**Определение возможностей изучения динамики реставрации лугово-степной растительности  
с помощью индексов NDVI**

**Скребнев Ярослав Владимирович,** 10 класс,   
объединение «Линнея» МБОУДО «ЦДОД им. В. Волошиной» г. Кемерово

Научный руководитель: **Аверина Екатерина Павловна,** педагог дополнительного образования МБОУДО «ЦДОД им. В. Волошиной» Научный консультант: **Куприянов Олег Андреевич,** м.н.с. лаборатории промышленной ботаники ФИЦ УУХ СО РАН, к.б.н.

Основная экологическая проблема при увеличении добычи угля – ухудшение среды обитания человека. В результате горнодобывающей деятельности происходят следующие негативные явления: изменение ландшафтов; нарушение почвенного покрова и развитие процессов эрозии; загрязнение воздушного бассейна; загрязнение воды; - обеднение биологического разнообразия [1]. Кузбасс имеет самый низкий процент рекультивированных земель в сравнении с другими горнодобывающими районами России. Рекультивация растительного и почвенного покрова отстает от масштабов разрушения. Всего нарушено более 100000 га земли, из них рекультивировано менее 20000 га. Разработка угольных месторождений в Кемеровской области привела к практически полной утрате степных и лугово-степных экосистем. Для того, чтобы восполнить утрату подобных растительных сообществ, Кузбасским ботаническим садом ФИЦ УУХ СО РАН (Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского Отделения Российской Академии Наук) в 2014 году была начата разработка технологии реставрации степных и лугово-степных экосистем на территориях, нарушенных в процессе угледобычи. Суть технологии в нанесении плодородных и потенциально плодородных слоев почвы на территорию отвала с последующим внесением травяно-семенной смеси лугово-степных растений.

При дальнейшем внедрении реставрации растительности на отвалах угольной промышленности необходимо будет проводить мониторинг эффективности проведенных мероприятий, а так же состояния участков естественной лугово-степной растительности.

В настоящее время существуют как методы выполнения реставрации травянистых сообществ, так и методы оценки её успешности, однако экспериментов по оценке продуктивности восстановленных сообществ методами дистанционного зондирования земли в Кемеровской области не проводилось.

**Объектом исследования** настоящей работы являются технологические отвалы Виноградовского угольного разреза ПАО «КТК».

**Предмет исследования** работы: участки реставрации степной растительности на технологический отвалах.

**Цель работы:** определение возможности использования индекса NDVI для оценки и мониторинга участков реставрации лугово-степной растительности.

Для выполнения цели работы были поставлены следующие **задачи**: 1). определить индекс NDVI контрольных участков и участков реставрации в различные фазы вегетации; 2). оценить динамику изменения индекса NDVI; 3). оценить пригодность методики для оценки и мониторинга участков реставрации лугово-степной растительности.

Работа является продолжением исследований, начатых в 2018 году Дмитрием Сердюком, обучающимся НОУ «Ареал» МБОУДО «ЦДОД им. В. Волошиной».

Изображение выглядит как гора, сидит, стол, зеленый

Автоматически созданное описание

Рис. 1 Участок реставрации на отвалах разреза «Виноградовский»

Участок реставрации лугово-степной растительности находится на отвалах Виноградовского разреза ПАО «КТК». Восстановление отработанных отвалов – актуальная тема для такого угледобывающего региона, как Кузбасса. В этом вопросе многое зависит от экологической ответственности компаний, работающих в данной отрасли. ПАО «КТК» первой в регионе применила уникальный механизированный метод восстановления степной растительности на угольных отвалах. Полигоном для испытания нового метода как раз стал отвал разреза «Виноградовский». В ближайшие пять лет рекультивация здесь не была запланирована, но руководство ПАО «КТК» решило найти технологию рекультивации, которая будет эффективна в климатических условиях Кузбасса. Традиционная рекультивация здесь будет ущербна из-за того, что это место непригодно для обитания тех же сосен. Они будут трудно приживаться, а те, что вырастут – не будут выполнять свою экологическую функцию. Поэтому на отвалах разреза «Виноградовский» применили уникальную технологию восстановления степной растительности с использованием семенного состава из заказника "Бачатские сопки" (рис. 1). Это единственное место в Кузбассе, где есть участки ковыльной степи [13].

Контрольными участками выступили участки естественной лугово-степной растительности, расположенный на территории Бачатских сопок (Беловский район) и участок нерекультивированого отвала Виноградовского разреза.

