снимка дистанционного зондирования, сделанного 19 марта, то есть ранней весной, показал, что в районах А, В и Е в основном находятся возделанные поля или городские районы. Примерно половина территории в области D – это возделанные поля, а другая половина – леса, причем возделанные поля в это время еще не проросли и находятся в состоянии голой почвы, поэтому индекс растительности в этих районах ниже.

2. Индекс растительности SAVI имеет четкую впадину в районе Е и в районе С. Это связано с тем, что индекс SAVI более чувствителен к голой почве и имеет низкое значение в данных условиях. Отметим, что в регионе С голой почвы больше, чем в других регионах.

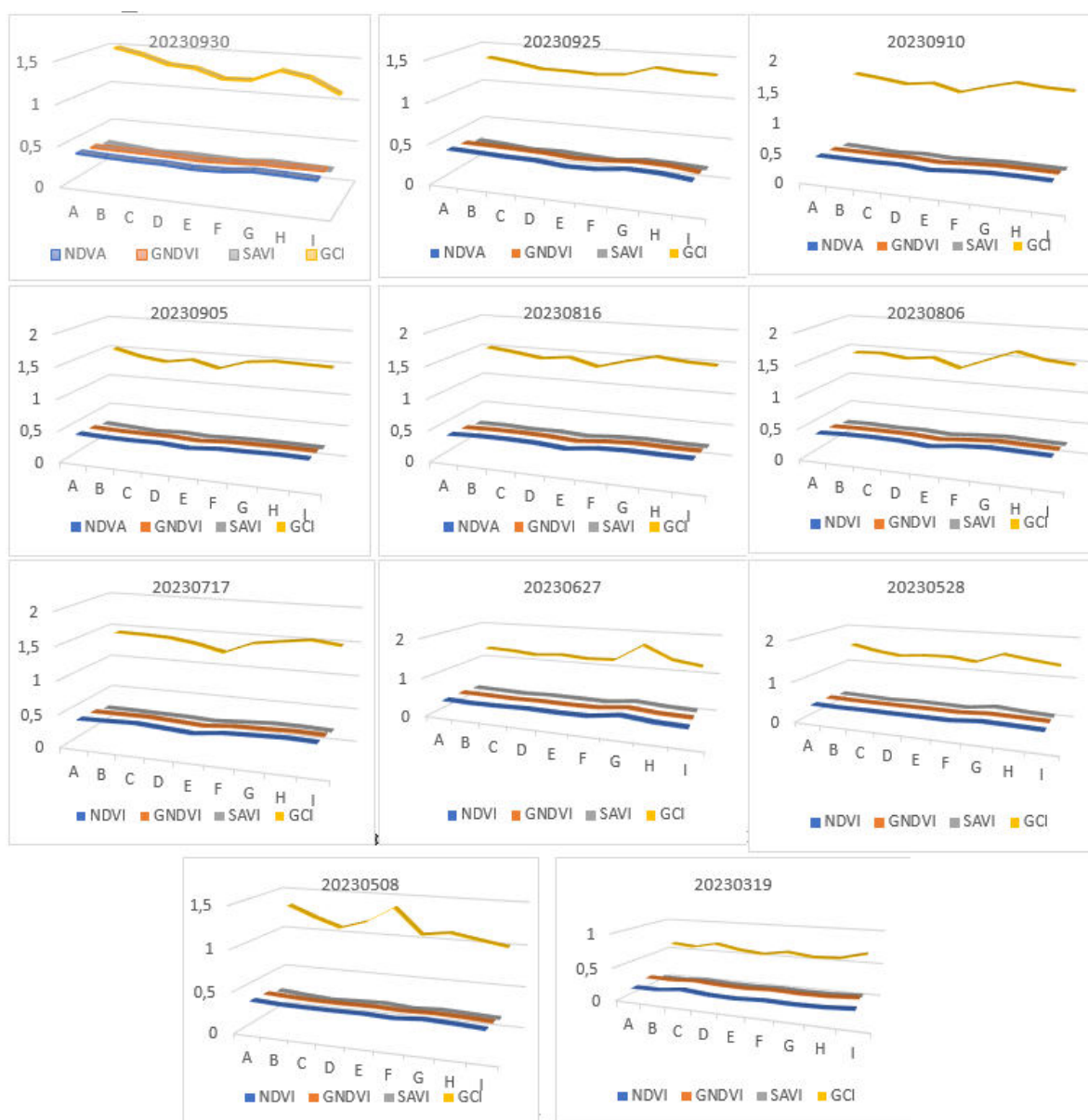


Рис. 2. Изменения индексов в девяти регионах исследования А-І в разные месяцы

3. NDVI, GNDVI и SAVI – это натурализованные индексы с диапазоном значений $[-1, 1]$, которые демонстрируют довольно схожие тенденции на изображениях. GCI (Green Chlorophyll Index) – это хлорофилловый индекс растительности, который обычно не имеет фиксированных верхних и нижних границ, поскольку он основан на расчете коэффициента отражения, и его значение зависит от состояния растительности, содержания хлорофилла и коррекции данных изображения. Однако значение индекса GCI для большинства здоровой растительности обычно выше 0 и может варьироваться до нескольких десятков. Поэтому значения индекса GCI явно отличаются от трех других индексов.

