ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2022;(11):109-120
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 629.785.634.92 DOI: 10.25018/0236_1493_2022_11_0_109

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА ОЦЕНКИ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ УГОЛЬНОГО РАЗРЕЗА НА ВЕГЕТАЦИОННУЮ АКТИВНОСТЬ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА

П.П. Маневич[1], К.С. Коликов[1]

[1] НИТУ «МИСиС», Москва, Россия, e-mail: manevich.polina@gmail.com

Аннотация: Угольные разрезы оказывают значительное влияние на окружающую природную среду, в том числе нарушая и загрязняя площади природных и сельскохозяйственных земель. Загрязнение территорий в пределах горного отвода, санитарно-защитной зоны и прилегающих территорий приводит к нарушению продуктивности растений в период вегетации. В связи с принятым законодательством, разработка и применение методов оценки степени самовосстановления земель, подвергшихся воздействию открытых горных работ, имеет важнейшее значение для увеличения темпов и объемов рекультивации на территории Российской Федерации. Представлена оценка состояния растительного покрова на примере Талдинского угольного месторождения. Для количественной оценки антропогенного воздействия угольного разреза были проанализированы временные ряды вегетационного индекса NDVI за период 2010–2021 гг. для изучаемой территории. Были использованы спутниковые данные спутниковой миссии MODIS, для вычислений использовалась платформа Google Earth Engine. Детальное сопоставление временного хода NDVI для выбранных участков показало, что растительный покров около разреза в среднем имеет более низкие (от 0,08 до 0,12) значения индекса в условных «естественных природных» условиях. Данный подход может быть использован и для других вегетационных индексов. Он позволяет оценить степень антропогенного воздействия угольного разреза на растительный покров для конкретных физико-географических условий.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, угольные разрезы, открытые горные работы, NDVI, продуктивность растений, НВОС, вегетационный индекс, антропогенное воздействие, экологический мониторинг

Для цитирования: *Маневич П. П., Коликов К. С.* Обоснование метода оценки негативного воздействия угольного разреза на вегетационную активность растительного покрова по данным дистанционного зондирования Земли из космоса // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 11. – С. 109–120. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_11_0_109.

Justification of assessment method of adverse impact exerted by open pit coal mine on green cover vegetation activity using Earth Remote Sensing data

P.P. Manevich[1], K.S. Kolikov[1]

[1] National University of Science and Technology «MISiS», Moscow, Russia,
e-mail: manevich.polina@gmail.com

© П.П. Маневич, К.С. Коликов. 2022.

Abstract: Open pit coal mines induce a significant environmental impact, as well as the natural and agricultural land disturbance and pollution. The land pollution within the limits of a mining lease, a sanitary protection zone and an adjacent area violates productivity of plants in the period of vegetation. In view of the effective legislation, development and application of the methods to assess self-regeneration of the open pit mining-disturbed land is of the highest concern in enhancement of size and rates of reclamation activity in the Russian Federation. This article describes the vegetation state assessment as a case-study of Talda coal field. For the quantitative assessment of the anthropogenic impact of the open pit coal mine, the time series of NDVI in the test area were analyzed over the period of 2010–2021. The calculations used MODIS data and Google Earth Engine. The detailed comparison between NDVI timing codes shows that the green cover in the neighborhood of the open pit has averagely lower values of NDVI (from 0.08 to 0.12) than this index has in the conventionally natural conditions. This approach can be used with the other vegetation indices. It allows assessment of the anthropogenic impact of open pit mines on the green cover in specific physical-geographic conditions.

Key words: Earth Remote Sensing, open pit coal mines, open pit mining, NDVI, vegetation productivity, Environmental Impact Index, vegetation index, anthropogenic impact, environmental monitoring.

For citation: Manevich P. P., Kolikov K. S. Justification of assessment method of adverse impact exerted by open pit coal mine on green cover vegetation activity using Earth Remote Sensing data. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(11):109-120. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_11_0_109.

Введение

Угольные разрезы оказывают значительное влияние на окружающую природную среду, в том числе нарушая и загрязняя площади природных и сельскохозяйственных земель. Интенсивная разработка полезных ископаемых приводит к резкому росту загрязнения окружающей среды в пределах горного отвода, санитарно-защитных зон и прилегающих территорий, что, в первую очередь, негативно отражается на растительном и почвенном покрове. Это приводит к нарушению продуктивности растений в период вегетации. Проблема влияния открытых угольных разработок на экологическое состояние санитарно-защитных зон изучается на протяжении нескольких десятков лет [1 — 2].

В связи с принятым Постановление Правительства РФ от 10.07.2018 № 800 «О проведении рекультивации и консервации земель» и ГОСТ Р 57446-2017 «Наилучшие доступные технологии. Рекультивация нарушенных земель и земельных участков, восстановление биологического разнообразия», разработка и применение методов оценки степени самовосстановления земель, подвергшихся воздействию открытых горных работ имеет важнейшее значение для увеличения темпов и объемов рекультивации на территории Российской Федерации. Оперативный мониторинг с помощью дистанционного зондирования Земли может решить ряд экологических проблем и приоритетности вопросов. Оперативный мониторинг состояния окружающей среды в угледобывающих районах станет оптимальным технологическим решением, способствующим выработке решений по минимизации неблагоприятных воздействий на окружающую среду [1, 3].