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – нормализованный относительный индекс растительности – простой количественный показатель количества фотосинтетически активной биомассы (обычно называемый вегетационным индексом). Один из самых распространённых и используемых индексов для решения задач, использующих количественные оценки растительного покрова.

Вычисляется по следующей формуле:

, где – отражение в ближней инфракрасной области спектра; – отражение в красной области спектра.

Для отображения индекса NDVI используется:

- стандартизованная непрерывная градиентная или дискретная шкала, показывающая значения в диапазоне от -1..1 в % (рис. 2);

- масштабированная шкала в диапазоне от 0 до 255 (используется для отображения в некоторых пакетах обработки ДЗЗ, соответствует количеству градаций серого);

- в диапазоне 0..200 (-100..100), что более удобно, так как каждая единица соответствует 1% изменения показателя.

Ndvi3.gif

Рис.2 Дискретная шкала NDVI1

Благодаря особенности отражения в NIR–RED областях спектра, природные объекты, не связанные с растительностью, имеют фиксированное значение NDVI, что позволяет использовать этот параметр для их идентификации (табл. 1) [8].

Таблица 1

Значения NDVI различных объектов

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Тип объекта** | **Отражение в красной области спектра** | **Отражение в инфракрасной области спектра** | **Значение NDVI** |
| Густая растительность | 0,1 | 0,5 | 0,7 |
| Разряженная растительность | 0,1 | 0,3 | 0,5 |
| Открытая почва | 0,25 | 0,3 | 0,025 |
| Облака | 0,25 | 0,25 | 0 |
| Снег и лед | 0,375 | 0,35 | -0,05 |
| Вода | 0,02 | 0,01 | -0,25 |
| Искусственные материалы (бетон, асфальт) | 0,3 | 0,1 | -0,5 |

Для оценки NDVI нами была подобрана коллекция из 20 сцен для данных территорий за 2016 по 2019 год. Далее, для сцен проводилась атмосферная коррекция и вычислялся индекс.

На обработанных сценах (рис. 3) выделялись мониторинговые площади, размер которых составлял 22,5 га. На выделенных участках сцен попиксельно определялся индекс NDVI и заносился в таблицу для последующей статистической обработки.