Анализ данных одного и того же вегетационного индекса в разное время представлен на рисунке 3 ниже, из которого видно, что:

1. В центральной части горнодобывающего района Е все вегетационные индексы показывают значительное снижение. Тенденция изменения значений различных индексов в одно и то же время в основном одинакова.

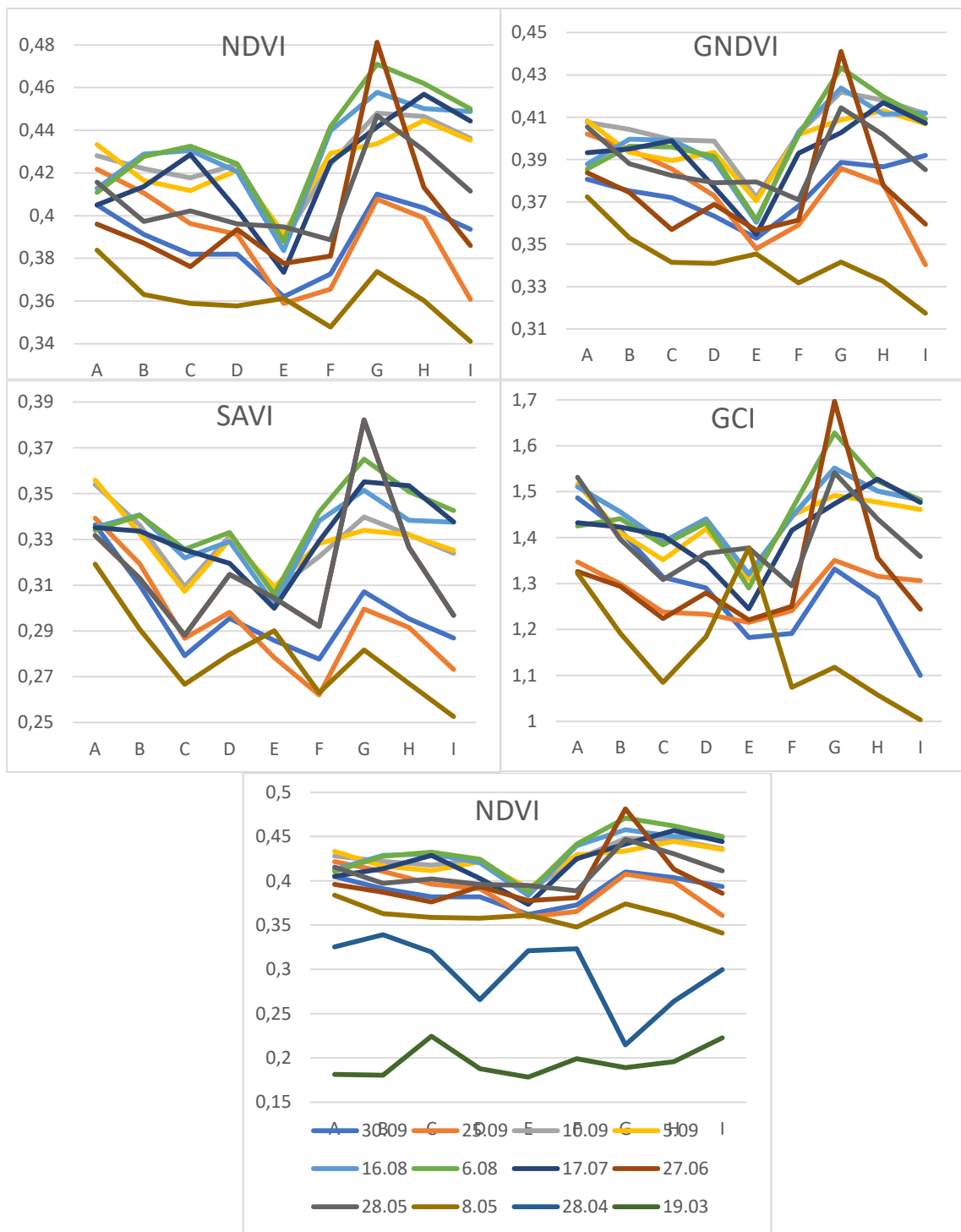


Рис. 3. Изменение вегетационного индекса по временным рядам на исследуемой территории А-І

2. Область G – это область с самым высоким значением каждого индекса, и визуально видно, что в области G больше лесов, чем в других областях.