Поверхности земель, нарушенных при открытой разработке угля, подвержены активному пылеобразованию и окислению, что в свою очередь приводит к загрязнению всех экосистем: воздуха, почвы, поверхностных и подземных вод. Антропогенное и техногенное воздействие напрямую влияет на численность, расположение и соотношение видов растений в сообществах, нарушая структуру и их флористический состав [4—5]. Миграция и перераспределение вредоносных элементов в растениях и почве зависит не только от интенсивности и характера техногенного воздействия, но также и от комплекса природно-климатических условий [6—7]. Таким образом, близлежащие территории в зоне открытой разработки угля со временем угнетаются из-за продолжительного влияния токсикантов, содержащихся в угольной пыли.

При попадании в верхние слои почвы, вредоносные элементы оказывают деструктивное воздействие на микробные процессы и ингибируют физиологический метаболизм растений, что существенно снижает количество и активность важных микроорганизмов в них [8—9]. Сниженная активность почвенных микроорганизмов вызывает морфологические нарушения в растительном покрове [10].

Помимо нарушений морфологических свойств растений, угледобывающее производство оказывает деструктивное воздействие на другие природные объекты и системы за счет нарушения рельефа, ухудшения гидрологической обстановки, изменения параметров стока за счет многих геохимических факторов, а также избыточного пылевого и шумового воздействий [11].

При помощи экологического мониторинга чрезвычайно важно отслеживать этапы изменения растительного покрова вблизи угольных разрезов, в частности недавно вступивших в эксплуатацию. Горнодобывающая промышленность должна быть интегрирована в естественные экосистемы таким образом, чтобы не нарушать условия сохранения биоразнообразия.

Нормативы и способы государственного, производственного и общественного экологического контроля выполнения работ не дают четких дифференциаций по реабилитации и освоению техногенных массивов и не предоставляют на сегодняшний день возможности оперативной оценки экологического состояния нарушенных земель. Оперативный экологический мониторинг должен осуществляться в четком соответствии с климатическими характеристиками региона, геологическими условиями разрабатываемого месторождения и природными особенностями ландшафта.

В условиях труднодоступности большинства территорий и малой плотности населения эти задачи довольно сложны. Благодаря развитию цифровых способов обработки данных, методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) стали одним из наилучших способов для решения этой проблемы. Развитие бортовой съемочной аппаратуры и обеспечение высокой периодичности съемки позволяют совершенствовать методы ДЗЗ для решения широкого спектра задач [12].

За счет включения пространственной компоненты и особого режима размещения, открытые данные ДЗЗ имеют широкую доступность. Они предоставляют широкий спектр информации, полученной из наблюдений с использованием электромагнитных излучений. В настоящее время изображения данных, полученных со спутников, широко используются для выявления пространственных и временных закономерностей в основных взаимосвязанных глобальных экологических системах [13, 14].

В настоящий момент активно развиваются методы экологического мониторинга окружающей среды на основе дистанционного зондирования Земли из космоса. Данный метод имеет ряд преимуществ. С помощью снимков из космоса можно получить наиболее точные и детальные изображения земной поверхности, что дает возможность для глубокого анализа территорий, густо покрытых лесными массивами. Также, благодаря регулярности съемок информация непрерывно обновляется, что дает возможность получения точной оценки в конкретный временной период.

Полученная информация может быть использована для разработки соответствующих стратегий по смягчению, адаптации и реагирования на негативные тенденции и приспособить программы производственного, экологического и общественного экологического контроля для решения множества глобальных экологических проблем.

Методы исследований и исходные данные

Талдинское каменноугольное месторождение расположено в центральной части Ерунаковского геолого-экономического района Кузбасса. Площадь участка недропользования составляет 25,62 км^2. Границы Талдинского месторождения определены в большей степени высокой угленосностью разреза по сравнению с окружающими площадями и геолого-тектонической обособленностью. Основными объектами рекультивации являются отвалы породы, которые на конец эксплуатации участка открытых горных

