



ҚАШЫҚТЫҚТАН ЗОНДТАУ
ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ
REMOTE SENSING

DOI 10.51885/1561-4212_2023_3_88
MPHTI 36.29.31

**Э.А. Мурсалимова¹, А.А. Шаймерденова², Г.С. Мадимарова³, Н.А. Кадиркулов¹,
К.К. Аугамбаев¹**

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

²Казахский национальный аграрный исследовательский университет, г. Алматы, Казахстан

³Сатбаев университет, г. Алматы, Казахстан

E-mail: e.mursalimova@mail.ru*

E-mail: aiya77@mail.ru

E-mail: madimarovagulmira69@gmail.com

E-mail: Kadirkulovnurzat93@gmail.com

E-mail: augambaevkayrat2710@gmail.com

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНДЕКСА NDVI ПРИ МОНИТОРИНГЕ ЗЕМЕЛЬ ФОСФОРИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

ФОСФОРИТ КЕН ОРЫНДАРЫНЫҢ ЖЕРЛЕРІН МОНИТОРИНГТЕУ КЕЗІНДЕ NDVI ИНДЕКСІН ПАЙДАЛАҢУ

THE USE OF THE NDVI INDEX IN MONITORING THE LANDS OF PHOSPHORITE DEPOSITS

Аннотация. Процесс многолетних наблюдений за результатами работ биологической рекультивации, проведенных на отработанных отвалах по добыче фосфоритов месторождения Жанатас это комплекс восстановительных мероприятий, где полностью нарушена биота. Процесс приживаемости семян, отсутствие плодородного слоя, выживаемость семян в неблагоприятных условиях и т.д. процесс сам по себе сложный, продолжительный. В современном цифровом мире наблюдать за процессом восстановления, оценки состояния растительного покрова успешно используются данные ДЗЗ, по которым нами было получены сведения о состоянии результатов проведенных восстановительных работ.

В процессе мониторинговых исследований с помощью индекса NDVI нами определена степень развития культур, как одного из информативных цифровых показателей здоровья растений. С его помощью нами оценены состояние растений, используемых при биологической рекультивации нарушенных территорий. Для вычисления была использована специальная формула, по которой с высокой точностью определена плотность насаждений, их приживаемость и дальнейшее их развитие в выбранной точке. В течение всего периода вегетации этот показатель увеличивается, а затем начинает постепенно снижаться. Таким образом можно определить состояние растений в периоды вегетации, засушливые периоды и пр.

С помощью спектрального анализа спутниковых снимков высокого разрешения и проведенных расчетов индекса вегетации, мы отследили динамику роста и развития растительных культур, где явно видна диспропорция приживаемости растений.

Стабильный рост искусственно высаженных древесно-кустарниковых пород на техногенно нарушенных землях фосфоритовых месторождение еще раз подтверждает о необходимости проведения рекультивации нарушенных земель, почвенных исследований, а также мониторинга по результатам проводимых работ в целях рационального использования земель и их охране.

Ключевые слова: мониторинг земельных ресурсов; нарушение почвенного покрова; деградация земель; рекультивация отвалов; биологическая рекультивация; дистанционное зондирование земель; индекс вегетации.

Андатпа. Бүлінген биотаны қалпына келтіру іс-шараларының кешені ретінде Жанатас фосфорит кен орнының үйінділерін биологиялық рекультивациялау бойынша жүргізілген жұмыстардың нәтижелерін көпжылдық бақылау процесінің өзіндік ерекшеліктері бар (тұқым тіршілігінің күрделілігі, құнарлы қабаттың болмауы, қолайсыз жағдайларда тұқымның өмір сүруі және т.б.). Қазіргі уақытта өсімдік жамылғысының жағдайын бағалау кезінде ғарыштық суреттердің деректері белсенді қолданылады. Қашықтықтан зондтау (ЖҚЗ) деректері жиі қолданылады, олар бойынша әрбір нақты аумақ үшін үздіксіз ақпарат жиналатын жер үсті объектілерінің жай-күйі туралы мәліметтер алуға болады.