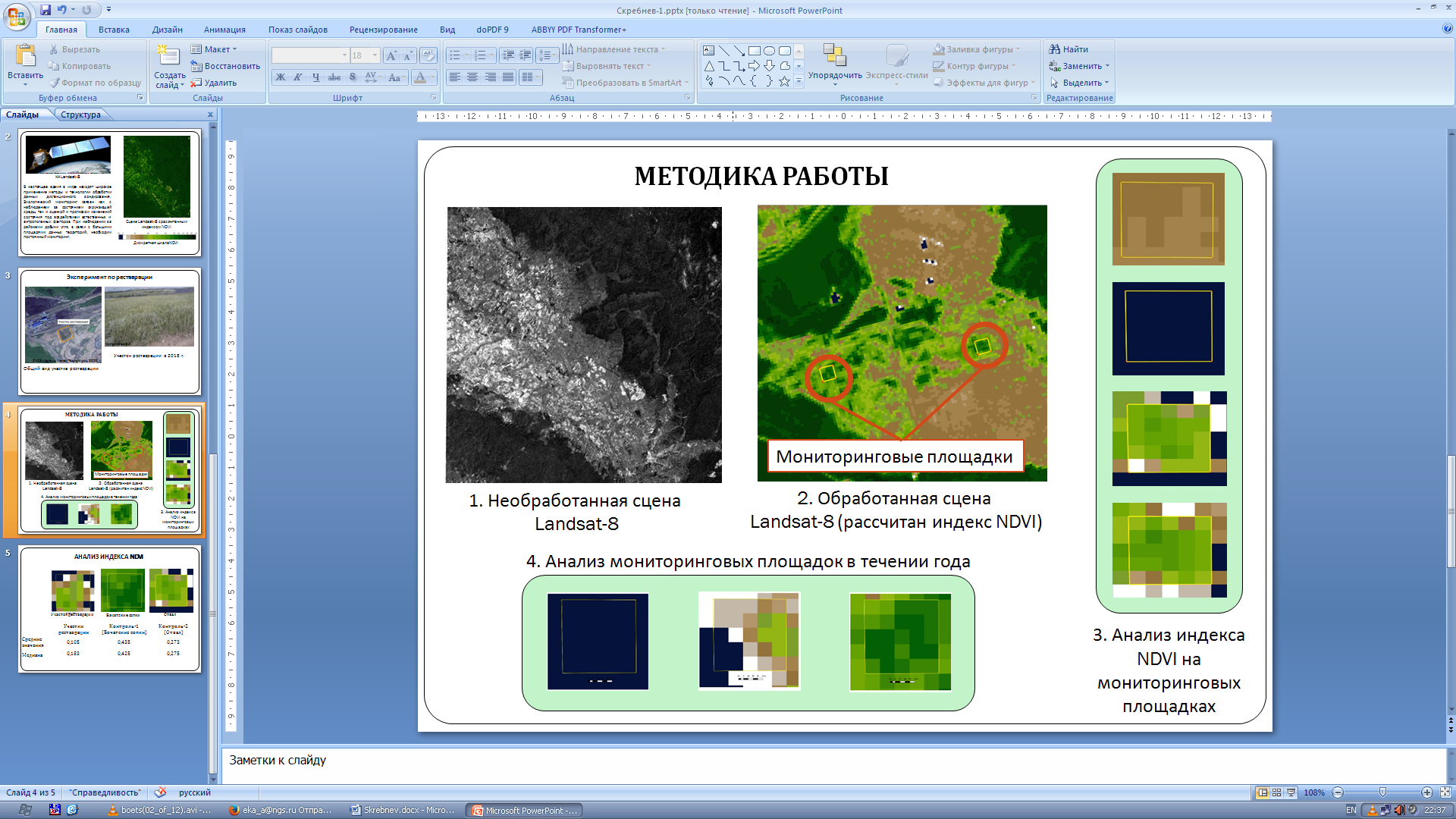


Рис. 3 Необработанная (слева) и обработанная (справа) сцена   
Landsat-8 (рассчитан индекс NDVI).

В 2016 году наибольшая продуктивность NDVI отмечена на территории Бочатских сопок в середине вегетации (табл. 2). На участке реставрации идет развитие пионерных группировок растений, значения NDVI низкое.