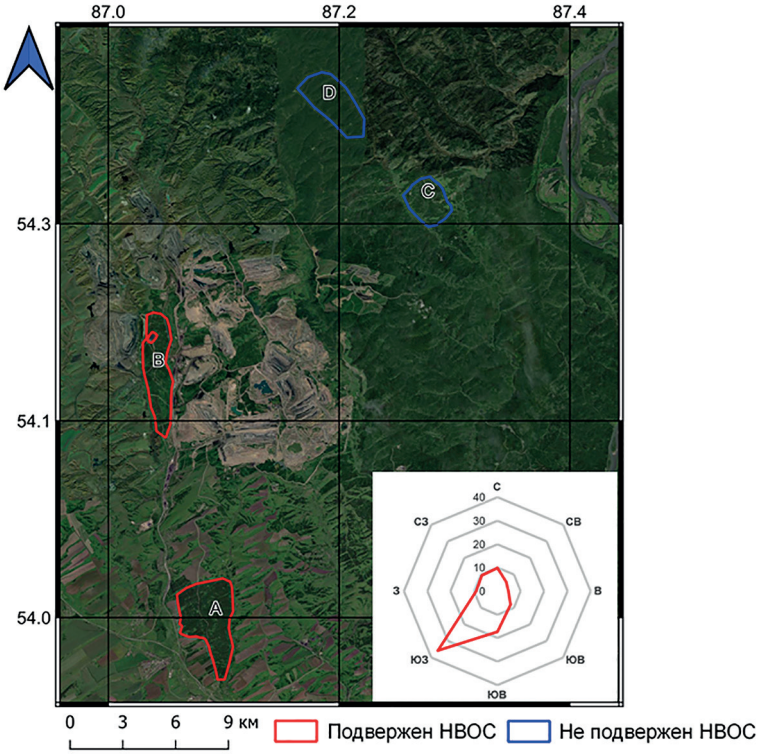

Рис. 1. Положение тестовых участков потенциально подверженных и не подверженных негативному воздействию Талдинского угольного месторождения

Fig. 1. Location of test sites potentially affected and not affected by the negative impact of the Talda coal deposit

работ занимают основную площадь. Филиал Талдинского угольного разреза входит в состав угольной компании «Кузбассразрезуголь» и осуществляет разработку Талдинского каменноугольного месторождения открытым способом. Участок недр расположен в пределах Новокузнецкого и Прокопьевского административных районов Кемеровской области.

Угленосная толща в границах лицензии сложена осадками грамотеинской и тайлуганской свит кольчугинской серии верхней перми. Осадки грамотеинской и тайлуганской свит перекрываются рыхлыми мел-палеоген-неоген-четвертичными отложениями. Из экзогенных процессов следует отметить осыпи, боковую и донную эрозию, плоскостной смыв [14]. Значительная часть ландшафта испытывает повышенную пылевую нагрузку от городов юга Кузбасса.

Экологические условия района определяются высокой техногенной промышленной нагрузкой на регион в целом. В округе находятся большое количество других действующих углеразрезов, ряд шахт, обогатительных предприятий и производственных предприятий. В связи с этим в районе наблюдаются высокие значения загрязнения воздуха, воды, а также почвы. Значительное понижение уровня подземных вод привело к осушению почв и деградации растительного покрова района. Естественный ландшафт трансформировался в антропогенный в результате масштабного ведения горных работ. Рельеф нарушен карьерами и отвалами, прилегающие территории испытывают сильную пылевую нагрузку [15].

При ведении открытых горных работ основное отрицательное влияние оказывается на земельные ресурсы, воздушный бассейн, поверхностные и подземные воды, растительный и животный мир. Это предопределяет значительную нагрузку на окружающую среду. Категория земель в выбранном объекте — населенные пункты для производственной деятельности. Как отмечено в «Проекте расширения разреза «Талдинский» филиала «УК «Кузбассразрезуголь» (пояснительная записка 4643П/01-ОВОС-Т, том 1) почвы подвержены многочисленным изменениям в процессе градостроительства и классифицируются как техногенно-трансформированные.

В рамках исследования антропогенного воздействия угольного разреза на прилегающий растительный покров были выбраны участки, находящиеся в одинаковых физико-географических условиях, но в различных условиях антропогенного воздействия (полигоны A, B, C, D на рис. 1). Учитывались условия высотного положения и местного рельефа, близости к водным объектам. Так же в каждой паре анализируемых участков выбирались идентичные классы растительного покрова [16]. Низкорослая растительность в полигонах B и C и древесная растительность в полигонах A и D. Таким образом стабилизировались природные факторы продуктивности растений. Для исследования антропогенного фактора полигоны A, B выбирались на наименьшем расстоянии от угольного разреза по направлению розы ветров (т.е. точно подвергающийся воздушному загрязнению и попадающий в радиус депрессионной воронки карьера), полигоны C, D выбирались в наименьшем направлении розы ветров и на расстоянии до 10 км от разреза.

Для количественной оценки антропогенного воздействия угольного разреза были проанализированы временные ряды вегетационного индекса *NDVI* за период 2010—2021 гг. для изучаемой территории. Возможность применения данного подхода впервые была представлена B. Gao в докладе «NDWI — A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water

from space» [21]. Нормализованный разностный вегетационный индекс растительности используется для решения задач, использующих количественные оценки растительного покрова. *NDVI* характеризует общий индекс здоровья растений простой зависимостью — чем выше индекс, тем в растении содержится больше хлорофилла и меньше мезофилла [17]. *NDVI* вычисляется как нормализированное соотношение разности и суммы инфракрасного и ближнего инфракрасного спектра [18]:

$$NDVI = (NIR - RED)/(NIR + RED) \quad (1)$$

Для каждого из тестовых участков A, B, C, D вычислялись суточные значения *NDVI* на период с мая по сентябрь (время наличия вегетации растений) во временном интервале с 2010 по 2021 гг. Значения вегетационного индекса усреднялись внутри полигона и заносились в ряд данных. Полученные временные ряды очищались от некондиционных данных (снимки высокой облачностью).