NDVI индексі арқылы мониторингтік зерттеулер барысында біз өсімдік денсаулығының ақпараттық цифрлық көрсеткіштерінің бірі ретінде дақылдардың даму дәрежесін анықтадық. Оның көмегімен біз бұзылған аумақтарды биологиялық қалпына келтіруде қолданылатын өсімдіктердің жағдайын бағалаймыз. Есептеу үшін арнайы формула қолданылды, оған сәйкес екепелердің тығыздығы, олардың өмір сүру деңгейі және таңдалған нүктеде одан әрі дамуы жоғары дәлдікпен анықталды. Вегетациялық кезеңде бұл көрсеткіш артады, содан кейін біртіндеп төмендей бастайды. Осылайша, вегетациялық кезеңдердегі өсімдіктердің күйін, құрғақ кезеңдерді және т.б. анықтауға болады.

Жоғары ажыратымдылықтағы спутниктік суреттерді спектрлік талдау арқылы алынған вегетациялық индекстің өзгеруін есептеу бізге өсімдіктердің өсуі мен дамуының оң және теріс динамикасын бақылауға мүмкіндік берді.

Вегетациялық индекс динамикасындағы айырмашылық өсімдіктердің өмір сүру теңгерімсіздігін көрсетеді.

Фосфорит кен орнының техногендік тұрғыдан бұзылған жерлерінде жасанды отырғызылған ағаштар мен бұталардың тұрақты өсуі бұзылған жерлерді рекультивациялау, топырақты зерттеу, сондай-ақ жерді ұтымды пайдалану және оларды қорғау бойынша жүргізілетін жұмыстардың нәтижелеріне мониторинг жүргізу қажеттігін тағы да растайды.

Түйін сөздер: жер ресурстарының мониторингі; топырақ жамылғысының бұзылуы; жердің деградациясы; үйінділерді рекультивациялау; биологиялық рекультивация; жерді қашықтықтан бақылау; вегетациялық индекс.

Abstract. The process of perennial monitoring of the results of the work carried out on biological reclamation of the dumps of the Zhanatas phosphorite deposit as a set of measures to restore damaged biota has its own characteristics (the complexity of seed life, the absence of a fertile layer, the survival of seeds in adverse conditions, etc.).

Currently, when assessing the state of vegetation, data from space images are actively used. Remote sensing (remote sensing) data is often used, on which it is possible to obtain data on the state of surface objects, on which continuous information is collected for each specific area.

In the course of monitoring studies using the NDVI index, we identified the degree of crop development as one of the information digital indicators of Plant Health. With its help, we assess the state of plants used in the biological restoration of Disturbed Areas.

For the calculation, a special formula was used, according to which the density of plantings, their survival rate and further development at the selected point were determined with high accuracy. During the growing season, this indicator increases, and then gradually begins to decrease. Thus, it is possible to determine the state of plants during the growing season, dry periods, etc.

The calculation of changes in the vegetation index obtained by spectral analysis of high-resolution satellite images allowed us to track both positive and negative dynamics of plant growth and development.

The difference in the dynamics of the vegetation index indicates the disproportions of plant survival. The stable growth of artificially planted tree and shrub species on technogenically disturbed lands of phosphorite deposits once again confirms the need for reclamation of disturbed lands, soil studies, as well as monitoring the results of ongoing work for the rational use of land and their protection.

Keywords: monitoring of land resources; violation of soil cover; land degradation; reclamation of dumps; biological reclamation; remote sensing of land; vegetation index.

Введение. Жамбылская область с периода постсоветского пространства занимает лидирующее место в республике и СНГ по добыче фосфоритов. В результате многолетней добычи фосфоритовых руд сформировались отвалы на многие километры (рис. 1, 2).

Нарушение сельскохозяйственных земель, загрязнение и засорение природных комплексов в юго-западной части Жамбылской области связано с добычей и переработкой

фосфоритовой руды, которая в бассейне производится открытым способом, с учтенными балансовыми запасами в количестве 5 млрд. тонн руды и около 1,2 млрд. тонн пятиоксида фосфора (P_2O_5). Республика по запасам фосфоритов входит в десятку стран (90 % всех мировых фосфатных резервов и относительно высокой (21-25 %) концентрацией полезного компонента P_2O_5 в исходной руде [1, с. 20]).



