

УДК 622.882:528.8

**Батжаргал Долгорсүрэн**

аспирант,  
Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
664074 г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83  
e-mail: [doogii.do@mail.ru](mailto:doogii.do@mail.ru)

**Тальгамер Борис Леонидович**

доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой,  
Иркутский национальный исследовательский технический университет  
e-mail: [talgamer@istu.edu](mailto:talgamer@istu.edu)

**Болотнев Александр Юрьевич**

кандидат технических наук, доцент,  
Иркутский национальный исследовательский технический университет  
e-mail: [abolotnev@mail.ru](mailto:abolotnev@mail.ru)

**Олзоев Борис Николаевич**

кандидат географических наук, доцент,  
Иркутский национальный исследовательский технический университет  
e-mail: [bnolzoev@yandex.ru](mailto:bnolzoev@yandex.ru)

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ  
НА РАСТИТЕЛЬНОСТЬ СТЕПНОЙ ЗОНЫ  
ПО ДАННЫМ РАЗНОВРЕМЕННОЙ  
КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ***Аннотация:*

Рассмотрена методика использования разновременных мультиспектральных космических снимков для количественного анализа состояния растительности как основного компонента нарушенного естественного ландшафта в результате проведения горных работ. Для анализа яркостных характеристик растительности и других групп ландшафта был применен итеративный самоорганизующийся алгоритм анализа данных ISODATA. Были получены синтезированные изображения космических снимков для предварительного визуального анализа, где хорошо различимы ландшафтные выделы с наличием растительности и без нее. Выявлена динамика суммарных значений площадей ландшафтных выделов с наличием растительности в сторону резкого уменьшения в среднем на 6 % с 2006 по 2014 г., затем небольшое увеличение порядка 0,03 % до 2021 г. Также следует обратить внимание на травянистую растительность: площади травянистого покрова уменьшаются с 62,33 км<sup>2</sup> в 2006 г. до 59,01 км<sup>2</sup> в 2014 г., а далее возрастают до 62,88 км<sup>2</sup> к 2021 г. Это связано с прекращением разработки и добычи строительного сырья в силу его исчерпывания и консервации строительных карьеров. Алгоритм неконтролируемой классификации ISODATA, примененный при анализе мультиспектральных разновременных космических снимков, позволил получить состояние ландшафта в динамике за период 2006 – 2021 гг., характеризующееся деградацией растительного покрова, связанного с увеличением объемов горных работ. Для проведения мероприятий по восстановлению растительности необходима разработка рекомендаций по технологии рекультивации карьеров с целью увеличения интенсивности самозарастания нарушенных земель.

*Ключевые слова:* мультиспектральные космические снимки, рекультивация карьеров, самовосстановление растительности, открытые горные работы.

DOI: 10.25635/2313-1586.2022.01.077

**Batzhargal Dolgorsuren**

postgraduate student,  
Irkutsk National Research  
Technical University,  
664074 Irkutsk, 83 Lermontov Str.  
e-mail: [doogii.do@mail.ru](mailto:doogii.do@mail.ru)

**Talgamer Boris L.**

Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
Head of Department,  
Irkutsk National Research Technical University  
e-mail: [talgamer@istu.edu](mailto:talgamer@istu.edu)

**Bolotnev Alexander Yu.**

Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor,  
Irkutsk National Research Technical University  
e-mail: [abolotnev@mail.ru](mailto:abolotnev@mail.ru)

**Olzoev Boris N.**

Candidate of Geographical Sciences,  
Associate Professor,  
Irkutsk National Research Technical University  
e-mail: [bnolzoev@yandex.ru](mailto:bnolzoev@yandex.ru)

**EVALUATION OF THE IMPACT  
OF MINING ON THE VEGETATION  
OF THE STEPPE ZONE  
ACCORDING TO THE DATA  
OF MULTI-TEMPORAL SPACE IMAGING***Abstract:*

