

Оценка вегетационного индекса отвалов угольных разрезов на основе данных NDVI*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-S12-132-141>

ОСИНЦЕВА М.А.

Канд. техн. наук,
начальник управления проектной
деятельности ФГБОУ ВО «Кемеровский
государственный университет»,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail k1marial@inbox.ru

ЖИДКОВА Е.А.

Доктор экон. наук, доцент,
проректор по научно-инновационной работе,
ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail 291154@mail.ru

ПРОСЕКОВ А.Ю.

Доктор техн. наук, профессор,
ректор, чл.-корр. РАН ФГБОУ ВО
«Кемеровский государственный университет»,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: aprosekov@rambler.ru

КУЗНЕЦОВ А.Д.

Директор Центра компьютерного инжиниринга
ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail adkuz@inbox.ru

РАДА А.О.

Канд. техн. наук, директор Института цифры
ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail radaartem@mail.ru

БУРОВА Н.В.

Руководитель центра ландшафтной архитектуры
ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail centria@mail.ru

Целью исследования является изучение эффективности применения индекса вегетации отвалов угольных разрезов для оценки состояния растительного покрова участка на примере отработанной территории одного из отвалов угольного разреза Кузбасса. Для высокоточной аэрофотосъемки с целью создания плана местности по полученным данным применялся беспилотный летательный аппарат Supercam S250F, оснащенный системой автоматического управления и навигационной системой GPS/ГЛОНАСС с установленной фотокамерой с разрешением 24 Мп и объективом 20 мм, мультиспектральной камерой и тепловизором. В качестве альтернативного метода на экспериментальном участке выполнялись маршрутные рекогносцировочные исследования, в ходе которых проводилась общая геоботаническая оценка территории. Объектом исследования являлась территория одного из отработанных автоотвалов разреза Талдинский Прокопьевского муниципального округа Кемеровской области. Исследования проводились в августе 2021 г. При сравнении результатов двух методов определения состояния растительного покрова техногенно нарушенной территории сделан вывод о большей полноте получаемых данных методом определения индекса NDVI. Помимо статичного определения текущего состояния растительного покрова данное исследование может позволять оценивать эффективность рекультивации нарушенных участков. Для оценки качества рекультивации измерения индекса NDVI необходимо производить периодически, с последующим сравнением полученных данных.

Ключевые слова: нормализованный разностный вегетационный индекс (ndvi), антропогенное воздействие, уголь, рекультивация, нарушенные земли, мониторинг, беспилотный летательный аппарат, дистанционное зондирование земли, данные дистанционного зондирования.

* Исследование выполнено в рамках комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения», утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации от 11.05.2022 г. №1144-р.

Для цитирования: Оценка вегетационного индекса отвал угольных разрезов на основе данных NDVI / М.А. Осинцева, Е.А. Жидкова, А.Ю. Просевков и др. // Уголь. 2022. № S12. С. 132-141. DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-S12-132-141>.

ВВЕДЕНИЕ

Существует множество индексов растительности. Каждый из них имеет свои сильные стороны и ограничения [1]. *NDVI* представляется весьма популярным индексом, используемым для оценки уровня залесённости. Однако это не означает, что он универсально эффективен. В случае, если *NDVI* не может удовлетворить потребности оценки растительности или других целей, можно рассмотреть возможность использования других вегетационных индексов

Под индексом *NDVI* (Normalized Difference Vegetation Index) в работе понимается нормализованный относительный индекс растительности – простой количественный показатель количества фотосинтетически активной биомассы (обычно называемый вегетационным индексом), один из самых распространенных и используемых индексов для решения задач, использующих количественные оценки растительного покрова [1].

Вычисляется *NDVI* по следующей формуле:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED},$$

где *NIR* – отражение в ближней инфракрасной области спектра, *RED* – отражение в красной области спектра.

В соответствии с данной формулой плотность растительности (*NDVI*) в определенной точке изображения равна разнице интенсивностей отраженного света в красном и инфракрасном диапазонах, деленной на сумму их интенсивностей [1].

В настоящее время «многоэтажная» проблематика эксплуатации природных ресурсов, техногенеза приобретает принципиально новый характер [2]. Добыча угля на поверхности вызывает серьезное нарушение растительности. Из года в год антропогенная нагрузка на природу только увеличивается [3, 4].

По оценкам экспертов Statista [5], в 2020 г. на долю Китая приходился самый высокий процент земель, используемых для горнодобывающей деятельности, среди всех стран мира (12%). За ним следуют Австралия и Соединенные Штаты Америки, на долю которых приходится 11,3% и 11,2% от общей площади земель, занятых добычей полезных ископаемых, соответственно. По данным аналитиков Alto Consulting Group [6], на протяжении последних трех лет в России наблюдаются как спад, так и подъем производства угля каменного и бурого. В 2021 г. в России было добыто 432 343,6 тыс. т каменного и бурого угля, что на 9% больше, чем в предыдущем году. Лидером по добыче каменного и бурого угля (в тыс. т) от общего объема добычи к 2021 г. стал Сибирский федеральный округ с долей около 77%.

Мультиспектральные изображения, полученные с помощью дистанционного зондирования, содержат комби-

нацию полос, которая создает составное изображение, используемое для интерпретации и анализа наземных объектов, таких как растительность [7].

Технология дистанционного зондирования Земли широко используется во всем мире [8, 9]. Данные, полученные с помощью дистанционного зондирования, чрезвычайно важны для таких отраслей, как строительство, инфраструктура, лесное хозяйство, сельское хозяйство, экология, метеорология, добыча полезных ископаемых, предотвращение и ликвидация последствий чрезвычайных ситуаций.

На данный момент весьма актуальна оценка состояния природных ландшафтов в местах добычи угля с использованием средств дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) [10]. Широкий спектр возможностей мониторинга окружающей среды, в том числе лесов, с использованием данных дистанционного зондирования изучается различными учеными и научными школами. Вопросы применения космических снимков в решении задач мониторинга лесов отражаются в «смысловом бассейне» исследований Е.Л. Кринова [11], Е.А. Лупяна [12], Н. Мунзер [13], Z. Wu [14], O. Sonnentag [15], D.P. Roy [16] и других. Однако все эти работы до известной степени остаются разобщенными. Использование *NDVI*-индекса в рамках мониторинга техногенных и посттехногенных ландшафтов изучено недостаточно полно.

Данные вопросы особенно актуальны для территории Кемеровской области – Кузбасса. Одна из экологических проблем Кузбасса – значительное отставание темпов рекультивации земель от темпов их нарушения открытыми горными работами. Площадь нарушенных земель постоянно растет. При этом точных данных нет, и встречаются различные оценки площади нарушенных земель.