Рисунок 1, 2. Отвалы на месторождении и отработанные карьеры, заполненные грунтовыми водами

Фосфоритоносный бассейн Каратау находится на территории Жамбылской и Туркестанской областей в северо-западном направлении, представляет собой полосу протяженностью более 120 км и шириной около 30 км. В пределах бассейна выявлено 48 месторождений фосфоритовых руд с общими прогнозными запасами порядка 13,7 млрд. тонн руды, крупнейшими из которых являются: месторождения микрозернистых фосфоритов - Жанатас, Кокжон, Коксу (рисунок 1, 2), Шолактау, Аксай и Шийлибулак, находятся в пределах хребта Малого Каратау, на их базе действуют Жанатасский и Каратауский промышленные районы [2].

Материалы и методы исследования (Materialдар жэне зерттеу әдістері) (Materials and methods of research). Экспериментальная часть работы проводилась на территории месторождения Жанатас Жамбылской области. Добыча фосфоритовых руд открытым способом ведется с середины прошлого столетия. Негативное воздействие в ходе производственной деятельности обусловило формирование нарушенных земель. Широкомасштабные объемы работ по добыче фосфора привели к нарушению земель на больших площадях.

По истечении более десяти лет после проведения биологической рекультивации на нарушенных землях в ходе добычи фосфоритовых руд нами проводился мониторинг качества земель на месторождении Жанатас. Состояние растительного покрова на рекультивируемом участке оценивалась не только в лабораторных условиях на почвенные и растительные образцы, но и посредством данных космических снимков (данные дистанционного зондирования (ДЗЗ)). Возможности ДЗЗ позволили получить сведения о состоянии растительности, их состоянии, приживаемость древесно-кустарниковых, травянистых культур, определить аномальные изменения.

Одним из преимуществ данных дистанционного зондирования земли является способность оценить особенности изменений на больших территориях поверхности земли. Использование данных ДЗЗ в вопросах диагностики состояния природных ландшафтов – одно из актуальных направлений современной геоэкологии. Посредством ДЗЗ очень широко применяются вегетационные индексы NDVI в качестве характеристики фотосинтетически активной биомассы [3, 4].

Результаты и их обсуждения. Для восстановления нарушенных площадей и предотвращения вредного влияния их на природную среду учеными Института почвоведения и агрохимии им. У.У. Успанова под руководством профессора Ф. Козыбаевой была проведена рекультивация земель (горно-техническая и биологическая) для создания и ускоренного формирования на горно-рудных отвалах оптимальных культурных ландшафтов с продуктивным покровом. В процессе биологической рекультивации были высажены древесно-кустарниковые и травянистые культуры.

По истечении более 10 лет после проведенных восстановительных работ на нарушенных территориях фосфоритового месторождения, нами были использованы данные ДЗЗ спутника НАСА Landsat 8 (OLI). Спутник Landsat 8 снимает поверхность Земли каждые 16 дней с 8-дневным смещением от Landsat 7 (табл. 1).

Согласно номенклатуре сцен космоснимков Landsat по WRS (Worldwide Reference System) исследуемые отвалы месторождения располагается на 154 орбитальном пути (path) и в 30 ряду (row). Дата съемки местности соответствовала наивысшему вегетативному сезону местной растительности – середина июля 2013 и 2021 годов.

Изучение литературных источников показывает, что индекс Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) является успешно используемым вегетационным индексом для расчетов и анализа состояния растений посредством мультиспектральных снимков, получаемых с орбитальных искусственных спутников [5, 6].

Анализ временных рядов вегетационного индекса не простая задача из-за ряда специфических особенностей, так как они содержат множество выбросов и провалов различной длительности. Временные ряды индекса NDVI содержат множество информации о фенологическом цикле растительности и очень важны в работе для специалистов агропромышленного комплекса и др. [7, 8].

В своих исследованиях А. Мименбаева при проведении дистанционной оценки состояния растений с использованием индексов вегетации NDVI (значения индекса растительности основаны на спутниковых снимках Landsat 8) выявила, что значения вегетационного периода зависят от погодных, влажностных и антропогенных факторов в растительности пашни [9].