The paper considers the technique of using multi-temporal multispectral space images for quantitative analysis of the state of vegetation as the main component of the disturbed natural landscape because of mining operations. An iterative self-organizing ISODATA data analysis algorithm was used to analyze the brightness characteristics of vegetation and other landscape groups. Synthesized images of satellite pictures were obtained for preliminary visual analysis, which clearly distinguish landscape sections with and without vegetation. The dynamics of the total values of the areas of landscape stands with the presence of vegetation were revealed in the direction of a sharp decrease by an average of 6% from 2006 to 2014, then a slight increase of about 0.03% until 2021. Grass covers reduced from 62.33 sq.km in 2006 to 59.01 sq.km in 2014, and then increased to 62.88 sq. km by 2021. This was due to the cessation of development and production of building raw materials because of its exhaustion and conservation of construction quarries. The ISODATA unsupervised classification algorithm, applied in the analysis of multispectral multi-temporal space images, made it possible to obtain the state of the landscape in dynamics for the period 2006-2021, which was characterized by the degradation of vegetation associated with an increase in the volume of mining. To carry out measures to restore vegetation, it is necessary to develop recommendations on the technology of reclamation of quarries in order to increase the intensity of self-overgrowing of disturbed lands.

*Key words:* multispectral satellite images, reclamation of quarries, self-restoration of vegetation, open pit mining.

### *Введение*

При освоении минерально-сырьевой базы территории возникает проблема восстановления нарушенного ландшафта. Для выбора направления рационального способа рекультивации необходимы данные, которые имеют открытую доступность и одновременно являются объективным материалом при оценке нарушенности естественного ландшафта. К таким материалам относят данные дистанционного зондирования из космоса, позволяющие проанализировать состояние местности в динамике и получить объективную картину влияния открытых горных работ на естественные компоненты природной среды [1].

На месторождениях **песков и песчано-гравийного материала** карьеры по добыче строительных материалов располагаются в основном вблизи объектов строительства и населенных пунктов, поэтому в пригородной территории ими нарушено значительное количество земель. Из-за большого количества таких карьеров общие площади нарушенных земель весьма значительны и превышают площади, нарушенные при добыче металлов, угля и других полезных ископаемых. Спрос на строительные полезные ископаемые (песок, щебень и др.) ежегодно растет, что связано с увеличением гражданского и промышленного строительства, а также с развитием транспортной сети, в т.ч. автомобильных и железных дорог. Одновременно растут и площади нарушенных карьерами земель, что обуславливает важность работ по рекультивации с целью повышения экологической ситуации вблизи горных работ [2].

Самым уязвимым природным компонентом на естественных ландшафтах является растительность (травянистая, кустарниковая, древесная), которая в геохимическом круговороте может играть роль буфера или захватывающего концентратора [3]. Не стоит забывать и о климатических условиях ландшафта, от чего зависит накопление или удаление элементов, участвующих в геохимическом круговороте в экосистемах.

### *Объекты исследования*

В качестве объектов исследования выбраны пригородные территории вблизи столицы Монголии г. Улан-Батор, вокруг которого карьеры по добыче строительного материала разбросаны на большой площади и в большинстве не рекультивированы. Карьеры по добыче песка и песчано-гравийных пород в этом районе характеризуются небольшой площадью (5 – 40 га), и незначительной глубиной (5 – 10 м), однако их общее количество приближается к первой сотне. Вместе с тем в данном районе ограниченные природные условия: горный климат, слабое восстановление растительности, мало осадков в течение года. Поэтому задача изучения состояния растительности на нарушенных участках по разновременным космическим снимкам в условиях степной зоны этого района является актуальной.