Были использованы спутниковые данные спутниковой миссии MODIS. Спутниковая миссия MODIS является частью комплексной программы NASA Earth Observing System [19]. Данная миссия нацелена на исследование всех основных сфер Земли — атмосферы, гидросферы и педосферы. За каждую из сфер отвечает соответствующий тип спутника — Terra, Aqua и Aura. На спутниках миссии MODIS установлен пассивный тип сенсора, с 36 спектральными каналами и 12-битными радиометрическим разрешением. Сенсоры MODIS позволяют выполнять съемку в видимом, ближнем, среднем и дальнем инфракрасных диапазонах с пространственным разрешением в 30 м на пиксель снимка [19].

Спутниковая миссия MODIS решает следующие задачи мониторинга Земли — исследование облачного покрова и загрязнения атмосферы, мониторинга аэрозолей; исследование температурного режима водных поверхностей и суши; исследование динамики фитопланктона в океане; выявление очагов лесных пожаров; мониторинг ледников и криолитозоны; мониторинг и оценка состояния земель; мониторинг природных и техногенных катастроф.

Для работы со спутниковыми данными была использована облачная онлайн-платформа Google Earth Engine (GEE) [20]. GEE является большой базой данных спутниковых миссий с возможностью облачной обработки данных на серверах Google. Именно это является главным достоинством этой платформы, т.к. делает ее независимой от мощности персонального компьютера и скорости интернет-соединения для скачивания данных.

Результаты

В результате расчетов были получены 4 графика временного хода *NDVI* для каждого из тестовых участков (рис. 2). На рис. 3 представлена линейная аппроксимация полученных наборов данных. Из рисунков видно, что участки, находящиеся под потенциально большим негативным воздействием горных работ (участки A и B) — имеют вегетационную активность ниже. Что в условиях идентичных природных факторов можно связать с антропогенным воздействием. Полигон A (рис. 1) расположен по направлению розы ветров в зоне, удаленной от зоны добычи. На участке прослеживается динамика сезонной изменчивости вегетации и улучшением состояния растительности с течением времени, несмотря на техногенную нагрузку (рис. 3). На полигоне B, расположенном в том же направлении, но находящемся в непосредственной близости к разрезу, так же прослеживается сезонная изменчивость, а значение индекса остается неизменным (рис. 3). Полигоны C и D расположены в зоне, находящейся над розой ветров,

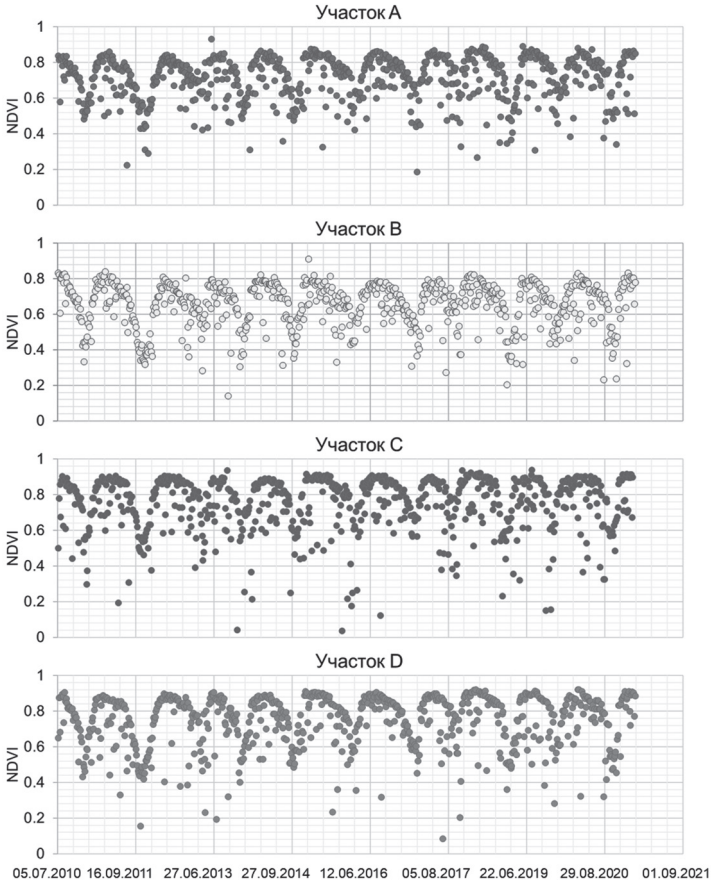

Рис. 2. Временной ход NDVI тестовых участков
Fig. 2. Time course of NDVI test sites