Таблица 1. Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) и тепловой инфракрасный датчик (TIRS) НАСА, 2018

Landsat 8 (OLI-Operational Land Imager) и тепловой инфракрасный датчик (TIRS – Thermal Infrared Sensor)	Каналы (channel)	Длина волн (микрометры)	Разрешение (метры)
	channel 1 – ультрасиний	0,435-0,451	30
	channel 2 – синий	0,452-0,512	30
	channel 3 – зелёный	0,533-0,590	30
	channel 4 – <i>красный (RED)</i>	0,636-0,673	30
	channel 5 – <i>ближний инфракрасный (NIR)</i>	0,851-0,879	30
	channel 6 – коротковолновый инфракрасный 1	1,566-1,651	30
	channel 7 – коротковолновый инфракрасный 2	2,107-2,294	30
	channel 8 – панхроматический	0,503-0,676	15
	channel 9 – перистые облака	1,363-1,384	30
	channel 10 – тепловой инфракрасный 1	10,60-11,19	100*(30)
	channel 11 – тепловой инфракрасный 2	11,50-12,51	100*(30)

Шаймарданов и др. в исследованиях в целях повышения плодородия почвы на территории Восточного Казахстана также использовали результаты обработки данных ДЗЗ (LeafletAPI и Sentinel hub API). Ими были получены данные индекса NDVI за

календарный год и обработаны с использованием программ Python в среде разработки Jupyter Notebook с применением программных пакетов matplotlib, pandas, numpy [10].

Показатели индекса формируются через спутниковые снимки зеленой массы. Показатель индекса поглощает электромагнитные волны в видимом красном диапазоне и отражает их в ближнем инфракрасном.

Для расчета индекса NDVI нами была использована формула:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}, \quad (1)$$

где, NIR – отражение в ближней инфракрасной области спектра; RED – отражение в красной области спектра. Плотность растительности вегетационного индекса равна разнице интенсивностей отраженного света в красном и инфракрасном диапазоне, деленной на сумму их интенсивностей [11].

В своих исследованиях Ша Хуан и др. также указали, что нормализованный разностный индекс растительности (NDVI), как один из первых аналитических продуктов дистанционного зондирования, использованный для упрощения сложных мультиспектральных изображений, в настоящее время является самым популярным индексом, используемым для оценки растительности. Эта популярность и широкое использование связаны с тем, что можно рассчитать NDVI с помощью любого мультиспектрального датчика с видимым и ближним ИК-диапазоном [12].

Әбдірахымов Н. и другие на основе наземных исследований и космических данных средней и низкой разрешающей способности разработали картографическую схему деградации пастбищ в Карагандинской области, которые были разделены на контуры в зависимости от степени деградации. На основе проведенного анализа вегетационного индекса NDVI по контурам деградации составлены карты степени деградации пустынных и сухих степных пастбищ Казахстана, даны рекомендации по сохранению и рациональному использованию кормовых ресурсов на пастбищной территории для укрепления и расширения сельскохозяйственного производства [13, 99-109].

Посредством расчетов данных ДЗЗ, величина вегетационного индекса показала отношение к параметрам древесно-кустарниковых пород и травянистых культур, использованных при биологической рекультивации горно-рудных отвалов фосфоритового месторождения Кокжон (опытный участок № 2) в данном пикселе снимка (рис. 3). Как показывает интенсивность света в красном диапазоне, за указанный период (8 лет) на территории месторождения Кокжон наблюдается увеличение нарушенных территорий.

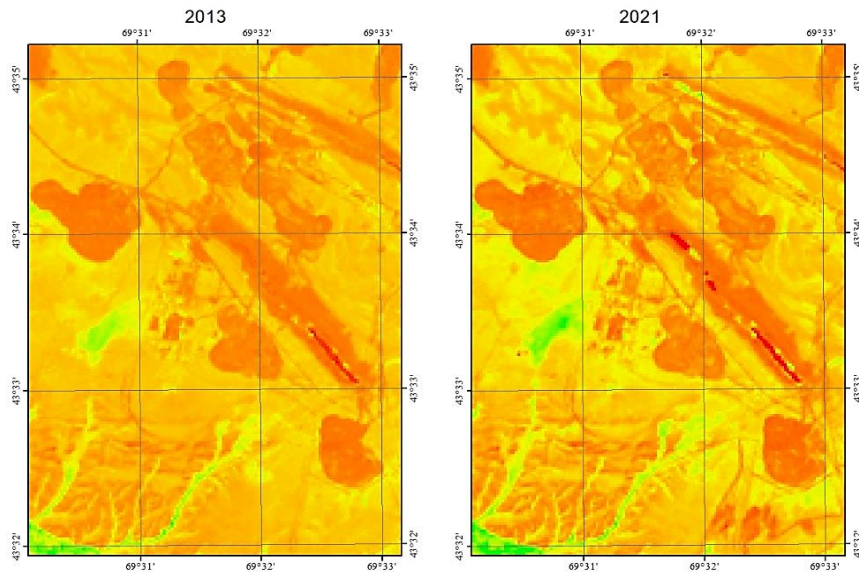


Рисунок 3. Карта состояния NDVI за период с 2013 -2021 годы на территории месторождения Кокжон