Район столицы Монголии характеризуется горным климатом с чертами резко континентального. Зима в городе долгая и суровая, а лето прохладное. Осадков выпадает мало, в основном – в летний период; зима малоснежная. Большая высота над уровнем моря также сильно снижает температуру в городе и районе, среднегодовая температура составляет  $-0,4^{\circ}\text{C}$ . Летом средняя температура – около  $20^{\circ}\text{C}$ . Зима в столице Монголии скорее пыльная, чем снежная; несмотря на это, в последнее время в г. Улан-Батор выпадает все больше снега. Самый холодный месяц года – январь: температура может опускаться ниже минус  $40^{\circ}\text{C}$ . Следует, однако, отметить, что холод в Монголии переносится значительно легче из-за сухого воздуха. По ботанико-географическому районированию территория г. Улан-Батор относится к Евразийской степной области, Дауро-Монгольской (Центрально-Азиатской) подобласти, Монгольской степной провинции.

### *Материалы и методы исследований*

Для оценки состояния элементов карьеров и внешних породных отвалов использовались космические снимки на плоском изображении. Такой подход используют авторы [4], которые рассматривают снимки с космических аппаратов как некий прообраз действительности. Исследуемые объекты представлены на снимках в уменьшенном виде с потерей деталей, что объясняется техническими условиями съемки и особенностями природных объектов. Некоторые элементы изучаемых объектов, отображаемые на снимках, должны изучаться в ходе проведения полевых исследований. Положительным моментом использования космоснимков является то, что на снимках отображаются объекты, не видимые с земной поверхности вследствие их больших размеров.

При изучении растительности использованы сканерные космические снимки серии Landsat-5 и Landsat-8 с официального сайта Геологической службы США (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) [5]. Были выбраны снимки на август 2006, 2014 и 2021 г. при отсутствии облачности, иллюстрирующие преимущественно высокие значения вегетации растений. При этом нужно учитывать, что на отражательные свойства поверхности влияет ряд факторов, таких как фенологическое состояние растительности, преобладающий вид растений, степень повреждения растений, засоренность полей, а также условия производства наблюдений (угол наблюдения, высота солнца, условия освещенности, прозрачность атмосферы), калибровка сканирующей аппаратуры, условия погоды и тип почвы [6]. Растительность поглощает солнечную радиацию преимущественно в видимом (красном) диапазоне солнечного спектра (0,58 – 0,68 мкм), отражает и рассеивает ее в ближнем инфракрасном диапазоне (0,73 – 1,1 мкм).

Для анализа яркостных характеристик растительности и других групп ландшафта был применен итеративный самоорганизующийся алгоритм анализа данных ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique), который заключается в более точной, многошаговой кластеризации. Пиксели снимка проходят по алгоритму через несколько повторов (итераций), во время которых часть пикселей переходит из одного класса в другой. Процедура кластеризации включает три основных блока: 1) блок аппроксимации центров; 2) блок расщепления центров; 3) блок слияния центров. В отдельный блок можно также вынести процедуру, осуществляющую передачу управления при завершении одного из указанных процессов [7, 8]. Используемый метод имеет преимущество при обобщенном анализе снимков при ландшафтном дешифрировании объектов на снимках.

### *Результаты исследований и их обсуждение*

В ходе проведения обработки разновременных космических снимков были получены синтезированные изображения космических снимков для предварительного визуального анализа, где хорошо различимы ландшафтные выделы с наличием растительности и без нее.

На рис. 1 приведен результат синтеза трех спектральных каналов – зеленого (0,63 – 0,68 мкм), ближних инфракрасных (1,56 – 1,66 мкм; 2,1 – 2,3 мкм).

Синтез примечателен тем, что здоровая растительность выглядит ярко-зеленой, травянистые сообщества – зелеными, ярко-розовые участки детектируют открытую почву, коричневые и оранжевые тона характерны для разреженной растительности. Сухостойная растительность выглядит оранжевой, вода – голубой. Песок, почва и минералы могут быть представлены очень большим числом цветов и оттенков. Эта комбинация дает великолепный результат при анализе пустынь и опустыненных территорий. Оливково-зеленый цвет характерен для лесных массивов, более темный цвет является индикатором примеси хвойных пород [9].