Таблица 2

Значения NDVI в 2016 году

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **1. Участок реставрации** | | | **2. Бочатские сопки** | | | **3. Самозарастающий отвал** | | |
| **I** | **II** | **III** | **I** | **II** | **III** | **I** | **II** | **III** |
| **1** | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| **а1** | 0-0,03 | 0-0,03 | -1 | 0,13-0,16 | 0,2-0,25 | 0,13-0,16 | -1 | 0,03-0,06 | -1 |
| **а2** | 0-0,03 | -1 | -1 | 0,13-0,13 | 0,2-0,25 | 0,35-0,4 | -1 | 0-0,03 | -1 |
| **а3** | 0-0,03 | -1 | -1 | 0,06-0,09 | 0,3-0,35 | 0,35-0,4 | -1 | 0-0,03 | -1 |
| **а4** | 0,03-0,06 | -1 | -1 | 0,06-0,09 | 0,3-0,35 | 0,2-0,25 | -1 | -1 | -1 |
| **а5** | 0,03-0,06 | -1 | -1 | 0,06-0,09 | 0,4-0,45 | 0,2-0,25 | -1 | -1 | -1 |
| **b1** | 0-0,03 | 0-0,03 | -1 | 0,13-0,16 | 0,2-0,25 | 0,13-0,16 | -1 | 0-0,03 | -1 |
| **b2** | 0-0,03 | -1 | -1 | 0,13-0,16 | 0,2-0,25 | 0,35-0,4 | -1 | 0-0,03 | -1 |
| **b3** | 0,03-0,06 | -1 | -1 | 0,13-0,16 | 0,3-0,35 | 0,2-0,25 | -1 | 0-0,03 | -1 |
| **b4** | 0,03-0,06 | -1 | -1 | 0,13-0,16 | 0,4-0,45 | 0,2-0,25 | -1 | -1 | -1 |
| **b5** | 0,03-0,06 | -1 | -1 | 0,06-0,09 | 0,4-0,45 | 0,35-0,4 | -1 | -1 | -1 |
| **c1** | 0-0,03 | 0-0,03 | -1 | 0,13-0,16 | 0,25-0,3 | 0,35-0,4 | -1 | 0-0,03 | -1 |
| **c2** | 0-0,03 | 0-0,03 | -1 | 0,13-0,16 | 0,3-0,35 | 0,2-0,25 | -1 | 0-0,03 | -1 |
| **c3** | 0-0,03 | 0-0,03 | -1 | 0,06-0,09 | 0,4-0,45 | 0,2-0,25 | -1 | -1 | -1 |
| **c4** | 0,03-0,06 | 0-0,03 | -1 | 0,06-0,09 | 0,4-0,45 | 0,2-0,25 | -1 | -1 | -1 |
| **c5** | 0,03-0,06 | 0-0,03 | -1 | 0,06-0,09 | 0,3-0,35 | 0,13-0,16 | -1 | -1 | -1 |
| **1** | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| **d1** | 0,03-0,06 | 0-0,03 | -1 | 0,06-0,09 | 0,35-0,4 | 0,35-0,4 | -1 | 0,03-0,06 | -1 |
| **d2** | 0,03-0,06 | 0-0,03 | -1 | 0,06-0,09 | 0,45-0,5 | 0,2-0,25 | -1 | 0,06-0,09 | 0,06-0,09 |
| **d3** | 0,03-0,06 | 0-0,03 | -1 | 0,06-0,09 | 0,3-0,35 | 0,35-0,4 | -1 | 0-0,03 | 0,03-0,06 |
| **d4** | 0,03-0,06 | 0,03-0,06 | -1 | 0,06-0,09 | 0,3-0,35 | 0,35-0,4 | -1 | -1 | -1 |
| **d5** | 0,03-0,06 | 0-0,03 | -1 | 0,06-0,09 | 0,3-0,35 | 0,13-0,16 | -1 | -1 | -1 |
| **e1** | 0,03-0,06 | -1 | -1 | 0,13-0,16 | 0,35-0,4 | 0,2-0,25 | -1 | 0,03-0,06 | -1 |
| **e2** | 0,03-0,06 | -1 | -1 | 0,13-0,16 | 0,35-0,4 | 0,2-0,25 | -1 | 0,13-0,16 | 0,13-0,16 |
| **e3** | 0,03-0,06 | 0-0,03 | -1 | 0,13-0,16 | 0,25-0,3 | 0,35-0,4 | -1 | 0,2-,25 | 0,25-0,3 |
| **e4** | 0,03-0,06 | 0-0,03 | -1 | 0,06-0,09 | 0,25-0,3 | 0,13-0,16 | -1 | 0,03-0,06 | 0,03-0,06 |
| **e5** | 0,03-0,06 | 0-0,03 | -1 | 0,13-0,16 | 0,35-0,4 | 0,13-0,16 | -1 | -1 | -1 |

В 2017 году наибольшая продуктивность NDVI отмечена на территории самозарастающего отвала в конце вегетации (табл. 3). На участке реставрации идет развитие пионерных группировок растений, значения NDVI возросли значительно (до 0,2-0,25).