Данные мультиспектральных изображений наглядно показывает, что на красную зону спектра приходится интенсивное захламление территории, нарушение почвенного покрова земель посредством отгрузки пустых пород и появлением новых отвалов на участке. Высокая фотосинтетическая активность указывает на нарушение почвенного покрова, захламленность, загрязненность земель) в красной зоне спектра.

Расчет NDVI производили на площадном уровне, который базировался на наиболее стабильных участках зарастания древесно-кустарниковых и травянистых растений (рис. 4). Высокая фотосинтетическая активность указывает на эффективность вегетационных индексов особенностями отражения растений, которые поглощают световые волны.

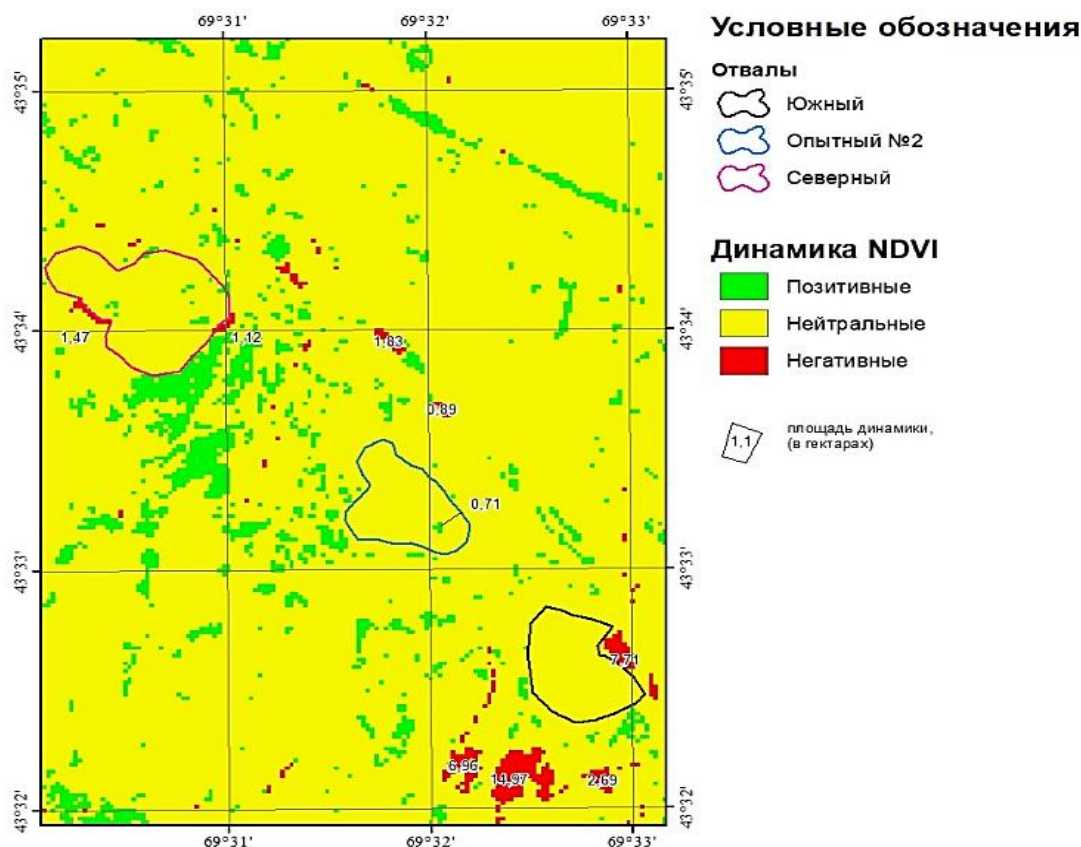


Рисунок 4. Карта динамики растительного покрова по NDVI в 2013-2021 годы на территории отвалов месторождения Кожон

В результате исследований нами получен полноценный спектральный анализ и выявили, что наблюдается стабильный прирост древесно-кустарниковых и травянистых растений. Индекс NDVI чувствителен к изменениям почвенного и атмосферного фонов, может колебаться в условиях густой растительности (при высоком уровне индекса листовой поверхности (LAI)).