в наиболее удаленной от техногенно измененной территории местности. Из рис. 2 следует, что вегетация на данных участках сезонно варьируется, а значения индексов возрастают (рис. 3). Расположение полигонов относительно угольного разреза определяет ярко выраженную сезонную изменчивость растительного покрова. Вследствие физического и химического выветривания горных по-

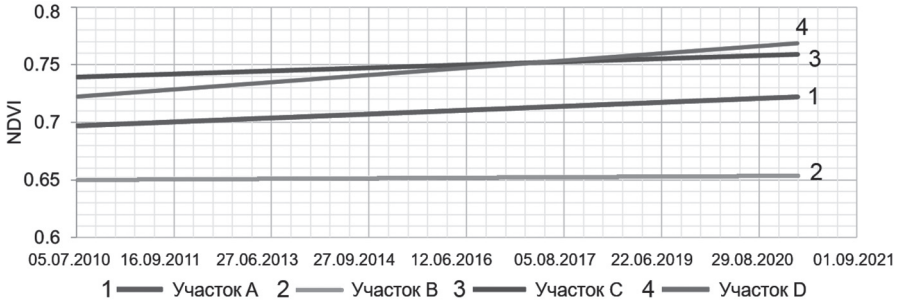

Рис. 3. Линейная аппроксимация временного хода NDVI тестовых участков
Fig. 3. Linear approximation of time course of NDVI test sites

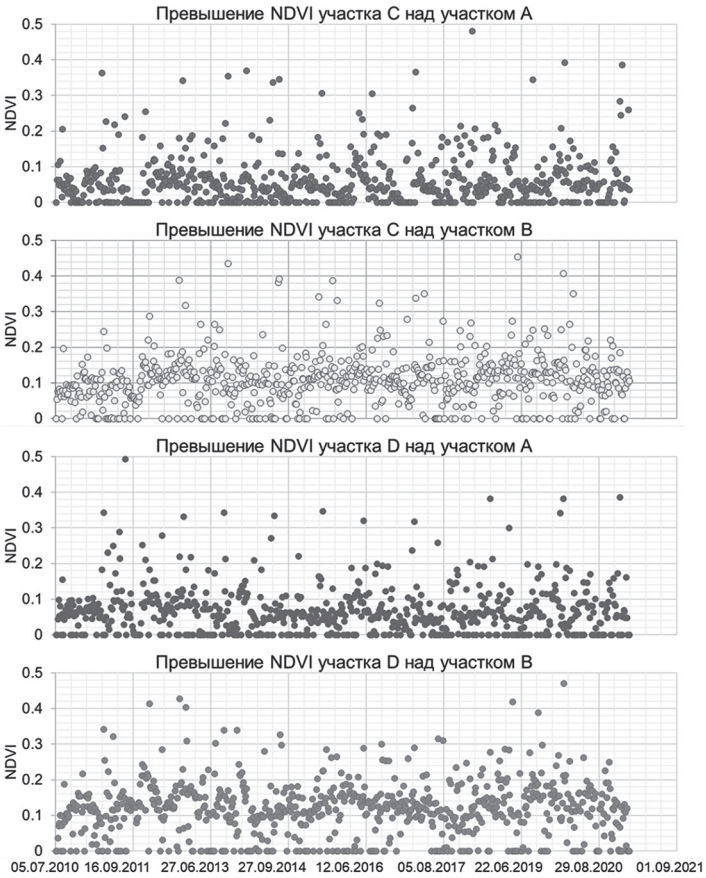

Рис. 4. Временной ход превышения NDVI участков потенциально не подверженных негативному воздействию над участками в зоне негативного воздействия угольного разреза

Fig. 4. Time course of NDVI excess of sites potentially not affected by negative impact over sites in the zone of negative impact of the coal mine

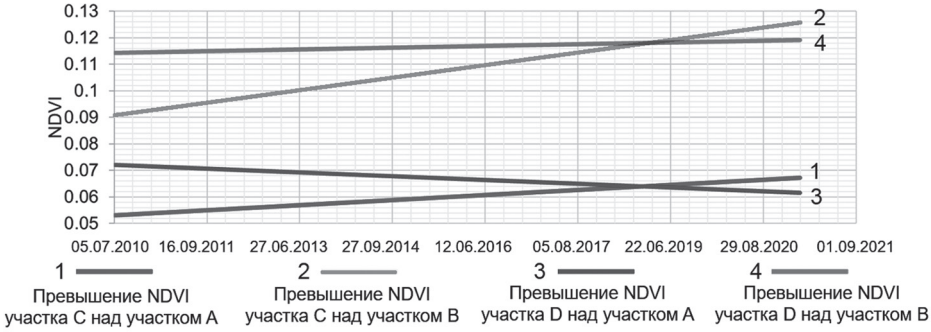

Рис. 5. Линейная аппроксимация временного хода превышения NDVI участков потенциально не подверженных негативному воздействию над участками в зоне негативного воздействия угольного разреза

Fig. 5. Linear approximation of the time course of NDVI excess of sites potentially not affected by negative impact over sites in the zone of negative impact of the coal mine

род в окружающую среду попадает большой спектр загрязняющих веществ, образующихся при окислении угля.