В мире применяются самые разнообразные методы оценки состояния растительного покрова. Проводятся сопоставительные исследования полевых и спутниковых методов оценки уровня залесённости.

При геоботанических исследованиях для оценки состояния древесно-кустарниковой растительности до сих пор используются традиционные методы описания и наблюдения [17]. Биомасса растительного покрова отражает влияние мелиоранта на рост и развитие растительного покрова в течение всего вегетационного периода растений [18]. Традиционными методами анализа биомассы являются деструктивный отбор проб растительного материала и измерение массы растительного веса (свежего или сухого). Этот классический подход к анализу биомассы требует много времени и ресурсов из-за низкой информативности, стоимости материалов, времени и сложности повторных измерений [19, 20, 21].

Среди весьма актуальных и перспективных современных методов выделяются методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Дистанционное зондирование со спутников стало важным инструментом для измерения и мониторинга динамики крупномасштабных наземных экосистем благодаря его широкому охвату, высокой временной и пространственной точности.

В недавних исследованиях спутниковые изображения использовались для мониторинга и оценки воздействия

антропогенной деятельности на состояние биофизических характеристик поверхности [22, 23, 24]. Спутниковые данные обладают рядом достоинств, таких как многовременность и мультиспектральность. Они охватывают обширные области, что делает их пригодными для изучения динамических явлений [25]. Так, к примеру, в работе А.А. Pericaк и его коллег для анализа гидрологических, биогеохимических, экологических и медицинских последствий добычи полезных ископаемых, в том числе угля, на территории Центральных Аппалачей (горной системы на востоке США и Канады) были использованы платформы Landsat и Google Earth Engine.

Авторы оценили воздействие на экосистему и здоровье людей, частично опираясь на геопространственный набор данных, определяющий степень поверхностной добычи с десятилетним интервалом. В рамках подхода, основанного на дистанционном зондировании, в работе М.К. Firozjaei и его соавторов [26] использовались карты *LST* и *NDVI* для оценки техногенного воздействия на уровень залесенности. Авторами выявлено стабильное сокращение целостности лесного покрова из-за увеличения объемов горнодобывающей промышленности.

Мониторинг растительного покрова цифровыми методами основан на анализе изображений в красном, ближнем и (или) инфракрасном диапазонах с использованием красно-зелено-синего (RGB), мульти- и гиперспектральных камер, тепловизоров, датчиков фотосинтеза и флуоресценции, а также лидаров [27]. Распространенными примерами используемых индексов растительности являются, как уже было отмечено ранее, нормализованный относительный индекс растительности *NDVI* [28], индекс зеленой поверхности *GA/GAI* [29] и индекс листовой поверхности *LAI* [30].

Расчеты вегетационных индексов основаны на спектральных характеристиках растений, отражающих или поглощающих свет. Так, например, в работе S. Huang [31] показано, что *NDVI* эффективен для выражения состояния растительности и ее количественных характеристик. Его широкое использование и популярность сопряжены с неизбежными рисками неправильного использования рядовыми потребителями, которые практически не получили образования в области дистанционного зондирования.

В публикации S. Kuzevic [32] изучены изменения растительного покрова в районе добычи полезных ископаемых в Словакии. Для анализа растительного покрова был рассчитан *NDVI*, который затем был объединен со слоем единиц пространственного разделения лесов (FSDU). Для детального анализа изменений уровня залесенности были выбраны районы в непосредственной близости от открытого карьера. Результаты показали, что за выбранный период произошли изменения, указывающие на улучшение состояния ландшафта в результате мелиоративных работ на двух месторождениях – Rožoňník-Kopopiská (неактивное) и Sološnica-Hrabník (активное).

В статье Z. Yang [33] представлен анализ особенностей изменения растительности в регионах добычи угля в Северном Китае на основе данных *NDVI* за период с 2000 по 2018 г. Результаты показали, что кластеризация на осно-

ве данной формы подходит для мониторинга изменения растительности в регионе и обеспечивает общую точность 79% при обнаружении типов траекторий восстановления после нарушения.

Из анализа литературных источников предыдущих исследований [34, 35, 36, 37, 38] установлено, что методы оценки уровня залесенности на основе *NDVI* могут быть пригодны для оценки мелиорации, воздействия на растительность. При помощи материалов дистанционного зондирования можно устанавливать площади зарастания для каждого типа растительности, а также актуализировать оценку состояния растительного покрова на отвалах шахт на основе *NDVI*.

Что касается мирового патентного ландшафта по очередному вопросу, то использование индекса вегетации *NDVI* включается в широкий контекст науки и практики по способам рекультивации нарушенных земель при открытой добыче угля [39, 40]. Некоторые изобретения раскрывают способ дистанционного зондирования при изучении растительности шахтной зоны для точного типа землепользования на основе данных *NDVI* [41, 42].

В русле отечественной науки и практики также активно оценивается состояние растительности с помощью индекса растительности *NDVI*. Например, в работе А.А. Комарова [43] оценка состояния растительного покрова проводилась на производственных полях ОАО «Осминское» Сланцевского района Ленинградской области. Исследования проводились в течение трех вегетационных сезонов с 2014 по 2016 г. Автор отмечает динамику вегетационного индекса за годы наблюдений. Значение вегетационного индекса *NDVI* позволяет проводить необходимые технологические операции (внесение удобрений, скашивание и т.д.) в оперативном режиме дифференцированно на тех участках поля, которые в них нуждаются. Установлено, что на основе спутниковых снимков можно сделать своевременный прогноз уборки многолетних трав. Это позволяет получить качественный урожай.

В статье А.Н. Чащина и М.А. Кондратьевой [44] с использованием материалов дистанционного зондирования были изучены характер и темпы естественного зарастания растительностью поверхности угольных отвалов Кизелского бассейна. По результатам анализа снимков серии Landsat-5, Sentinel-2 и покрытия ESRI World Imagery на поверхности отвалов выявлены три типа поверхностей, соответствующие двум типам растительности травянистой и древесной, а также пустошам. Состояние растительного покрова оценивается на основе индекса *NDVI*. В соответствии со средними значениями *NDVI* 0,37-0,59 состояние растительности на отвалах характеризуется низкой и средней степенью развития биомассы. При выявленных темпах самовосстановления фоновые значения *NDVI* могут быть достигнуты через 18-35 лет.

В статье С.А. Дубровской и С.Ю. Норейка [45] показаны результаты многолетнего геоинформационного мониторинга горнотехнических ландшафтов степной зоны России с применением спектрального индекса. На участках месторождений, расположенных в пределах урбанизированной территории, установлена степень транс-

формации ландшафта и восстановления, которая напрямую зависит от типа горнотехнической геосистемы, добываемого сырьевого ресурса и времени воздействия разработки.