Таблица 3

Значения NDVI в 2017 году

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 1. Участок реставрации | | | 2. Бочатские сопки | | | 3. Самозарастающий отвал | | |
| I | II | III | I | II | III | I | II | III |
| а1 | -1 | 0,03-0,06 | 0,25-0,3 | 0,13-0,16 | 0,3-0,35 | 0,1-0,13 | -1 | 0,4-0,45 | 0.4-0.45 |
| а2 | -1 | 0,03-0,06 | 0,35-0,4 | 0,13-0,16 | 0,35-0,4 | 0,13-0,16 | -1 | 0,5-0,6 | 0.5-0.6 |
| а3 | -1 | -1 | 0.7-0.8 | 0,13-0,16 | 0,4-0,45 | 0,1-0,13 | -1 | 0,5-0,6 | 0.5-0.6 |
| а4 | -1 | -1 | 0.7-0.8 | 0,13-0,16 | 0,4-0,45 | 0,1-0,13 | -1 | 0,5-0,6 | 0.5-0.6 |
| а5 | -1 | -1 | 0.4-0.45 | 0,13-0,16 | 0,4-0,45 | 0,1-0,13 | -1 | 0,3-0,35 | 0.3-0.35 |
| b1 | -1 | 0,03-0,06 | 0,3-0,35 | 0,13-0,16 | 0,3-0,35 | 0,1-0,13 | -1 | 0,5-0,6 | 0.5-0.6 |
| b2 | -1 | 0,03-0,06 | 0.4-0.45 | 0,13-0,16 | 0,35-0,4 | 0,1-0,13 | -1 | 0,6 | 0.6-0.7 |
| b3 | -1 | 0-0,03 | 0.7-0.8 | 0,13-0,16 | 0,4-0,45 | 0,1-0,13 | -1 | 0,5-0,6 | 0.5-0.6 |
| b4 | -1 | -1 | 0.7-0.8 | 0,13-0,16 | 0,5-0,55 | 0,1-0,13 | -1 | 0,5-0,6 | 0.5-0.6 |
| b5 | -1 | -1 | 0.7-0.8 | 0,09-0,1 | 0,5-0,55 | 0,1-0,13 | -1 | 0,3-0,35 | 0.3-0.35 |
| c1 | -1 | 0,03-0,06 | 0.45-0.5 | 0,3-0,16 | 0,35-0,4 | 0,1-0,13 | -1 | 0,5-0,6 | 0.5-0.6 |
| c2 | -1 | 0,06-0,09 | 0.6-0.7 | 0,13-0,16 | 0,4-0,45 | 0,1-0,13 | -1 | 0,6 | 0.6-0.7 |
| c3 | -1 | 0,1-0,13 | 0.45-0.5 | 0,13-0,16 | 0,5-0,55 | 0,1-0,13 | -1 | 0,5-0,6 | 0.5-0.6 |
| c4 | -1 | 0,03-0,06 | 0,35-0,4 | 0,13-0,16 | 0,5-0,55 | 0,1-0,13 | -1 | 0,6 | 0.6-0.7 |
| c5 | -1 | 0-0,03 | 0.45-0.5 | 0,09-0,1 | 0,35-0,4 | 0,1-0,13 | -1 | 0,4-0,45 | 0.4-0.45 |
| d1 | -1 | 0,1-0,13 | 0.45-0.5 | 0,3-0,16 | 0,35-0,4 | 0,1-0,13 | -1 | 0,3-0,35 | 0.35-0.4 |
| d2 | -1 | 0,16-0,18 | 0.6-0.7 | 0,13-0,16 | 0,5-0,55 | 0,1-0,13 | -1 | 0,5-0,6 | 0.5-0.6 |
| d3 | -1 | 0,2-0,25 | 0.6-0.7 | 0,13-0,16 | 0,5-0,55 | 0,1-0,13 | -1 | 0,5-0,6 | 0.5-0.6 |
| d4 | -1 | 0,13-0,16 | 0.6-0.7 | 0,13-0,16 | 0,5-0,55 | 0,1-0,13 | -1 | 0,6 | 0.6-0.7 |
| d5 | -1 | 0,03-0,06 | 0,35-0,4 | 0,09-0,1 | 0,35-0,4 | 0,09-0,1 | -1 | 0,4-0,45 | 0.4-0.45 |
| e1 | -1 | 0,06-0,09 | 0.45-0.5 | 0,3-0,16 | 0,5-0,55 | 0,1-0,13 | -1 | 0,4-0,45 | 0.4-0.45 |
| e2 | -1 | 0,2-0,25 | 0.45-0.5 | 0,13-0,16 | 0,5-0,55 | 0,1-0,13 | -1 | 0,5-0,6 | 0.5-0.6 |
| e3 | -1 | 0,2-0,25 | 0.45-0.5 | 0,13-0,16 | 0,35-0,4 | 0,1-0,13 | -1 | 0,4-0,45 | 0.4-0.45 |
| e4 | -1 | 0,2-0,25 | 0.6-0.7 | 0,13-0,16 | 0,35-0,4 | 0,1-0,13 | -1 | 0,5-0,6 | 0.5-0.6 |
| e5 | -1 | 0,06-0,09 | 0,35-0,4 | 0,09-0,1 | 0,35-0,4 | 0,09-0,1 | -1 | 0,3-0,35 | 0.35-0.4 |

В 2018 году наибольшая продуктивность NDVI отмечена на территории Бочатских сопок в середине вегетации (табл. 3). На участке реставрации идет развитие пионерных группировок растений, значения NDVI увеличились (до 0,35-0,4).