Для детальной оценки негативного воздействия угольного разреза на тестовые участки были вычислены суточные разности *NDVI* участков, условно «не подверженных» негативному воздействию и участков, находящихся в зоне негативного воздействия угольного разреза. Суточные разности определялись как превышения *NDVI* участков C, D над участками A, B (рис. 4). На рис. 5 представлена линейная аппроксимация полученных наборов данных. Можно видеть, что значения *NDVI* участков C, D в среднем выше на 0,05 — 0,12 значений участков A, B. Превышения *NDVI* участка C над участками A и B на протяжении всего выбранного временного интервала увеличиваются от 0,05 до 0,07 и от 0,09 до 0,12 соответственно (рис. 5). Несмотря на положительную динамику *NDVI* всех трех участков (рис. 3), динамика участка C является более высокой. Превышения *NDVI* участка D над участком A на протяжении всего выбранного временного интервала наоборот снижались от 0,06 до 0,05, а над участком B оставались неизменными в районе 0,11 (рис. 5).

Заключение

Детальное сопоставление временного хода *NDVI* для выбранных участков показало, что растительный покров около разреза в среднем имеет более низкие (от 0,08 до 0,12) по отношению к значениям индекса на участках не подверженных негативному воздействию угольного разреза. На основе аппроксимации данных и анализа полученных результатов установлена связь деградации растительности с антропогенным воздействием угольного разреза. Представленные результаты дают основание для следующих выводов:

- Показано, что на основе использования вегетационного индекса *NDVI* можно идентифицировать негативное воздействие угольного разреза на окружающую среду. Для рассматриваемого примера Талдинского угольного месторождения снижения индекса *NDVI* в диапазоне 0,05 — 0,12 можно связать с антропогенным фактором воздействия на растительный покров.
- Представленная методика позволяет оценить негативное воздействие угольного разреза на растительный покров, посредством использования вегетационных индексов, рассчитанных на основе данных дистанционного зондирования Земли из космоса. Представленный подход может быть использован и для других вегетационных индексов. Он позволяет оценить степень антропогенного воздействия угольного разреза на растительный покров для конкретных физико-географических условий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кутепов Ю. И.*, *Кутепова Н. А.*, *Мухина А. С.*, *Мосейкин В. В.* Инженерно-геологические и геоэкологические проблемы восстановления нарушенных земель при отвалообразовании на открытой угледобыче в Кузбассе // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 5. — С. 5–24. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_5_0_5.

2. *Кутепов Ю. И.*, *Кутепова Н. А.*, *Васильева А. Д.*, *Мухина А. С.* Инженерно-геологические и экологические проблемы при эксплуатации и рекультивации высоких отвалов на разрезах Кузбасса // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 8. — С. 164–178. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_8_0_164.

3. *Корнилков С. В.*, *Антонинова Н. Ю.*, *Шубина Л. А.*, *Славиковская Ю. О.* Экологические аспекты выбора направления рекультивации при отработке месторождений по-

лезных ископаемых // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 5-2. — С. 218—230. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_52_0_218.

4. *Семина И. С., Андроханов В. А., Куляпина Е. Д.* Опыт использования отходов углеобогащения для рекультивации нарушенных участков // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 9. — С. 159–175. DOI: 10.25018/0236-1493-2020- 9-0-159-175.

5. *Галанина Т. В., Баумгартэн М. И., Королева Т. Г.* Правовые аспекты регулирования рекультивации земель, нарушенных при добыче угля // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 6. — С. 15–26. DOI: 10.25018/0236-1493-2020- 6-0-15-26.

6. *Ma B., Yang X., Yu Y., Shu Y., Che D.* Investigation of vegetation changes in different mining areas in Liaoning Province, China, using multisource remote sensing data // Remote Sensing. 2021, vol. 13, no. 24, article 5168. DOI: 10.3390/rs13245168.

7. *Henchiri M., Ali S., Essifi B., Kalisa W., Zhang S., Bai Y.* Monitoring land cover change detection with NOAA-AVHRR and MODIS remotely sensed data in the North and West of Africa from 1982 to 2015 // Environmental Science and Pollution Research. 2020, vol. 27, pp. 5873–5889. DOI: 10.1007/s11356-019-07216-1.

8. *Yang Z., Shen Y., Li J., Jiang H., Zhao L.* Unsupervised monitoring of vegetation in a surface coal mining region based on NDVI time series // Environmental Science and Pollution Research. 2022, vol. 29, pp. 26539–26548. DOI: 10.1007/s11356-021-17696-9.