Существует весьма много преимуществ использования расчета *NDVI*. К ключевым достоинствам использования индекса *NDVI* относятся следующие [46]: возможность получения точных данных в широком разрешении; беспилотный летательный аппарат с высоким индексом IP обеспечивает сбор данных в любую погоду; точное определение степени повреждения; возможность определения количества осадков; точное прогнозирование урожайности, биоразнообразия; сбор данных и многое другое.

Однако помимо достоинств метода есть и ряд недостатков. Как показывает практика, *NDVI*-индекс обладает некоторыми ограничениями, а именно [46]: невозможность использования данных, которые не прошли фазу радиометрической коррекции (калибровки); наличие ошибок и погрешностей, вызванных погодными условиями, сильной облачностью и туманом; необходимость для большинства задач сравнивать полученные результаты с данными, ранее собранными с испытательных площадок (контрольных точек), которые должны учитывать сезонные экологические и климатические показатели как изображения, так и испытательных площадок на момент сбора данных; возможность использовать только время роста для исследуемого региона. Из-за своей привязанности к количеству фотосинтетической биомассы *NDVI* неэффективен при визуализации ослабленной или деградировавшей растительности в течение этого периода и многое другое.

Видно, что *NDVI* весьма эффективен, актуален и полезен, но метод не может полностью заменить работу агронома в полевых условиях. При помощи данных дистанционного зондирования земли, *NDVI*-индекса специалист может узнать, на какие области ему следует обратить больше всего внимания. На предварительном этапе исследования эффективности индекса представляется, что предлагаемое изобретение является патентоспособным.

Широкая направленность использования цифровых технологий, в том числе дистанционное зондирование земли, в области реализуется в таких передовых разработках, как ГИС «Кузбасс». Суть системы заключается в возможности многофакторной оцифровки таких данных о регионе и его городах, как инженерная инфраструктура, землепользование и недропользование, состояние лесов, рек, воздуха и других объектов [2]. Безусловно, цифровые методы в мониторинге окружающей среды, геодезии и картографии как двигатели экономического развития позволяют получать достоверную и актуальную информацию о недвижимости и природных объектах, которая в настоящее время находится в различных информационных ресурсах.

Кемеровская область располагается в южной части Западной Сибири. Кузбасс уникален по своим геологическим, ландшафтным, почвенным и биологическим характеристикам. Для двух третей территории Кузбасса харак-

терен горный рельеф. Центральная часть региона расположена в Кузнецкой котловине (рельеф в основном равнинный, местность сильно изрезана оврагами). Котловина с трех сторон охвачена горами (Салаирским кряжем, Абаканским хребтом, Кузнецким Алатау) [47, 48].

Общая площадь земель в административных границах Кемеровской области – Кузбасса по состоянию на 01.01.2020 составляет 9572,5 тыс. га. Природные условия и почвенный покров Кемеровской области – Кузбасса разнообразны. Леса занимают почти 65% пространства региона. Растительность представлена пихтой, кедром, березой, осиной и так далее. Северная часть характеризуется серыми почвами, Кузнецкая котловина – выщелоченными и оподзоленными, среднемощными и мощными черноземами, горные массивы – дерново-подзолистыми почвами [47]. За 2019 г. нарушено земель 5,443 тыс. га, рекультивировано 0,711 тыс. га, что составило 13% от площади нарушенных земель за отчетный год [49].

С начала 2022 г. угольщиками Кузбасса добыто 57 млн т угля (январь-март 2021 г. – 58 млн т) [50]. Как видно, скорость прироста площади территории с восстановленными экологическими функциями почвы значительно ниже, чем скорость ее разрушения. Большой негативный вклад в процессы деградации и разрушения почвенного покрова на территории области вносят горнодобывающие предприятия, особенно при открытой добыче угля, при формировании искусственных ландшафтов, угольных отвалов.

Одной из основных, особо острых экологических проблем региона является разрастание ареала техногенных и посттехногенных ландшафтов [51, 52]. В этом смысле рекультивация нарушенных земель становится реальным способом восстановления разрушенных экосистем при комплексном экологическом мониторинге на основе данных дистанционного зондирования земли.

Целью исследования является изучение эффективности применения индекса вегетации отвалов угольных разрезов для оценки состояния растительного покрова участка на примере отработанной территории одного из отвалов угольного разреза Кузбасса.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для высокоточной аэрофотосъемки с целью создания плана местности по полученным данным применялся беспилотный летательный аппарат (БПЛА) Supercam S250F, оснащенный системой автоматического управления и навигационной системой GPS/ГЛОНАСС для осуществления максимально точного координатного управления. Двухчастотный геодезический приемник, встроенный в БПЛА, позволяет получать результаты с плановой точностью до 5-10 см. На БПЛА установлены фотокамера с разрешением 24Мп и объективом 20мм, мультиспектральная камера и тепловизор. Для обработки изображений используется программное обеспечение швейцарского производителя Pix4D.

В качестве альтернативного метода на экспериментальном участке выполнялись маршрутные рекогносцировочные исследования, в ходе которых проводилась общая геоботаническая оценка территории.

Рис. 1. Карта индекса NDVI экспериментального участка
 Fig. 1. The NDVI index map of the experimental site



Объектом исследования являлась территория одного из отработанных автоотвалов разреза «Талдинский» Прокопьевского муниципального округа Кемеровской области. Данная территория относится к Алтае-Саянскому горно-таежному лесорастительному району, который входит в состав Южно-Сибирской горной лесорастительной зоны Российской Федерации. Поверхность исследуемого отвала рекультивирована частично и находилась в состоянии самозарастания после планирования поверхности на горно-техническом этапе рекультивационных работ. Уклон поверхности зарастающего отвала составляет 25-30°. Исследования проводились в августе 2021 года.

Основным материалом для анализа послужили данные большого объема съемок территории экспериментального участка. Все данные получены путем съемки с БПЛА. Была выполнена аэросъемка экспериментального участка рекультивации отвала вскрышных пород с целью получения карты индекса NDVI, расположенного на территории Талдинского разреза (рис. 1).