Таблица 4

Значения NDVI в 2018 году

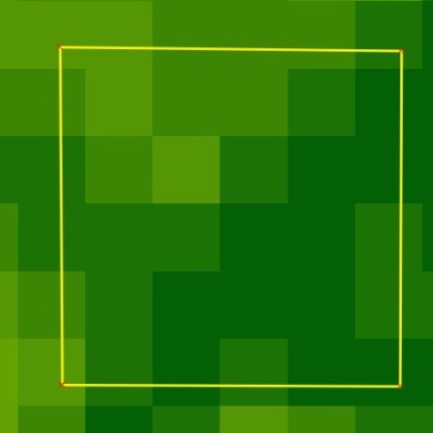
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 1. Участок реставрации | | | 2. Бочатские сопки | | | 3. Самозарастающий отвал | | |
| I | II | III | I | II | III | I | II | III |
| а1 | -1 | -1 | -1 | 0,09-0,1 | 0,3-0,35 |  | -1 | 0,25-0,3 | 0,2-0,25 |
| а2 | -1 | 0.06-0.1 | 0.13-0.16 | 0,09-0,1 | 0,35-04 |  | -1 | 0,25-0,3 | 0,3-0,35 |
| а3 | 0.03-0.06 | 0.25-0.3 | 0.35-0.4 | 0,1-0,13 | 0,45-0,5 |  | -1 | 0,25-0,3 | 0,4-0,45 |
| а4 | 0-0.03 | 0.25-0.3 | 0.35-0.4 | 0,09-0,01 | 0,45-0,5 |  | -1 | 0,2-0,25 | 0,3-0,35 |
| а5 | -1 | 0.25-0.3 | 0.2-0.25 | 0,1-0,13 | 0,45-0,5 |  | -1 | 0-0,3 | 0,09-0,1 |
| b1 | -1 | 0-0.03 | 0.03-0.06 | 0,09-0,1 | 0,4-0,45 |  | -1 | 0,3-0,35 | 0,3-0,35 |
| b2 | -1 | 0.13-0.16 | 0.13-0.16 | 0,09-0,1 | 0,3-0,35 |  | -1 | 0,4-0,45 | 0,45-0,5 |
| b3 | 0-0.03 | 0.2-0.25 | 0.3-0.35 | 0,09-0,1 | 0,45-0,5 |  | -1 | 0,3-0,35 | 0,4-0,45 |
| b4 | 0-0.03 | 0.25-0.3 | 0.35-0.4 | 0,09-0,1 | 0,5-0,55 |  | -1 | 0,25-0,3 | 0,3-0,35 |
| b5 | 0-0.03 | 0.35-0.4 | 0.35-0.4 | 0,09-0,1 | 0,5-0,55 |  | -1 | 0,06-0,09 | 0,13-0,16 |
| c1 | -1 | 0.06-0.1 | 0.13-0.16 | 0,09-0,1 | 0,4-0,45 |  | -1 | 0,16-0,2 | 0,2-0,25 |
| c2 | -1 | 0.16-0.2 | 0.2-0.25 | 0,09-0,1 | 0,5-0,6 |  | -1 | 0,3-0,35 | 0,4-0,45 |
| c3 | -1 | 0.16-0.2 | 0.2-0.25 | 0,09-0,1 | 0,6-0,7 |  | -1 | 0,3-0,35 | 0,4-0,45 |
| c4 | -1 | 0.16-0.2 | 0.2-0.25 | 0,09-0,1 | 0,6-0,7 |  | -1 | 0,4-0,45 | 0,4-0,45 |
| c5 | -1 | 0.25-0.3 | 0.25-0.3 | 0,09-0,1 | 0,45-0,5 |  | -1 | 0,2-0,25 | 0,2-0,25 |
| d1 | -1 | 0.16-0.2 | 0.13-0.16 | 0,09-0,1 | 0,45-0,5 |  | -1 | 0,06-0,09 | 0,13-0,16 |
| d2 | -1 | 0.2-0.25 | 0.16-0.2 | 0,09-0,1 | 0,5-0,6 |  | -1 | 0,25-0,3 | 0,3-0,35 |
| d3 | 0-0.03 | 0.2-0.25 | 0.2-0.25 | 0,09-0,1 | 0,5-0,6 |  | -1 | 0,25-0,3 | 0,3-0,35 |
| d4 | 0-0.03 | 0.2-0.25 | 0.2-0.25 | 0,09-0,1 | 0,5-0,6 |  | -1 | 0,3-0,35 | 0,3-0,35 |
| d5 | -1 | 0.1-0.13 | 0.16-0.2 | 0,09-0,1 | 0,5-0,6 |  | -1 | 0,2-0,25 | 0,25-0,3 |
| e1 | -1 | -1 | 0.03-0.06 | 0,09-0,1 | 0,5-0,6 |  | -1 | 0,16-0,2 | 0,2-0,25 |
| e2 | -1 | 0-0.03 | 0.06-0.1 | 0,09-0,1 | 0,5-0,6 |  | -1 | 0,25-0,3 | 0,25-0,3 |
| e3 | -1 | 0.13-0.16 | 0.2-0.25 | 0,09-0,1 | 0,45-0,5 |  | -1 | 0,2-0,25 | 0,25-0,3 |
| e4 | -1 | 0.1-0.13 | 0.16-0.2 | 0,09-0,1 | 0,45-0,5 |  | -1 | 0,2-0,25 | 0,25-0,3 |
| e5 | -1 | -1 | 0.03-0.06 | 0,09-0,1 | 0,5-0,6 |  | -1 | 0,2-0,25 | 0,2-0,25 |