Преимуществами дистанционного зондирования при проведении мониторинга природных ландшафтов на основе космоснимков являются глобальность исследований (получение информации о природных объектах на момент проведения исследований, в том числе слабоизученных и труднодоступных территорий) [14, 15, 16].

Заключение. Мониторинг состояния древесно-кустарниковых и травянистых растений, использованных при биологической рекультивации техногенно нарушенных земель фосфоритового месторождения посредством оценки вегетационного индекса (NDVI), позволило выявить неоднородность его распределения на опытном участке (неравномерность роста и развития растений как по территории отвала), отследить позитивные и негативные динамики развития растений. Разница в динамике индекса вегетации NDVI говорит о диспропорциях приживаемости растений. Это еще раз подтверждает о необходимости проведения рекультивации, а также мониторинга по результатам проводимых работ по рациональному использованию земель и их охране.

Список литературы

1. Руководство по системе социальной ответственности. ГПКК - Р- СМСО-01. ТОО «Казфосфат» филиал ГПК «Каратау», Жанатас, 2014. – С. 20.
2. Геологическое строение месторождений ГПК «Каратау» (общие положения). Материалы ТОО «Казфосфат» ГПК «Каратау», 2019.
3. А.П. Гусев. Изменения NDVI как индикатор динамики экологического состояния ландшафтов (на примере восточной части Полесской провинции). Вестник ВГУ, Серия: География. Геоэкология, 2020. – № 1. – С. 101-107.
4. Д.М. Сатиев Е.М, и др. Оценка средних многолетних и сезонных изменений растительного покрова Щучинско-Боровской курортной зоны на основе данных дистанционного зондирования Земли. НАУЧНЫЕ СТАТЬИ: Гидрометеорология и экология. – № 1, 2020. – С. 37-45.
5. Спектральные вегетационные индексы: от теории к агрономической практике. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://glavagronom.ru/articles/spektralnye-vegetacionnye-indeksy-ot-teorii-k-agronomicheskoy-praktike>
6. Табунщик В.А., Горбунов Р.В., Даниленко А.А. Оценка вегетационного индекса NDVI на территории города федерального значения Севастополь в 2017 году по результатам анализа космических снимков SENTINEL-2. Труды Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского – природного заповедника РАН 2019. Выпуск 4 (12). – С. 56–70.
7. Спивак Л.Ф. Детектирование аномальных значений временных рядов вегетационных индексов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2014. – Т. 11, № 3. – С. 193-199.
8. Майорова В.И. Контроль состояния сельскохозяйственных полей на основе прогнозирования динамики индекса NDVI по данным космической мультиспектральной и гиперспектральной съёмки / В.И. Майорова, А.М. Банников, Д.А. Гришко и др. // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2013. – В. 07. – С. 199–228.
9. А. Мименбаева, А.Аканова. Солтүстік Қазақстан облысының ауылшаруашылығы дақылдарының күйін NDVI сызықтық трендтері арқылы зерттеу. № 3 (2022): ҚР ҰҒА жаңалықтары. Информатика сериясы/ Информатика, <https://doi.org/10.32014/2022.2518-1726.146>.
10. Ж.К. Шаймарданов и др. Анализ современных отечественных и зарубежных достижений по внедрению элементов системы точного земледелия. №3, 2022: «ВЕСТНИК ВКТУ». Серия технические науки и технологии, DOI 10.51885/1561-4212_2022_3_198
11. Дубинин М. NDVI – теория и практика. Теоретические основы использования индекса NDVI // 2016. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://gis-lab.info/qa/ndvi.html>.
12. Sha Huang, Lina Tang, Joseph P. Hupy, Yang Wang, Guofan Shao. A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing // Journal of Forestry Research. Volume 32, (2021). P. 1 – 6.
13. Әбдірахымов Н.И. др. Оценка деградированных пастбищсветлых темно-бурых почв засушливой степной зоны Казахстана Изденістер, нәтижелер – Исследование, результаты № 2 (90) ISSN 2304-3334
14. KGS Space Nechnologies. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://km.gharysh.kz/courses/agro>
15. Хабр. Общедоступные данные дистанционного зондирования Земли: как получить и использовать. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/articles/505578/>
16. Обработка данных дистанционного зондирования Земли: практические аспекты: [учеб. пособие] / [В.Г. Коберниченко, О.Ю. Иванов, С.М. Зраенко и др.; под общ. ред. В.Г. Коберниченко]. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2013. – 168 с.