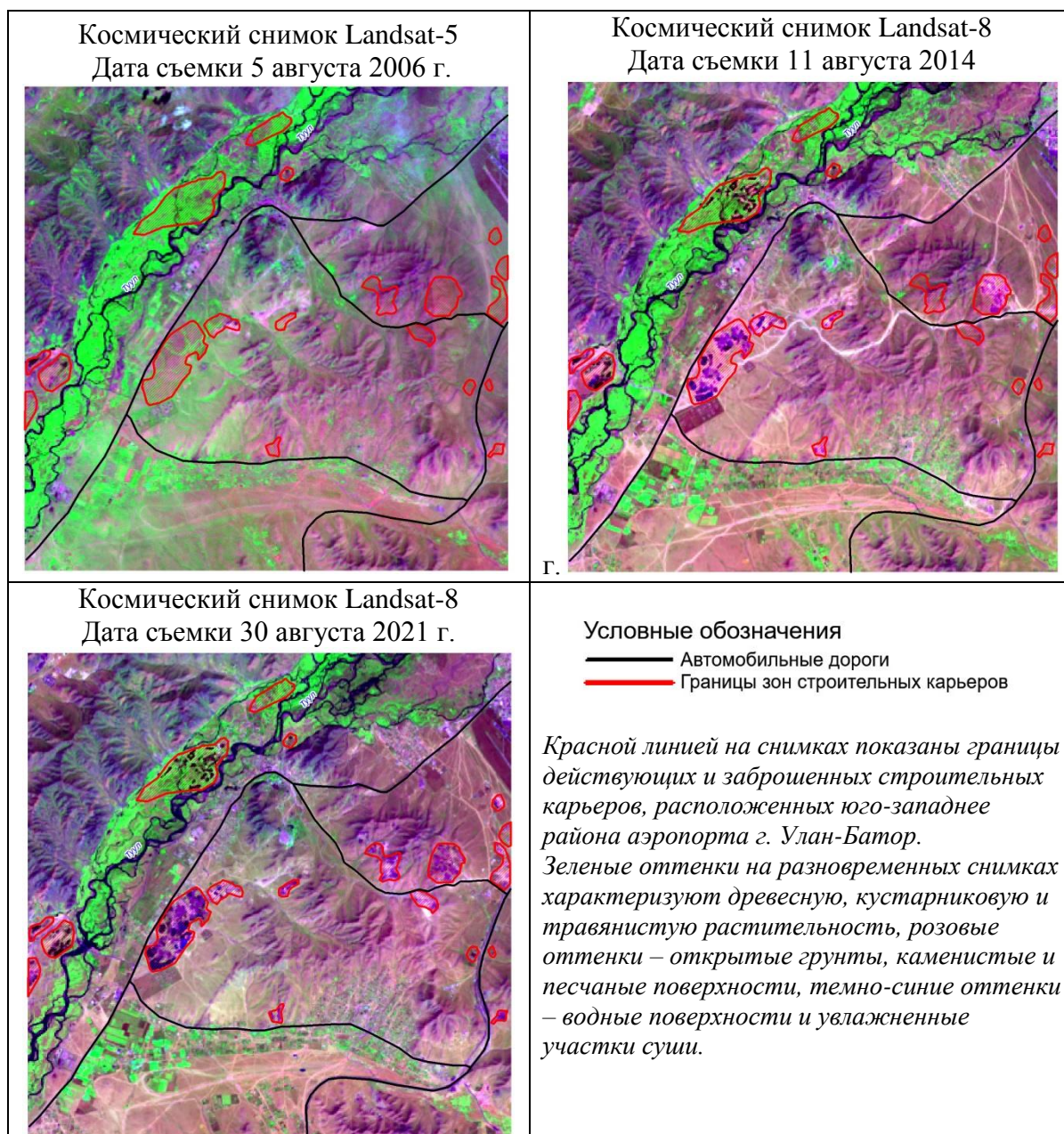


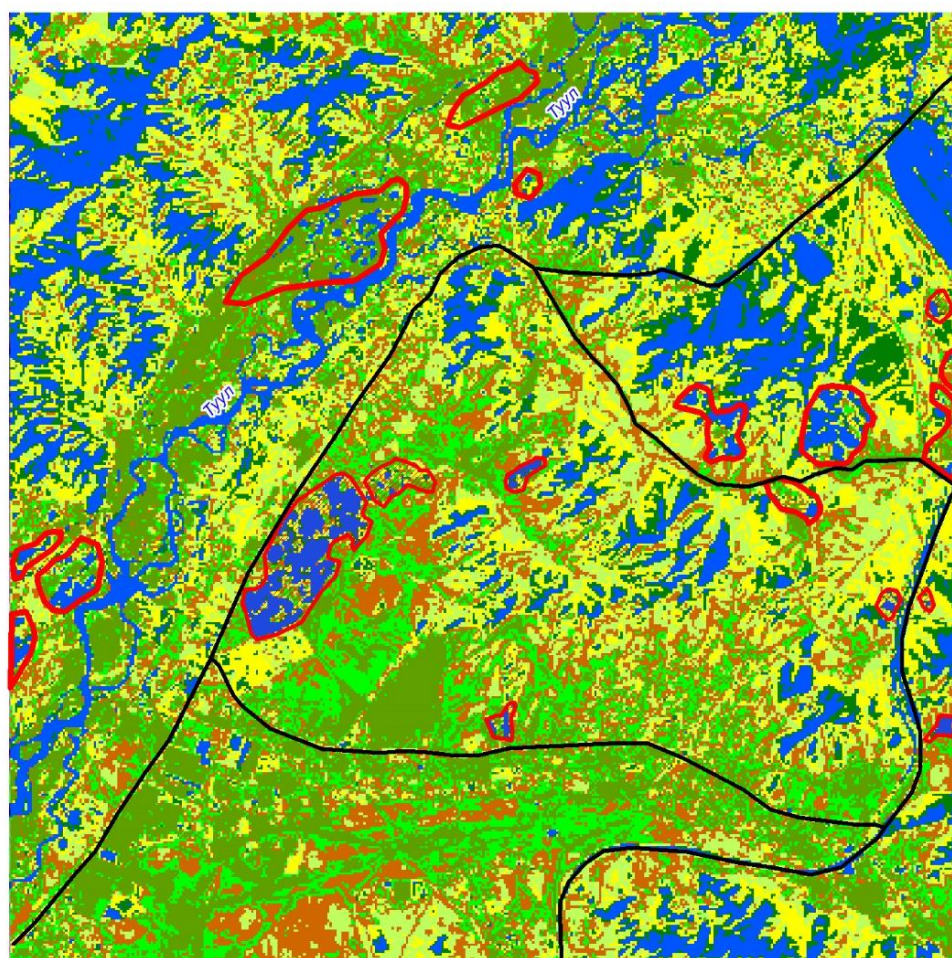
Рис. 1. Синтезированные изображения космических снимков Landsat (комбинация зеленого и ближних инфракрасных спектров), масштаб снимков 1: 200 000

Далее снимки были обработаны по методу анализа данных ISODATA, по его результатам была получена карта с тематическими классами, представленная на рис. 2. Данная процедура называется тематической классификацией снимка, под ней понимают процесс количественного отбора данных из изображения и группирования точек или частей изображения в классы, предназначенные для представления различных физических объектов или типов. Результатом выполнения процесса классификации изображения являются карты классификации. Проверка алгоритма ISODATA осуществляется по сходимости спектров для разных лет съемки. Дополнительно для количественной оценки состояния растительности проводят расчет нормализованного дифференциального вегетационного индекса (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI) [10].

Площади исследуемого района устанавливались по векторному слою карты. Гистограммы распределения временного хода значений площадей ландшафтных выделов



с наличием растительности приведены на рис. 3. Гистограмма отображает динамику соотношений площадей ландшафтных выделов по месяцу август, когда достигается максимум значений вегетации растительности. Даты изменяются с 5 по 30 августа ввиду большой облачности на снимках на даты, различимые на 2 – 3 дня.