Нормализованный вегетационный индекс NDVI представляет собой числовой показатель актуального качества и количества растительности на заданном участке, который определяется путем сравнения интенсивности поглощения красного света и отражения ближнего инфракрасного света растениями. Здоровые

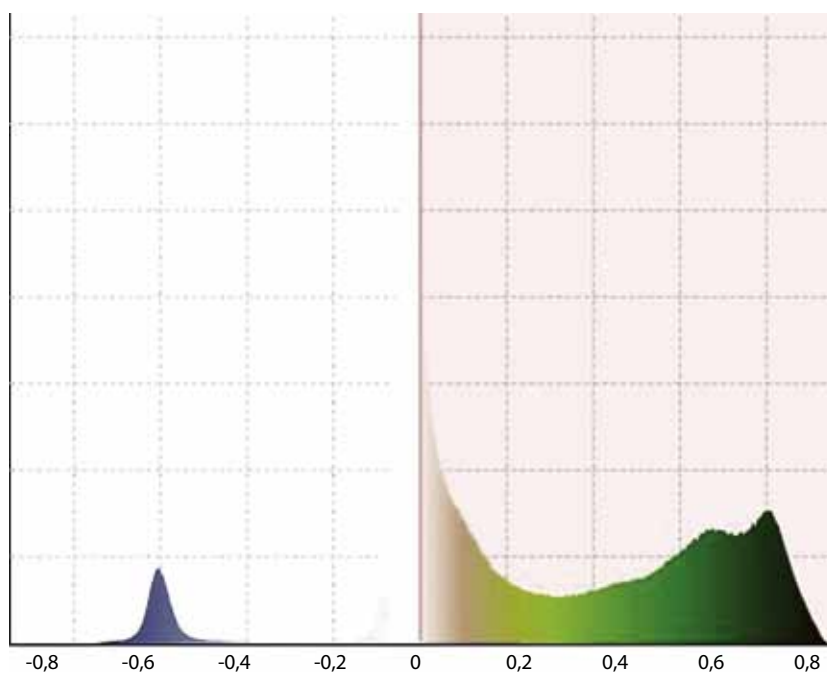


Рис. 2. Шкала индекса NDVI
 Fig. 2. The NDVI index scale

растения имеют свойство поглощать красный свет и отражать ближний инфракрасный свет.

Возможные значения индекса NDVI лежат в диапазоне от -1 до +1. При этом оценку исследуемых объектов производят в соответствии со следующей шкалой (см. рис. 2):

– значение NDVI от -1 до 0 – это объекты неживой природы;



Рис. 3. Текущее состояние растительного покрова экспериментального участка на основе данных индекса *NDVI*
 Fig. 3. Current state of the vegetation cover on the experimental site based on the *NDVI* index data



- значение *NDVI* от 0 до 0,15 – обычно такие показатели характерны для открытой почвы;
- значение *NDVI* от 0,15 до 0,5 – разреженная растительность;
- значение *NDVI* выше 0,5 – густая растительность.

Применяемая шкала носит относительный характер и корректируется в зависимости от характера и свойств поверхности исследуемых объектов. Полученные данные позволяют определить текущее состояние растительного покрова экспериментального участка (рис. 3).

Таким образом, на объекты растительности приходится менее половины (40,35%) общей площади экспериментального участка. Помимо общей информации о растительном покрове участка данные индекса *NDVI* в сочетании с привязкой к геоданным и данным, полученным иными датчиками, позволяют сделать выводы об условиях наибольшей приживаемости растений в пределах территории участка.

В ходе маршрутных исследований на территории экспериментального участка отмечена картина мозаичного несомкнутого растительного покрова (рис. 4).

В ходе исследования было обнаружено 34 вида высших растений, принадлежащих к 16 семействам. Обилие растений в фитоценозе отражает показатель проективного покрытия. Общее проективное покрытие на исследуемой территории составило менее 15%. Видовая насыщенность в среднем варьировала от 3 до 8 видов на 100 кв. м.

Распространение растений по территории было неравномерным. Наиболее покрыты растительностью более выложенные участки склонов отвала и участки, примыкающие к ненарушенной территории.

При сравнении двух вышеописанных методов определения состояния растительного покрова техногенно нарушенной территории можно сделать вывод о большей полноте получаемых данных методом определения индекса *NDVI*.

Помимо статичного определения текущего состояния растительного покрова данное исследование может позволить оценивать эффективность рекультивации нарушенных участков. Для оценки качества рекультивации измерения индекса *NDVI* необходимо производить периодически, с последующим сравнением полученных данных. Данная необходимость обусловлена изменением стадий вегетации и объема заполнения участка растительностью в течение сезона. Рекомендуемая периодичность проведения оценки индекса *NDVI* – не реже одного раза в две недели.

Рис. 4. Визуальное определение растительного покрова экспериментального участка

Fig. 4. Visual determination of the vegetation cover on the experimental site

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Центральным принципиальным моментом при использовании *NDVI* является то, что он облегчает применение дистанционного зондирования. Для вычисления индекса не требуется никаких дополнительных данных и методик, кроме непосредственно самой съемки и знания ее параметров. *NDVI* коррелирует со статусом широкого спектра свойств растительности. Вычисление *NDVI* может давать оперативную информацию об эколого-климатической обстановке и возможность отслеживать динамику различных параметров.

Добыча полезных ископаемых, особенно добыча угля открытым способом, характеризуется нарушением почвы и связанным с этим нарушением растительности. Результаты исследования показали потенциал использования данных дистанционного зондирования для фиксации изменений и оценки состояния ландшафтов, затронутых горнодобывающей деятельностью.

Исследования по дистанционному зондированию Земли и определению индексов *NVDI* проводились с использованием оборудования Центра коллективного пользования научным оборудованием КемГУ.