References

1. Guidance on the system of social responsibility. GPKK - R- SMSO-01. Kazphosphate LLP, branch of GPC Karatau, Zhanatas, 2014, p. 20
2. Geological structure of the deposits of the GPC "Karatau" (general provisions). Materials of LLP "Kazphosphate" GPC "Karatau", 2019.
3. A.P. Gusev. NDVI changes as an indicator of the dynamics of the ecological state of landscapes (on the example of the eastern part of the Polesky province). Bulletin of VSU, Series: Geography.

Geoecology, 2020, No. 1, pp.101-107.

4. D.M. Satiev E.M., et al. Assessment of average long-term and seasonal changes in the vegetation cover of the Shchuchinsk-Borovskaya resort area based on remote sensing data. SCIENTIFIC ARTICLES: Hydrometeorology and Ecology, No. 1, 2020. pp. 37-45.
5. Spectral vegetation indices: from theory to agronomic practice. [Electronic resource]. Access mode: <https://glavagronom.ru/articles/spektralnye-vegetacionnye-indeksy-ot-teorii-k-agronomicheskoy-praktike>
6. Tabunshchik V.A., Gorbunov R.V., Danilenko A.A. Assessment of the vegetation index NDVI on the territory of the federal city of Sevastopol in 2017 based on the results of the analysis of SENTINEL-2 satellite images. Proceedings of the Karadag Scientific Station named after T.I. Vyazemsky – Nature Reserve of the Russian Academy of Sciences 2019. Issue 4 (12) pp. 56-70.
7. Spivak L.F. Detection of anomalous values of time series of vegetation indices // Modern problems of remote sensing of the Earth from space. - 2014. – Vol. 11, No. 3. – pp. 193-199.
8. Mayorova V.I. Control of the state of agricultural fields on the basis of forecasting the dynamics of the NDVI index according to space multispectral and hyperspectral surveys / V.I. Mayorova, A.M. Bannikov, D.A. Grishko, etc. // Science and Education: scientific edition of Bauman Moscow State Technical University. - 2013. – V. 07. – pp. 199-228.
9. A. Mimenbayeva, A.Akanova. Soltustik Kazakhstan oblysynn auylysharuashylygy dakyl-darynyn kuyin NDVI syzyktyk trendteri arkyly zertteu. No. 3 (2022): KR UGA zhanyktary. Computer Science series/ Computer Science, <https://doi.org/10.32014/2022.2518-1726.146> .
10. J.K. Shaimardanov et al. Analysis of modern domestic and foreign achievements in the introduction of elements of the precision farming system. No. 3, 2022: "BULLETIN OF VKTU". Series of technical sciences and technologies, DOI 10.51885/1561-4212_2022_3_198
11. Dubinin M. NDVI - theory and practice. Theoretical foundations of the use of the NDVI index // 2016. [Electronic resource]. Access mode: <https://gis-lab.info/qa/ndvi.html> .
12. Sha Huang, Lina Tang, Joseph P.Hupy, Yang Wang, Guofan Shao. A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing // Journal of Forestry Research. Volume 32, (2021). p. 1-6.
13. Abdurahymov N. And others. Assessment of degraded pastures of light dark brown soils of the arid steppe zone of Kazakhstan Izdenister, natizheler – Study, results No. 2 (90) ISSN 2304-3334
14. KGS Space Nechnologies. [electronic resource]. Access mode: <https://km.garysh.kz/courses/agro>
15. Habr. Publicly available Earth remote sensing data: how to obtain and use. [Electronic resource]. Access mode: <https://habr.com/ru/articles/505578/>
16. Processing of Earth remote sensing data: practical aspects: [study. manual] / [V.G. Kobernichenko, O.Y. Ivanov, S.M. Zraenko, etc.; under the general editorship of V.G. Kobernichenko]. - Yekaterinburg: Ural Publishing House. un-ta, 2013. – 168 p.