0 5  
километры  
Масштаб: 1:100 000

#### Условные обозначения

- Автомобильные дороги
- Границы зон строительных карьеров
- Реки и увлажненные участки
- Эрозионный рельеф (овраги, обрывы, осыпи)
- Открытая почва и песчаные поверхности
- Древесная и кустарниковая растительность (отдельно стоящие деревья)
- Древесная, кустарниковая и травянистая растительность на увлажненных участках
- Травянистая растительность на пологих склонах
- Разреженная травянистая растительность на увлажненных участках

Рис. 2. Результат дешифрирования космического снимка Landsat-8 методом тематической классификации ISODATA, масштаб картосхемы 1:100 000

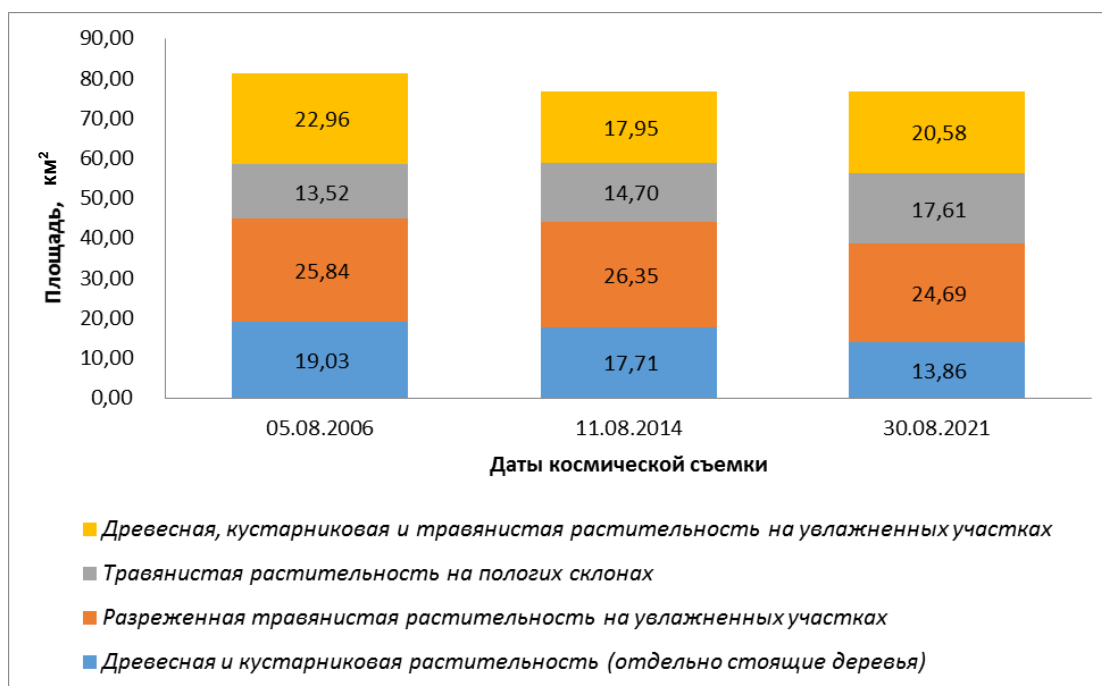


Рис. 3. Площади растительного покрова, рассчитанные по разновременным космическим снимкам Landsat

Суммарные значения площадей всех ландшафтных выделов с подразделением на растительные и нерастительные классы представлены в табл. 1. Стоит отметить динамику суммарных значений площадей ландшафтных выделов с наличием растительности в сторону резкого уменьшения в среднем на 6 % с 2006 по 2014 г., затем небольшое увеличение порядка 0,03 % до 2021 г. Также следует обратить внимание на травянистую растительность: площади травянистого покрова уменьшаются с 62,33 км<sup>2</sup> в 2006 г. до 59,01 км<sup>2</sup> в 2014 г., а далее возрастают до 62,88 км<sup>2</sup> к 2021 г. Это связано с прекращением разработки и добычи строительного сырья в силу его исчерпывания и консервации строительных карьеров.