Список литературы

- Xue J., Su B. Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications // *Journal of Sensors*. 2017. Vol. 2017. DOI: 10.1155/2017/1353691.
- NDVI – теория и практика. [Электронный ресурс]. URL: <http://gis-lab.info/qa/ndvi.html> (дата обращения: 15.11.2022).
- Hipel K.W., Hegazy T., Yousefi S. Combined strategic and tactical negotiation methodology for resolving complex brownfield conflicts // *Pesquisa Operacional*. 2010. Vol. 30. No. 2. P. 281-304. DOI: 10.1590/S0101-74382010000200003.
- Points of attention in designing tools for regional brownfield prioritization / E. Limasset, L. Pizzol, C. Merly et al. // *Science of the Total Environment*. 2018. Vol. 622-623. P. 997-1008. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.11.168.
- Ignatyeva M., Yurak V., Pustokhina N. Recultivation of post-mining disturbed land: Review of content and comparative law and feasibility study // *Resources*. 2020. Vol. 9. No. 6. DOI: 10.3390/RESOURCES9060073.
- Mining, Metals & Minerals. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.statista.com/markets/410/topic/954/mining-metals-minerals/#overview> (дата обращения: 15.11.2022).
- Alto Consulting Group. [Электронный ресурс]. URL: <https://alto-group.ru> (дата обращения: 15.11.2022).
- Вегетационные индексы // *Геоматика*. 2011. № 2. С. 98-102.
- Multi-scale characterization of spatial variability of soil organic carbon in a semiarid zone in Northern China / L. Li, Y. Yue, F. Qin et al. // *Sustainability*. 2018. Vol. 14. No. 15. DOI: 10.3390/su14159390.
- A Global 250-m Downscaled NDVI product from 1982 to 2018 / Z. Ma, C. Dong, K. Lin et al. // *Remote Sensing*. 2022. Vol. 14. No. 15. DOI: 10.3390/rs14153639.
- Зеньков И.В. Дистанционное зондирование в решении экологических проблем лесной рекультивации на угольных карьерах Сибири // *Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева*. 2016. Т. 17. № 1. С. 36-44.
- Спутниковое зондирование земли – уникальный инструмент мониторинга лесов России / А.С. Исаев, С.А. Бартаев, Е.А. Лупян и др. // *Вестник Российской академии наук*. 2014. Т. 84. № 12. С. 1073-1079. DOI: 10.7868/S0869587314120044.
- Мунзер Нур. Разработка методики применения данных космических съемок для мониторинга лесов: автореферат дис. ... канд. техн. наук: Спец. 25.00.34 «Аэрокосмические исследования Земли, фотограмметрия» / Мунзер Нур. М., 2021. 24 с.
- Determining relative contributions of vegetation and topography to burn severity from LANDSAT imagery / Z. Wu, H.S. He, Y. Liang et al. // *Environmental Management*. 2018. Vol. 52. P. 821-836. DOI: 10.1007/s00267-013-0128-3.
- Digital repeat photography for phenological research in forest ecosystems / O. Sonnentag, K. Hufkens, C. Teshera-Sterne et al. // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2012. Vol. 152. P. 159-177. DOI: 10.1016/j.agrformet.2011.09.009.
- Characterization of Landsat-7 to Landsat-8 reflective wavelength and normalized difference vegetation index continuity / D.P. Roy, V. Kovalsky, H.K. Zhang et al. // *Remote Sensing of Environment*. 2016. Vol. 185. P. 57-70. DOI: 10.1016/j.rse.2015.12.024.
- Comparison of field- and satellite-based vegetation cover estimation methods / D.W. Ko, D. Kim, A. Narantsetseg et al. // *Journal of Ecology and Environment*. 2017. Vol. 41. No. 5. DOI: 10.1186/s41610-016-0022-z.
- Bergstedt J., Westerberg L., Milberg P. In the eye of the beholder: Bias and stochastic variation in cover estimates // *Plant Ecology*. 2017. Vol. 204. P. 271-283. DOI: 10.1007/s11258-009-9590-7.
- Петрова Т.А., Рудзиш Э. Метод оценки эффективности мелиорантов при рекультивации нарушенных земель // *Вестник Евразийской науки*. 2021. Т. 6. № 13. P. 271-283.
- Tackenberg O. A new method for non-destructive measurement of biomass, growth rates, vertical biomass distribution and dry matter content based on digital image analysis // *Annals of Botany*. 2007. Vol. 99. No. 4. P. 777-783. DOI: 10.1093/aob/mcm009.
- Recycling lake sediment to agriculture: Effects on plant growth, nutrient availability, and leaching / M. Kiani, H. Raave, A. Simojoki et al. // *Science of the Total Environment*. 2021. Vol. 753. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.141984.
- Elsayed S., Barmerier G., Schmidhalter U. Passive reflectance sensing and digital image analysis allows for assessing the biomass and nitrogen status of wheat in early and late tillering stages // *Frontiers in Plant Science*. 2018. Vol. 10. No. 9. DOI: 10.3389/fpls.2018.01478.
- Estoque R.C., Murayama Y. Monitoring surface urban heat island formation in a tropical mountain city using Landsat data (1987-2015) // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2017. Vol. 133. P. 18-29. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2017.09.008.
- Effect of environmental policies in combating aeolian desertification over Sejzy Plain of Iran / M.H.R. Moghaddam, A. Sedighi, S. Fasihi et al. // *Aeolian Research*. 2018. Vol. 35. P. 19-28. DOI: 10.1016/j.aeolia.2018.09.001.
- Characterizing the spatial pattern of annual urban growth by using time series Landsat imagery / Y. Fu, J. Li, Q. Weng et al. // *Science of The Total Environment*. 2019. Vol. 666. P. 274-284. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.02.178.
- Mapping the yearly extent of surface coal mining in Central Appalachia using Landsat and google earth engine / A.A. Pericak,