В результате работы нами были проанализированы данные расчета индекса NDVI на территории мониторинговых площадок. Наиболее продуктивны ненарушенные лугово-степные сообщества на Бачатских сопках, менее всего продуктивны сообщества на территории участка реставрации, что может быть объяснено начальной стадией формирования лугово-степных сообществ (Приложение).

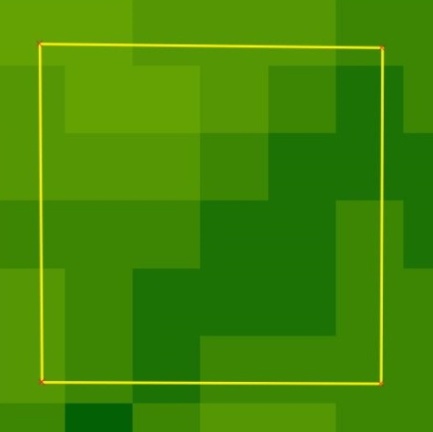
Разница между контрольными участками (Бачатские сопки/отвал без рекультивации) и участком реставрации является существенной.

Таким образом, с помощью методов дистанционного зондирования, индексов NDVI, в частности, можно оценивать состояние и продуктивность естественных лугово-степных сообществ, участков реставрации и отвалов угольной промышленности на обширных площадях в короткое время.

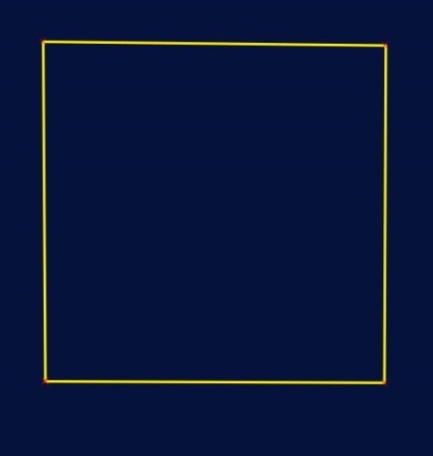
**Макеты NDVI**



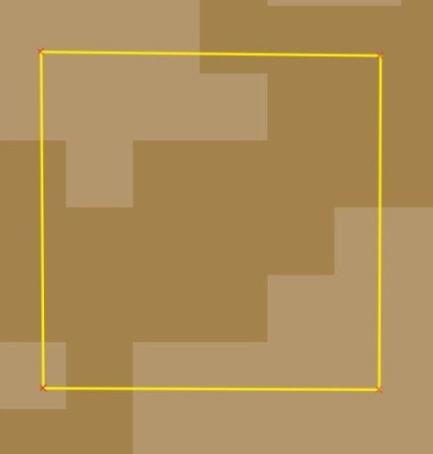
июнь 2018 – заказник «Бачатские сопки»



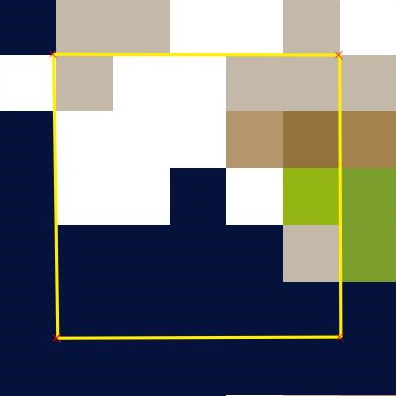
июль 2017 – заказник «Бачатские сопки»