Таблица 1

Площади ландшафтных выделов, установленные по данным разновременной космической съемки

Ландшафтный выдел	Значения площадей выделов, км <sup>2</sup>		
	Даты космической съемки		
	05.08.2006	11.08.2014	30.08.2021
<b>Без растительности</b>			
Реки и увлажненные участки	21,62	19,04	21,26
Открытая почва и песчаные поверхности	23,01	24,78	21,45
Эрозионный рельеф (овраги, обрывы, осыпи)	18,02	23,45	24,54
<b>Итого:</b>	<b>62,64</b>	<b>67,28</b>	<b>67,25</b>
<b>С наличием растительности</b>			
Древесная и кустарниковая растительность (отдельно стоящие деревья)	19,03	17,71	13,86
Разреженная травянистая растительность на увлажненных участках	25,84	26,35	24,69
Травянистая растительность на пологих склонах	13,52	14,70	17,61
Древесная, кустарниковая и травянистая растительность на увлажненных участках	22,96	17,95	20,58
<b>Итого:</b>	<b>81,36</b>	<b>76,73</b>	<b>76,75</b>
<b>Всего</b>	<b>144,00</b>	<b>144,00</b>	<b>144,00</b>

### Заключение

Таким образом, по материалам разновременной космической съемки Landsat был выполнен спектральный и пространственный анализ типов растительности в условиях степной зоны Монголии. Алгоритм неконтролируемой классификации ISODATA, примененный при анализе мультиспектральных разновременных космических снимков, позволил получить состояние растительного ландшафта в динамике за период 2006 – 2021 гг., характеризующееся деградацией растительного покрова, связанного с увеличением объемов горных работ. Представленный подход дает дополнительную информацию для обоснованного проведения мероприятий по восстановлению растительности (увеличения интенсивности самозаращения нарушенных земель) с целью разработки рекомендаций по технологии рекультивации карьеров.

### Список литературы

1. Никитина Ю.Г., Олзоев Б.Н., 2017. Картографическое отображение структуры ландшафтов острова Ольхон и Приольхонья по разновременным космическим снимкам Landsat. *Вестник СГУГиТ*, Т. 22, № 2, С. 103 – 119.
2. Долгосурэн Б., Тальгамер Б.Л., 2020. Анализ интенсивности самозаращения нарушенных земель при добыче песчано-гравийной смеси в Монголии. *Мат-лы XIX Междунар. научно-практ. конф. «Перспективы развития горно-металлургической отрасли (Игошинские чтения – 2019)»*. Иркутск: ИРННТУ, С. 33 – 39.
3. Демиденко Г.А., 2018. *Ландшафтоведение: учеб. пособие*. Красноярск: Красноярский ГАУ, 139 с.
4. Зеньков И.В., Баркова В.И., Нефедов Б.Н., Логинова Е.В., Ямских И.Е. 2017. Результаты полевых исследований и дистанционного мониторинга формирования экосистем на территории горнопромышленного ландшафта угольного разреза «Изыхский». *Экология и промышленность России*, Т. 21, № 1, С. 36 – 41.
5. *Геопортал космических снимков*. URL <https://earthexplorer.usgs.gov/> (дата обращения 20.04.2022)
6. Голубятников Л.Л., Денисенко Е.А., 2006. Взаимосвязь вегетационного индекса с климатическими параметрами и структурными характеристиками растительного покрова. *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*, Т. 42, № 4, С. 524 – 538.
7. Лурье И.К., Косиков А.Г., 2003. *Теория и практика цифровой обработки изображений*. Москва: Научный мир, 166 с.
8. Чабан Л.Н., 2004. *Теория и алгоритмы распознавания образов. Учебное пособие*. Москва: МИИГАиК, 70 с.
9. *Интерпретация комбинаций каналов данных Landsat TM / ETM+*. URL: <https://gis-lab.info/qa/landsat-bandcomb.html> . (дата обращения 10.04.2022)
10. *Мониторинг состояния сельскохозяйственных культур в Пермском крае по данным дистанционного зондирования Земли*. URL: <http://gis.psu.ru/wp-content/uploads/2014/08/89716470.pdf>. (дата обращения 2.04.2022)