- C.J. Thomas, D.A. Kroodsma et al. // PLoS ONE. 2018. Vol. 13. No. 7. DOI: 10.1371/journal.pone.0197758.
27. A historical and future impact assessment of mining activities on surface biophysical characteristics change: A remote sensing-based approach / M.K. Firozjaei, A. Sedighi, H.K. Firozjaei et al. // *Ecological Indicators*. 2021. Vol. 122. DOI: 10.1016/j.ecolind.2020.107264.
 28. High-throughput estimation of crop traits: A review of ground and aerial phenotyping platforms / X. Jin, P.J. Zarco-Tejada, U. Schmidhalter et al. // *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*. 2021. Vol. 9. No. 1. P. 200-231. DOI: 10.1109/MGRS.2020.2998816.
 29. Red-green-blue and multispectral imaging as potential tools for estimating growth and nutritional performance of cassava under deficit irrigation and potassium fertigation / D.O. Wasonga, A. Yaw, J. Kleemola et al. // *Remote Sensing*. 2021. Vol. 13. No. 4. DOI: 10.3390/rs13040598.
 30. RGB vegetation indices, NDVI, and biomass as indicators to evaluate C3 and C4 turfgrass under different water conditions / J. Marín, S. Yousfi, P.V. Mauri et al. // *Sustainability*. 2020. Vol. 12. No. 6. DOI: 10.3390/su12062160.
 31. Evaluation of weed impact on wheat biomass by combining visible imagery with a plant growth model: towards new non-destructive indicators for weed competition / C. Gée, E. Denimal, J. Merienne et al. // *Precision Agriculture*. 2021. Vol. 22. No. 2. P. 550-568. DOI: 10.1007/s11119-020-09776-6.
 32. A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing / S. Huang, L. Tang, J.P. Hupy et al. // *Journal of Forestry Research*. 2021. Vol. 22. DOI: 10.1007/s11676-020-01155-1.
 33. Kuzevic S., Bobikova D., Kuzevicova Z. Land cover and vegetation coverage changes in the mining area – A case study from Slovakia // *Sustainability*. 2022. Vol. 14. No. 3. DOI: 10.3390/su14031180.
 34. Unsupervised monitoring of vegetation in a surface coal mining region based on NDVI time series / Z. Yang, Y. Shen, J. Li et al. // *Environmental Science and Pollution Research*. 2022. Vol. 29. No. 18. P. 26539-26548. DOI: 10.1007/s11356-021-17696-9.
 35. Bioaccessibility of potentially toxic metals in soil, sediments and tailings from a north Africa phosphate-mining area: Insight into human health risk assessment / F. Khelifi, A.G. Caporale, Y. Hamed et al. // *Journal of Environmental Management*. 2021. Vol. 279. DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.111634.
 36. Mishra P.K., Rai A., Rai S.C. Land use and land cover change detection using geospatial techniques in the Sikkim Himalaya, India // *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. 2020. Vol. 23. No. 2. P. 133-143. DOI: 10.1016/j.ejrs.2019.02.001.
 37. Karan S.K., Samadder S.R., Maiti S.K. Assessment of the capability of remote sensing and GIS techniques for monitoring reclamation success in coal mine degraded lands // *Journal of Environmental Management*. 2016. Vol. 182. P. 272-283. DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.07.070.
 38. Uddin Siddiqui A., Kumar Jain M. Change analysis in land use land cover due to surface mining in Jharia coalfield through Landsat time series data // *Materials Today: Proceedings*. 2021. Vol. 49. P. 3462-3468.
 39. Analyzing ecological environment change and associated driving factors in China based on NDVI time series data / L. Jiang, Y. Liu, S. Wu et al. // *Ecological Indicators*. 2021. Vol. 129. DOI: 10.1016/j.ecolind.2021.107933.
 40. Пат. на изобретение № 2754753 E21C 41/32 (РФ). Способ рекультивации нерабочих бортов карьеров / Тальгамер Б.Л., Галайда К.П. № 2021100173; заявл. 12.01.2021; опубл. 07.09.2021; Бюл. № 25.
 41. Пат. на изобретение № 2753423 E21C 41/32 (РФ). Технология получения рекультиванта универсального / Постнов Д.А. № 2021114341; заявл. 20.05.2021; опубл. 16.08.2021; Бюл. № 23.
 42. Patent No. CN114012142A. Agricultural remote sensing observation unmanned aerial vehicle manufacturing device / Du Y., Li P., Zhou Z. et al. заявл. 08.12.2021; опубл. 08.02.2022.
 43. Patent No. CN202111303598.8. Mine area vegetation carbon sink remote sensing inversion method of fine land utilization type / Li J., Wang J., Li Q. et al. заявл. 05.11.2021; опубл. 08.02.2022.
 44. Комаров А.А., Комаров А.А. Оценка состояния травостоя с помощью вегетационного индекса NDVI // *Известия Санкт-Петербургского Государственного аграрного университета*. 2018. № 51. С. 124-129.
 45. Чашин А.Н., Кондратьева М.А. Использование данных дистанционного зондирования для оценки темпов самозарастания угольных отвалов Кизеловского бассейна // *Географический вестник*. 2019. № 2. С. 135-147. DOI: 10.17072/2079-7877-2019-2-135-147.
 46. Дубровская С.А., Норейка С.Ю. Многолетний геоинформационный мониторинг горнотехнических ландшафтов степной зоны России с применением спектрального индекса // *Научные Ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки*. 2019. Т. 43. № 1. С. 52-62. DOI: 10.18413/2075-4671-2019-43-1-52-62.
 47. Власюк Л.И. Стратегический приоритет экологизации экономики Кузбасса: фонд рекультивации земель // *Управленческое консультирование*. 2021. Т. 146. № 2. С. 69-78. DOI: 10.22394/1726-1139-2021-2-69-78.
 48. География Кемеровской области. [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/География_Кемеровской_области (дата обращения: 15.11.2022).
 49. Удодов Ю.В., Егорова Н.Т., Багмет Г.Н. Геолого-геоморфологическая характеристика и полезные ископаемые Кемеровской области // *Вестник Кемеровского государственного университета. Серия: Биологические, технические науки и науки о Земле*. 2017. № 1. С. 53-59.
 50. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области – Кузбасса в 2019 году. Кемерово: Департамент природных ресурсов и экологии Кемеровской области, 2020. 219 с.
 51. Официальный сайт Министерства угольной промышленности Кузбасса. [Электронный ресурс]. URL: <https://murk42.ru/ru/industry/pokazateli> (дата обращения: 15.11.2022).
 52. Подурец О.И. Техногенез и почвообразование в Южной лесостепи Кемеровской области // *Вестник Кемеровского государственного университета. Серия: Биологические, технические науки и науки о Земле*. 2018. № 1. С. 68-73. DOI: 10.21603/2542-2448-2018-1-68-73.

UDC 639.1.053 © M.A. Osintseva, E.A. Zhidkova, A.Yu. Prosekov, A.D. Kuznetsov, A.O. Rada, N.V. Burova, 2022
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2022, № S12, pp. 132-141
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-S12-132-141>

Title**ASSESSMENT OF THE VEGETATION INDEX OF COAL MINE DUMPS BASED ON THE NDVI DATA****Authors**

Osintseva M.A.¹, Zhidkova E.A.¹, Prosekov A.Yu.¹, Kuznetsov A.D.¹, Rada A.O.¹, Burova N.V.¹

¹ Kemerovo State University, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Authors Information

Osintseva M.A., PhD (Engineering), Head of Project Department, Kemerovo State University, e-mail k1marial@inbox.ru

Zhidkova E.A., Doctor of Economic Sciences, Associate Professor, Vice-Rector for Science and Innovation, e-mail 291154@mail.ru

Prosekov A.Yu., Doctor of Economic Sciences, Professor, Rector, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, e-mail: aprosekov@rambler.ru

Kuznetsov A.D., Director of the Computing Engineering Center, e-mail adkuz@inbox.ru

Rada A.O., PhD (Engineering), Director of the Digital Institute, e-mail radaartem@mail.ru

Burova N.V., Director of the Center for Landscape Architecture, e-mail centrla@mail.ru

Abstract

The purpose of the study is to investigate the efficiency of using the vegetation index of coal mine dumps to assess the in-situ condition of the vegetation cover using an abandoned site at one of the Kuzbass coal mine dumps as an example. A Supercam S250F unmanned aerial vehicle equipped with an automatic control system, the GPS/GLONASS navigation system, an onboard 24 Megapixel camera with a 20 mm lens, a multispectral camera and a thermal imager was used for high-precision aerial photography to create a site plan based on the data obtained. Route reconnaissance surveys, during which a general geobotanical evaluation of the territory was made, were performed on the experimental site as an alternative method. The survey object was the territory of one of the waste dumps of Taldinsky strip mine in the Prokopyevsk municipal district of the Kemerovo Region. The surveys were conducted in August 2021. When comparing the results of the two methods to determine the state of the vegetation cover on the territory disturbed by human activity, a conclusion was made that the NDVI method was more comprehensive in terms of the data obtained. In addition to the static determination of the current vegetation cover condition, this study can allow assessing the effectiveness of reclamation of the disturbed areas. To assess the quality of reclamation, the NDVI index should be measured periodically, with subsequent comparison of the obtained data.