3. В регионе H и регионе I наблюдается значительное снижение различных индексов по сравнению с регионом G. Регионы H и I имеют самые высокие значения различных индексов. По визуальной интерпретации в этих трех регионах также больше лесов, но в регионе G меньше болот, чем в регионах H и I. Влияние водных объектов на индекс растительности будет отражено в более низких значениях.

4. В регионе F более низкий индекс NDVI наблюдается 25 и 30 сентября, в это же время отмечается самый низкий индекс SAVI, а также более низкие значения индекса GCI.

5. После изучения данных климатического сайта, было установлено, что в Солигорском районе 37% потоков ветра приходит с юга, 32% – с севера и 38% – с запада. Таким образом, можно заключить, что на более низкий индекс растительности в регионе F и регионе I влияет ветер, а твердые отходы шахты, пыль и жидкие отходы оказывают большее влияние на восточную и юго-восточную стороны шахты.

6. Вегетационный индекс в целом показывает общий рост растительности, что более очевидно отражено на пятом графике. Данные 19 марта отражают ситуацию в ранний весенний период, во время которого культуры еще не проросли, поэтому индекс вегетации низкий. Однако 28 апреля индекс NDVI продолжает расти. Затем до 8 мая темпы роста начинают замедляться, но в целом по-прежнему наблюдается тенденция роста, что согласуется с информацией о физическом климате Солигорского района.

Для дальнейшего анализа влияния индекса растительности на различные элементы поверхности приведенные элементы поверхности были классифицированы на восемь частей, а именно: населенные пункты, кустарники, леса, луга, озера и реки, рощи, сельскохозяйственные земли и сады. В соответствии с классификацией элементов поверхности была подсчитана процентная доля пикселей каждого элемента на исследуемой территории Солигорска, статистика представлена ниже на рис. 4.

Анализ рисунка показывает, что в 30-километровой зоне, центром которой является Солигорский рудник, 82,29% площади района A в левом верхнем углу рудника составляют пашни, 1,24% – сады, подавляющее большинство – земли для сельскохозяйственных культур, и только 2,75% – леса, поэтому индекс растительности на площади A определяется в основном сельскохозяйственными культурами.



Рис. 4. Процентное соотношение элементов поверхности в различных районах исследования

В регионах В, D и E соотношение элементов поверхности схожее: почти 3/4 площади занимают сельскохозяйственные культуры, а 12,2–23,42 % – леса. В регионах С, G, H и I доля лесов и другой естественной растительности составляет около 60 %, а пахотных земель – около 30 %. В регионе F около 50 % приходится на пахотные земли и 45 % – на естественную растительность. В результате исследования определено, что общая ситуация в исследованной области выглядит следующим образом: на северо-западе в основном преобладают пахотные земли, а на юго-востоке – около 50 % естественной растительности.

В качестве поля для будущих исследований планируется дальнейший анализ изменений различных вегетационных индексов в разных регионах для каждого элемента поверхности в разное время в соответствии с классифика-

цией элемента поверхности. При этом временным периодом могут быть изменения вегетационных индексов в разные месяцы данного года или изменения вегетационных индексов в одни и те же месяцы за последние десять лет.

Библиографические ссылки

1. *Zhang Y.* Endowment of Potash Resources and Analysis of Investment Environment in Belarus // *Northwest Geology*. 2022. Vol. 55, iss. 3. P. 306–317.
2. *Gitelson A. A., Gritz Y., Merzlyak M. N.* Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves // *Journal of Plant Physiology*. 2003. Vol. 160, iss. 3. P. 271–282.
3. *Li Fenling, Wang Li, Liu Jing.* Remote Sensing Estimation of SPAD Value for Wheat Leaf Based on GF-1 Data // *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*. 2015. Vol. 46, iss. 9. P. 273–281. doi: 10.6041/j.issn.1000-1298.2015.09.040.
4. *Wang Zh., Liu Ch., Huete A.* Progress in Vegetation Index Research : From AVHRR-NDVI to MODIS-EVI // *Acta Ecologica Sinica*. 2003. Vol. 23, iss. 5. P. 979–987.
5. *Guo Y., He Y., Li X.* Vegetation coverage inversion and vegetation index optimization in arid areas based on MODIS // *Remote Sensing of Land and Resources*. 2011. Vol. 2. P. 115–118.
6. Climatic Data [Electronic resource]. URL: <https://ru.weatherspark.com/y/95110> (date of access: 17.11.2024).