9. *Ren H., Zhao Y., Xiao W., Li J., Yang X.* Influence of management on vegetation restoration in coal waste dump after reclamation in semi-arid mining areas: examining Sheng Li coalfield in Inner Mongolia, China // Environmental Science and Pollution Research. 2021, vol. 28, pp. 68460–68474. DOI: 10.1007/s11356-021-15361-9.

10. *Myaskov A., Kostyuk S., Marinova D.* Development of the characterizing indicators for the existing biodiversity and natural ecosystems and their role in habitat formation // E3S Web of Conferences. 2019, vol. 105, article 02009. DOI: 10.1051/e3sconf/201910502009.

11. *Манаков Ю. А., Куприянов А. Н., Стрельникова Т. О., Уфимцев В. И., Куприянов О. А., Силантьева М. М., Гребенникова А. Ю., Голохваст К. С., Лукьянцев С. В.* Экологический мониторинг в районах угледобычи. — Новосибирск: Гео, 2017. — 208 с.

12. *Копылов В. Н., Кочергин Г. А., Полищук Ю. М., Хамедов В. А.* Использование данных ДЗЗ при решении региональных задач рационального природопользования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2009. — Т. 6. — № 1. — С. 33—41.

13. *Гермак О. В.* Использование данных дистанционного зондирования для экологического мониторинга опустынивания // Научное обозрение. — 2013. — № 12. — С. 59—62.

14. *Опарин В. Н., Потапов В. П., Киряева Т. А., Юшкин В. Ф.* К проблеме разработки методов и геоинформационных средств комплексной оценки влияния нелинейных деформационно-волновых процессов, индуцированных сейсмическими воздействиями, на геомеханическое состояние бортов карьеров и газодинамическую активность угольных шахт Кузбасса // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 8. — С. 5—39. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-8-0-5-39.

15. *Корчагина Т. В., Потапов В. П., Счастливцев Е. Л.* Цифровой мониторинг природно-техногенной среды для обеспечения экологической безопасности предприятий горнодобывающей отрасли // Уголь. — 2022. — № 6 (1155). — С. 59—66.

16. *Опарин В. Н., Адушкин В. В., Юшкин В. Ф., Потапов В. П.* О влиянии природно-климатических и техногенных факторов на развитие механо-эрозионных и сейсмоэмиссионных процессов в окрестностях угольных разрезов Кузбасса // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 9. — С. 72—101. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-09-0-72-101.

17. *Wills K. S.* Remote sensing change detection for ecological monitoring in united states protecte areas // Biological Conservation. 2015, vol. 86, pp. 20—26.

18. *Huete A. R., Jackson R. D., Post D. F.* Spectral response of a plant canopy with different soil backgrounds // Remote Sensing of Environment. 1985, vol. 17, pp. 37—53. DOI: 10.1016/0034-4257(85)90111-7.

19. *Vermote E., Wolfe R.* MODIS/Terra Surface Reflectance Daily L2G Global 1 km and 500 m SIN Grid V061. Distributed by NASA EOSDIS Land Processes DAAC. DOI: 10.5067/MODIS/MOD09GA.061. Accessed 2022-04-17.

20. *Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D., Moore R.* Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone // Remote Sensing of Environment. 2017, vol. 202, pp. 18—27. DOI: 10.1016/j.rse.2017.06.031.

21. *Gao B.* NDWI — A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space // Remote Sensing of Environment. 1996, vol. 58, no. 3, pp. 257—266. DOI: 10.1016/s0034-4257(96)00067-3). ГИАБ

REFERENCES

1. Kutepov Yu. I., Kutepova N. A., Mukhina A. S., Moseykin V. V. Geological, geotechnical and geoecological problems of reclamation of land disturbed by dumping in open pit coal mining in Kuzbass. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 5, pp. 5–24. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_5_0_5.

2. Kutepov Yu. I., Kutepova N. A., Vasileva A. D., Mukhina A. S. Engineering-geological and ecological concerns in operation and reclamation of high slope dumps at open-pit mines in Kuzbass. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 8, pp. 164–178. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_8_0_164.

3. Kornilkov S. V., Antoninova N. Yu., Shubina L. A., Slavikovskaya Yu. O. Ecological aspects of choosing a recultivation scenario in mineral mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 5-2, pp. 218—230. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_52_0_218.

4. Semina I. S., Androkhanov V. A., Kulyapina E. D. The experience of using coal washing rejects in reclamation of disturbed lands. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 9, pp. 159–175. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020- 9-0-159-175.

5. Galanina T. V., Baumgarten M. I., Koroleva T. G. Coal mining-disturbed land reclamation laws. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 6, pp. 15–26. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020- 6-0-15-26.

6. Ma B., Yang X., Yu Y., Shu Y., Che D. Investigation of vegetation changes in different mining areas in Liaoning Province, China, using multisource remote sensing data. *Remote Sensing*. 2021, vol. 13, no. 24, article 5168. DOI: 10.3390/rs13245168.