Keywords

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Anthropogenic impact, Coal, Reclamation, Disturbed lands, Monitoring, Unmanned aerial vehicle, Remote sensing of land, Remote sensing data, Kemerovo Region – Kuzbass.

References

- Xue J. & Su B. Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications. *Journal of Sensors*, 2017, (2017). DOI: 10.1155/2017/1353691.
- NDVI – theory and practice. [Electronic resource]. Available at: <http://gis-lab.info/qa/ndvi.html> (accessed 15.11.2022).
- Hipel K.W., Hegazy T. & Yousefi S. Combined strategic and tactical negotiation methodology for resolving complex brownfield conflicts. *Pesquisa Operacional*, 2010, Vol. 30, (2), pp. 281-304. DOI: 10.1590/S0101-74382010000200003.
- Limasset E., Pizzol L., Merly C. et al. Points of attention in designing tools for regional brownfield prioritization. *Science of the Total Environment*, 2018, (622-623), pp. 997-1008. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.11.168.
- Ignatyeva M., Yurak V. & Pustokhina N. Recultivation of post-mining disturbed land: Review of content and comparative law and feasibility study. *Resources*, (2020), Vol. 9, (6). DOI: 10.3390/RESOURCES9060073.
- Mining, Metals & Minerals. [Electronic resource]. Available at: <https://www.statista.com/markets/410/topic/954/mining-metals-minerals/#overview> (accessed 15.11.2022).
- Alto Consulting Group. [Electronic resource]. Available at: <https://alto-group.ru> (accessed 15.11.2022).
- Vegetation indices. *Geomatika*, 2011, (2), pp. 98-102. (In Russ.).
- Li L., Yue Y., Qin F. et al. Multi-scale characterization of spatial variability of soil organic carbon in a semiarid zone in Northern China. *Sustainability*, 2018, Vol. 14, (15). DOI: 10.3390/su14159390.
- Ma Z., Dong C., Lin K. et al. A Global 250-m Downscaled NDVI product from 1982 to 2018. *Remote Sensing*, 2022, Vol. 14, (15). DOI: 10.3390/rs14153639.
- Zenkov I.V. Remote sensing in solving environmental problems of forest recultivation in coal pits of Siberia. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta imeni M.F. Reshetneva*, 2016, Vol. 17 (1), pp. 36-44. (In Russ.).
- Isaev A.S., Bartalev S.A., Lupyan E.A., et al. Satellite sensing as a unique tool of forest monitoring in Russia. *Vestnik Rossijskoj akademii nauk*, 2014, Vol. 84, (12), pp. 1073-1079. (In Russ.).
- Mounzer Nour. Development of a methodology for the application of satellite imagery data to forest monitoring. PhD (Engineering) diss. abstract: Specialization: 25.00.34 «Aerospace studies of the Earth, photogrammetry» / Mounzer Nour. Moscow, 2021, 24 p. (In Russ.).
- Wu Z., He H.S., Liang Y. et al. Determining relative contributions of vegetation and topography to burn severity from LANDSAT imagery. *Environmental Management*, 2018, (52), pp. 821-836. DOI: 10.1007/s00267-013-0128-3.
- Sonnentag O., Hufkens K., Teshera-Sterne C. et al. Digital repeat photography for phenological research in forest ecosystems. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2012, (152), pp. 159-177. DOI: 10.1016/j.agrformet.2011.09.009.
- Roy D.P., Kovalsky V., Zhang H.K. et al. Characterization of Landsat-7 to Landsat-8 reflective wavelength and normalized difference vegetation index continuity. *Remote Sensing of Environment*, 2016, (185), pp. 57-70. DOI: 10.1016/j.rse.2015.12.024.
- Ko D.W., Kim D., Narantsetseg A. et al. Comparison of field- and satellite-based vegetation cover estimation methods. *Journal of Ecology and Environment*, 2017, Vol. 41, (5). DOI: 10.1186/s41610-016-0022-z.
- Bergstedt J., Westerberg L. & Milberg P. In the eye of the beholder: Bias and stochastic variation in cover estimates. *Plant Ecology*, 2017, (204), pp. 271-283. DOI: 10.1007/s11258-009-9590-7.
- Petrova T.A. & Rudzish E. A method to assess the effectiveness of ameliorants in reclamation of disturbed lands. *Vestnik Evrazijskoj nauki*, 2021, Vol. 6, (13), pp. 271-283. (In Russ.).
- Tackenberg O. A new method for non-destructive measurement of biomass, growth rates, vertical biomass distribution and dry matter content based on digital image analysis. *Annals of Botany*, 2007, Vol. 99, (4), pp. 777-783. DOI: 10.1093/aob/mcm009.