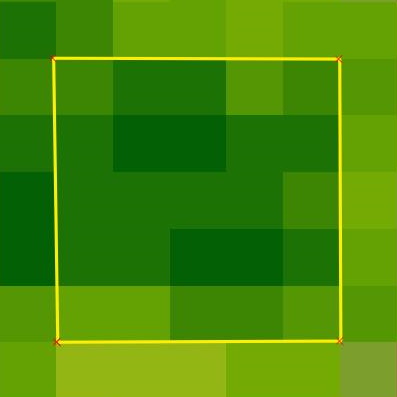
май 2018 – заказник «Бачатские сопки»



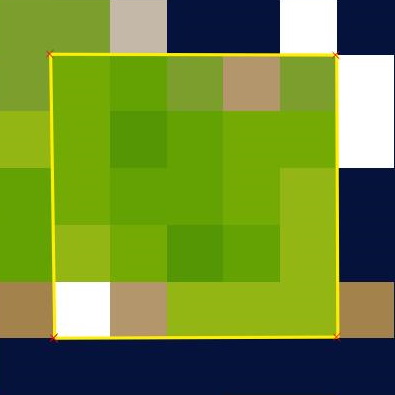
октябрь 2019 – заказник «Бачатские сопки»



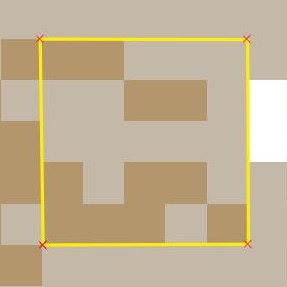
июль 2016 – отвал разреза «Виноградовский»



август 2017 – отвал разреза «Виноградовский»



июль 2018 – отвал разреза «Виноградовский»



май 2019 – отвал разреза «Виноградовский»

# Заключение

В данной работе было проведено изучение реставрации отвала разреза «Виноградовский» ПАО «КТК» и оценена её эффективность.

За 4 года была проделана большая работа по реализации биологического этапа реставрации отвала.

Наиболее продуктивны ненарушенные лугово-степные сообщества на Бачатских сопках, менее всего продуктивны сообщества на территории участка реставрации, что может быть объяснено начальной стадией формирования лугово-степных сообществ.

Космические снимки современных спутников позволяют эффективно проводить исследования, не выезжая на сам объект исследования, но в дальнейшем мы планируем изучение отвала в полевых условиях на территории разреза.

# 

# Список литературы

1. Куприянов, А.Н. Восстановление экосистем на отвалах горнодобывающей промышленности Кузбасса / А.Н. Куприянов, Ю.А. Манаков, Л.П. Баранник; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т экологии человека. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2010. – 160 с.
2. Экологические проблемы угледобывающей отрасли в регионе при переходе к устойчивому развитию. Труды международной научной-практической конференции. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 1999. – Том 1. – 364 с.
3. Обнаружение экологических изменений природной среды по данным спутниковых измерений/ М.Ю. Катаев, А.А. Бекеров
4. Создание природоподобных растительных сообществ на отвалах /Ответ. Ред. Ю.А. Манаков; Росс. Акад. Наук, Сиб. От-ние, ФИЦ угля и углехимии. – Новосибирск: Академеческое из-во «Гео», 2019
5. https://ru.wikipedia.org/wiki/Landsat-8
6. https://earthexplorer.usgs.gov/
7. https://pro.arcgis.com/ru/pro-app/help/data/imagery/indices-gallery.htm
8. http://gis-lab.info/qa/ndvi.html
9. https://landsat.usgs.gov/using-usgs-landsat-8-product
10. Экологический мониторинг в районах угледобычи / отв. ред. А.Н. Куприянов; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние; ФИЦ угля и углехимии [ и др.]. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2017. – 208 с.
11. Растительный мир Караканского хребта / Н. Н. Лащинский, С.А. Шереметова, Н.И. Макунина, Т.Е. Буко, О.Ю. Писаренко; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Центральный сибирский ботанический сад, Институт экологии человека. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2011. – 120 с.
12. Использование ГИС для анализа производственных показателей угледобывающих предприятий Кузбасса / М.В. Писаренко, Н.А. Кирильцева.
13. https://in.minenergo.gov.ru/tek/ekologiya-i-ndt/ekologiya/kuzbasskaya-toplivnaya-kompaniya-primenila-unikalnuyu-tekhnologiyu-rekultivatsii-na-razreze-vinograd