7. Henchiri M., Ali S., Essifi B., Kalisa W., Zhang S., Bai Y. Monitoring land cover change detection with NOAA-AVHRR and MODIS remotely sensed data in the North and West of Africa from 1982 to 2015. *Environmental Science and Pollution Research*. 2020, vol. 27, pp. 5873–5889. DOI: 10.1007/s11356-019-07216-1.

8. Yang Z., Shen Y., Li J., Jiang H., Zhao L. Unsupervised monitoring of vegetation in a surface coal mining region based on NDVI time series. *Environmental Science and Pollution Research*. 2022, vol. 29, pp. 26539–26548. DOI: 10.1007/s11356-021-17696-9.

9. Ren H., Zhao Y., Xiao W., Li J., Yang X. Influence of management on vegetation restoration in coal waste dump after reclamation in semi-arid mining areas: examining Sheng Li coalfield in Inner Mongolia, China. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021, vol. 28, pp. 68460–68474. DOI: 10.1007/s11356-021-15361-9.

10. Myaskov A., Kostyuk S., Marinova D. Development of the characterizing indicators for the existing biodiversity and natural ecosystems and their role in habitat formation. *E3S Web of Conferences*. 2019, vol. 105, article 02009. DOI: 10.1051/e3sconf/201910502009.

11. Manakov Yu. A., Kupriyanov A. N., Strel'nikova T. O., Ufimtsev V. I., Kupriyanov O. A., Silant'eva M. M., Grebennikova A. Yu., Golokhvast K. S., Luk'yantsev S. V. *Ekologicheskiy monitoring v rayonakh ugledobychi* [Ecological monitoring in the areas of coal mining], Novosibirsk, Geo, 2017, 208 p.

12. Kopylov V. N., Kochergin G. A., Polishchuk Yu. M., Khamedov V. A. Use of remote sensing data in solving regional problems of rational nature management. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2009, vol. 6, no. 1, pp. 33—41. [In Russ].

13. Germak O. V. Use of remote sensing data for ecological monitoring of desertification. *Nauchnoe obozrenie*. 2013, no. 12, pp. 59—62. [In Russ].

14. Oparin V. N., Potapov V. P., Kiryaeva T. A., Yushkin V. F. Development of methods and means for integrated geo-information-based analysis of influence exerted by nonlinear deformation and wave processes induced by seismic forces on geomechanical behavior of pit walls and on gas-dynamic activity in coal mines in Kuzbass. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 8, pp. 5—39. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-8-0-5-39.

15. Korchagina T. V., Potapov V. P., Shchastyantsev E. L. Digital monitoring of the natural and man-made environment to ensure the environmental safety of mining enterprises. *Ugol'*. 2022, no. 6 (1155), pp. 59—66. [In Russ].

16. Oparin V. N., Adushkin V. V., Yushkin V. F., Potapov V. P. Influence of natural climate and mining-induced impact on mechanical erosion and seismic noise in the areas of open pit coal mines in Kuzbass. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no. 9, pp. 72—101. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-09-0-72-101.

17. Wills K. S. Remote sensing change detection for ecological monitoring in united states protecte areas. *Biological Conservation*. 2015, vol. 86, pp. 20—26.

18. Huete A. R., Jackson R. D., Post D. F. Spectral response of a plant canopy with different soil backgrounds. *Remote Sensing of Environment*. 1985, vol. 17, pp. 37—53. DOI: 10.1016/0034-4257(85)90111-7.

19. Vermote E., Wolfe R. *MODIS/Terra Surface Reflectance Daily L2G Global 1 km and 500 m SIN Grid V061*. Distributed by NASA EOSDIS Land Processes DAAC. DOI: 10.5067/MODIS/MOD09GA.061. Accessed 2022-04-17.

20. Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D., Moore R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*. 2017, vol. 202, pp. 18—27. DOI: 10.1016/j.rse.2017.06.031.

21. Gao B. NDWI — A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*. 1996, vol. 58, no. 3, pp. 257—266. DOI: 10.1016/s0034-4257(96)00067-3).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Маневич Полина Павловна[1] — инженер,
e-mail: manevich.polina@gmail.com,
ORCID ID: 0000-0002-6639-2321,
Коликов Константин Сергеевич[1] — д-р техн. наук,
доцент, зав. кафедрой, e-mail: kolikovks@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0001-8831-1927,
[1] НИТУ «МИСиС».
Для контактов: Маневич П.П., e-mail: manevich.polina@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

P.P. Manevich[1], Engineer,
e-mail: manevich.polina@gmail.com,
ORCID ID: 0000-0002-6639-2321,
K.S. Kolikov[1], Dr. Sci. (Eng.), Assistant Professor,
Head of Chair, e-mail: kolikovks@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0001-8831-1927,
[1] National University of Science and Technology «MISiS»,
119049, Moscow, Russia.
Corresponding author: P.P. Manevich, e-mail: manevich.polina@gmail.com.

Получена редакцией 01.07.2022; получена после рецензии 20.09.2022; принята к печати 10.10.2022.
Received by the editors 01.07.2022; received after the review 20.09.2022; accepted for printing 10.10.2022.