### References

1. Nikitina Yu.G., Olzoev B.N., 2017. Kartograficheskoe otobrazhenie struktury landshaftov ostrova Ol'khon i Priol'khon'ia po raznovremennym kosmicheskim snimkam Landsat [Cartographic mapping of the landscape structure of Olkhon and Priolkhonye area based on Landsat satellite images of different times]. *Vestnik SGUGiT*, Vol. 22, № 2, P.103 - 119.
2. Dolgosuren B., Tal'gamer B.L., 2020. Analiz intensivnosti samozarastaniia narushennykh zemel' pri dobyche peschano-graviinoi smesi v Mongolii [Analysis of the intensity of self-contamination of disturbed lands during the extraction of sand-gravel mixture

in Mongolia]. Mat-ly XIX Mezhdunar. nauchno-prakt. konf. "Perspektivy razvitiia gornometallurgicheskoi otrasli (Igoshinskie chteniia – 2019)". Irkutsk: IRNITU, P. 33 – 39.

3. Demidenko G.A., 2018. Landshaftovedenie: ucheb. posobie [Landscape studies: study guide]. Krasnoiar'sk: Kras-noiarskii GAU, 139 P.

4. Zen'kov I.V., Barkova V.I., Nefedov B.N., Loginova E.V., Yamskikh I.E. 2017. Rezul'taty polevykh issledovaniy i distantsionnogo monitoringa formirovaniya ekosistem na territorii gornopromyshlennogo landshafta ugol'nogo razreza "Izykhskii" [The results of field research and remote monitoring of ecosystem formation on the territory of the mining landscape of the Izykhsky coal mine]. Ekologiya i promyshlennost' Rossii, Vol. 21, № 1, P.36 - 41.

5. Geoportal kosmicheskikh snimkov [Geoportal of satellite images]. URL <https://earthexplorer.usgs.gov/> (data obrashcheniya 20.04.2022)

6. Golubyatnikov L.L., Denisenok E.A., 2006. Vzaimosvyaz' vegetatsionnogo indeksa s klimaticheskimi parametrami i strukturnymi kharakteristikami rastitel'nogo pokrova. Izvestiya RAN. Fizika atmosfery i okeana [Relationship of the vegetation index with climatic parameters and structural characteristics of vegetation cover], Vol. 42, № 4, P. 524 – 538.

7. Lur'e I.K., Kosikov A.G., 2003. Teoriya i praktika tsifrovoi obrabotki izobrazhenii [Theory and practice of digital image processing]. Moscow: Nauchnyi mir, 166 p.

8. Chaban L.N., 2004. Teoriya i algoritmy raspoznavaniya obrazov [Theory and algorithms of pattern recognition. Study guide]. Uchebnoe posobie. Moscow: MIIGAiK, 70 p.

9. Interpretatsiya kombinatsii kanalov dannykh Landsat TM [Interpretation of combinations of Landsat TM / ETM+ data channels] / ETM . URL: <https://gis-lab.info/qa/landsat-bandcomb.html> . (data obrashcheniya 10.04.2022)

10. Monitoring sostoyaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur v Permskom krae po dannym distantsionnogo zondirovaniya Zemli [Monitoring of the state of agricultural crops in the Perm region according to remote sensing of the Earth]. URL: <http://gis.psu.ru/wp-content/uploads/2014/08/89716470.pdf>. (data obrashcheniya 2.04.2022)