21. Kiani M., Raave H., Simojoki A. et al. Recycling lake sediment to agriculture: Effects on plant growth, nutrient availability, and leaching. *Science of the Total Environment*, 2021, (753). DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.141984.
22. Elsayed S., Barmer G., Schmidhalter U. Passive reflectance sensing and digital image analysis allows for assessing the biomass and nitrogen status of wheat in early and late tillering stages. *Frontiers in Plant Science*, 2018, Vol. 10, (9). DOI: 10.3389/fpls.2018.01478.
23. Estoque R.C. & Murayama Y. Monitoring surface urban heat island formation in a tropical mountain city using Landsat data (1987-2015). *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2017, (133), pp. 18-29. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2017.09.008.
24. Moghaddam M.H.R., Sedighi A., Fasihi S. et al. Effect of environmental policies in combating aeolian desertification over Sejzy Plain of Iran. *Aeolian Research*, 2018, (35), pp. 19-28. DOI: 10.1016/j.aeolia.2018.09.001.
25. Fu Y., Li J., Weng Q. et al. Characterizing the spatial pattern of annual urban growth by using time series Landsat imagery. *Science of The Total Environment*, 2019, (666), pp. 274-284. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.02.178.
26. Pericak A.A., Thomas C.J., Kroodsmas D.A. et al. Mapping the yearly extent of surface coal mining in Central Appalachia using Landsat and google earth engine. *PLoS ONE*, 2018, Vol. 13, (7). DOI: 10.1371/journal.pone.0197758.
27. M.K. Firozjahi, A. Sedighi, H.K. Firozjahi et al. A historical and future impact assessment of mining activities on surface biophysical characteristics change: A remote sensing-based approach. *Ecological Indicators*, 2021, (122). DOI: 10.1016/j.ecolind.2020.107264.
28. Jin X., Zarco-Tejada P.J., Schmidhalter U. et al. High-throughput estimation of crop traits: A review of ground and aerial phenotyping platforms. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 2021, Vol. 9, (1), pp. 200-231. DOI: 10.1109/MGRS.2020.2998816.
29. Wasonga D.O., Yaw A., Kleemola J. et al. Red-green-blue and multi-spectral imaging as potential tools for estimating growth and nutritional performance of cassava under deficit irrigation and potassium fertigation. *Remote Sensing*, 2021, Vol. 13, (4). DOI: 10.3390/rs13040598.
30. Marín J., Yousfi S., Mauri P.V. et al. RGB vegetation indices, NDVI, and biomass as indicators to evaluate C3 and C4 turfgrass under different water conditions. *Sustainability*, 2020, Vol. 12, (6). DOI: 10.3390/su12062160.
31. Gée C., Denimal E., Merienne J. et al. Evaluation of weed impact on wheat biomass by combining visible imagery with a plant growth model: towards new non-destructive indicators for weed competition. *Precision Agriculture*, 2021, Vol. 22, (2), P. 550-568. DOI: 10.1007/s11119-020-09776-6.
32. Huang S., Tang L., Hupy J.P. et al. A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. *Journal of Forestry Research*, 2021, (22). DOI: 10.1007/s11676-020-01155-1.
33. Kuzevic S., Bobikova D. & Kuzevicova Z. Land cover and vegetation coverage changes in the mining area – A case study from Slovakia. *Sustainability*, 2022, Vol. 14, (3). DOI: 10.3390/su14031180.
34. Yang Z., Shen Y., Li J. et al. Unsupervised monitoring of vegetation in a surface coal mining region based on NDVI time series. *Environmental Science and Pollution Research*, 2022, Vol. 29, (18), pp. 26539-26548. DOI: 10.1007/s11356-021-17696-9.
35. Khelifi F., Caporale A.G., Hamed Y. et al. Bioaccessibility of potentially toxic metals in soil, sediments and tailings from a north Africa phosphate-mining area: Insight into human health risk assessment. *Journal of Environmental Management*, 2021, (279). DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.111634.
36. Mishra P.K., Rai A. & Rai S.C. Land use and land cover change detection using geospatial techniques in the Sikkim Himalaya, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 2020, Vol. 23, (2), pp. 133-143. DOI: 10.1016/j.ejrs.2019.02.001.
37. Karan S.K., Samadder S.R. & Maiti S.K. Assessment of the capability of remote sensing and GIS techniques for monitoring reclamation success in coal mine degraded lands. *Journal of Environmental Management*, 2016, (182), pp. 272-283. DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.07.070.
38. Uddin Siddiqui A. & Kumar Jain M. Change analysis in land use land cover due to surface mining in Jharia coalfield through Landsat time series data. *Materials Today: Proceedings*, 2021, (49), pp. 3462-3468.
39. Jiang L., Liu Y., Wu S. et al. Analyzing ecological environment change and associated driving factors in China based on NDVI time series data. *Ecological Indicators*, 2021, (129). DOI: 10.1016/j.ecolind.2021.107933.
40. Talgamer B.L. & Galaida K.P. A method for reclamation of non-mining flanks of open-pit mines. Patent for Invention No. 2754753 E21C 41/32 (RF), Applic. No. 2021100173, claim 12.01.2021, publ. 07.09.2021, Bull. 25. (In Russ.).
41. Postnov D.A. Technology for obtaining a universal reclamation agent. Patent for Invention No. 2753423 E21C 41/32 (RF), Applic. No. 2021114341, claim 20.05.2021, publ. 16.08.2021, Bull. 23. (In Russ.).
42. Patent No. CN114012142A. Agricultural remote sensing observation unmanned aerial vehicle manufacturing device / Du Y., Li P., Zhou Z. et al. заявл. 08.12.2021; опублик. 08.02.2022.
43. Patent No. CN202111303598.8. Mine area vegetation carbon sink remote sensing inversion method of fine land utilization type / Li J., Wang J., Li Q. et al. заявл. 05.11.2021; опублик. 08.02.2022.
44. Komarov A.A. & Komarov A.A. Assessment of the grass stand condition using the NDVI vegetation index. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2018, (51), pp. 124-129. (In Russ.).
45. Chaschin A.N. & Kondratyeva M.A. Use of remote sensing data for assessing the self-organized vegetation rates at coal dumps in the Kizelovsky basin. *Geograficheskij vestnik*, 2019, (2), pp. 135-147. (In Russ.).
46. Dubrovskaya S.A. & Noreika S.Yu. Multi-year geoinformation monitoring of mining landscapes in the steppe zone of the Russian Federation using spectral index. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta, Seriya: Estestvennye nauki*, 2019, Vol. 43, (1), pp. 52-62. (In Russ.).
47. Vlasyuk L.I. Strategic priority of ecologization of the Kuzbass economy: fund of land reclamation. *Upravlencheskoe konsul'tirovanie*, 2021, Vol. 146, (2), pp. 69-78. (In Russ.).
48. Geography of the Kemerovo Region. [Electronic resource]. Available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/География_Кемеровской_области (accessed 15.11.2022). (In Russ.).
49. Udodov Yu.V., Yegorova N.T. & Bagmet G.N. Geological and geomorphological characteristics and useful minerals of the Kemerovo region. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta, Seriya: Biologicheskie, tehnikeskije nauki i nauki o Zemle*, 2017, (1), pp. 53-59. (In Russ.).
50. Report on the condition and protection of the environment in the Kemerovo region – Kuzbass in 2019. Kemerovo, Department of Natural Resources and Environment of the Kemerovo region, 2020, 219 p. (In Russ.).
51. Official website of the Ministry of Coal Industry of Kuzbass. [Electronic resource]. Available at: <https://mupk42.ru/ru/industry/pokazateli> (accessed 15.11.2022). (In Russ.).
52. Podurets O.I. Technogenesis and soil formation in the Southern forest-steppe of the Kemerovo Region. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta, Seriya: Biologicheskie, tehnikeskije nauki i nauki o Zemle*, 2018, (1), pp. 68-73. (In Russ.).

Acknowledgements

The research was carried out with financial support of the 'Development and implementation of complex technologies in the areas of exploration and extraction of minerals, industrial safety, bioremediation, creation of new deep conversion products from coal raw materials while consistently reducing the environmental impact and risks to human life' Integrated Scientific and Technical Programme of the Full Innovation Cycle, approved by Order No. 1144-p of the Government of the Russian Federation as of May 11, 2022.

For citation

Osintseva M.A., Zhidkova E.A., Prosekov A.Yu., Kuznetsov A.D., Rada A.O. & Burova N.V. Assessment of the vegetation index of coal mine dumps based on the NDVI DATA. *Ugol'*, 2022, (S12), pp. 132-141. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-S12-132-141.

Paper info

Received November 1, 2022

Reviewed November 15, 2022

Accepted November 30, 2022