**Введение**

Интенсификация сельскохозяйственного производства приводит к увеличению негативного антропогенного влияния на природные компоненты. В связи с этим актуально введение в производство ресурсосберегающих технологий земледелия. В регионах традиционного земледелия России с каждым годом все больше хозяйств переходит на технологию прямого посева. Ни одну из современных отраслей производства невозможно представить без информационно-технического сопровождения. Исключением не является и сельское хозяйство. Уже несколько десятилетий на в практике сельского хозяйства применяются такие технологии как дистанционное зондирование земли (ДЗЗ) , ГИС, на настоящий момент активно внедряются методы искусственного интеллекта, машинного и глубокого обучения. Для традиционных технологий земледелия на данный момент разработано большое количество цифровых решений для оптимизации производственных процессов, мониторинга и прогноза продуктивности производства, основанных на вышеперечисленных технологиях. Так как прямой посев является относительно новой технологией для нашей страны, для нее пока не разработано каких-либо решений, которые могли бы помочь производителю. Ключевой особенностью прямого посева, как одной из ресурсосберегающих технологий, является сохранение растительных остатков. С агрономической точки зрения растительные остатки несут следующие функции:

-Защита почвы от ветровой и водной эрозии

-Создание буфера, формирующего микроклимат, благоприятный для вегетации

-Поддержание баланса органического вещества

Согласно позиции FAO к прямому посеву относятся объекты на которых – отсутствует физическое воздействие агрегатами сельско-хозяйственной техники на почву, соблюдается плодосмен а так сохраняется необходимый объем растите тельных остатков, покрывающий почву минимум на 30%(ссылка). Из этого можно сделать вывод, что почва при применении технологии прямого посева всегда укрыта ковром растительных остатков. С одной стороны, этот факт ограничивает возможности использования данных дистанционного зондирования земли, основанных на оптических свойствах почвы. С другой стороны появляется возможность количественно учитывать растительные остатки на основании данных ДЗЗ что является необходимой частью производства при технологии прямого посева. Целью данного исследования является разработка подхода к оценке растительных остатков на основании данных ДЗЗ.

**Объекты и методы исследования.**

**Полевые данные**

Объекты исследования расположены на территории Буденовского района Ставропольского края. При рекогносцировке подобраны поля на которых применялась технология прямого посева и традиционной для региона технологии (РИС) (вспашка с оборотом пласта, с включением черных паров в севооборот) . Преобладающим типом почв являются тёмно-каштановые (Halpic Kastanozems Chromic WRB 2006). Климат региона исследования – континентальный с максимумом температур в \_\_\_\_\_\_\_\_ и осадками в \_\_\_\_\_\_. Подобное сочетание почвенно-климатических ресурсов способствует активному развитию земледелия в регионе. Наиболее распространёнными культурами являются \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_. Прямой посев применяется на полях около 10 лет. Размеры полей составляют ………… что позволяет использовать данные дистанционного зондирования высокого разрешения, имеющиеся в открытом доступе. В рамках полевых работ на исследуемых полях были заложены точки для отбора данных о состоянии растительных остатков (рис) . Точки …………… Заложены на поле….. и характеризуют наиболее выраженные формы рельефа характерные для объектов Таб – описание точек – какие формы рельефа . По точкам отбирались следующие данные –

-площадь покрытия при помощи рулетки

-вес растительных остатков на единицу площади

-фотографии поверхности с высоты 1м

Все данные отбирались в 5 кратной повторности.

**Данные дистанционного зондирования земли**

**Получение и подготовка данных.**

В рамках данного исследования использовались мультиспектральные изображения высокого разрешения Sentinel-2. Подбор, коррекция и обработка осуществлялась при помощи облачного сервиса для работы с данными дистанционного зондирования земли Google Earth Engine. Преимуществами работы с данным сервисом является возможность использовать уже откорректированные при помощи программы sen2cor изображения уровня 2А (Surface Reflectance) , кроме этого последовательные процессы составления мозаик космических снимков, создание масок облаков, теней и снега, расчет спектральных индексов и последующая обрезка изображений по интересуемой области производится в облаке, что позволяет получать для анализа уже готовые к анализу и моделированию данные. Последующая обработка данных осуществлялась при помощи модулей Gdal, Geopandas, Rasterio, Sci-py языка програмирования python. Так как GEE также имеет программный интерфейс на языке Python, возможно создание одного скрипта в котором происходит предобработка, получение, и дальнейший анализ данных, таким образом не задействуя сторонние приложения.

Спектральные индексы используемые в рамках исследования

В ходе исследования подбирались изображения Sentinel 2 за период с 15 ноября 2020 по 15 ноября 2021 года. (это если мы говорим про один год, но у нас есть данные за три года). Для каждого изображения рассчитывались спектральные индексы NDVI и NDTI(формулы). Индекс NDVI является наиболее распространённым индексом, на основании которого определяется состояние растительности. Наши предыдущие иследования и большое колличество публикаций свидетельствуют что использование NDTI является оптимальным для решения задачи колличественного определения растительных остатков. Однако следует учитывать некоторые ограничения при использовании данного индекса

1. Данный индекс очень чувствителен к живой растительности – то есть при попадании живой растительности в данные NDTI показывает аномально высокие значения.
2. Индекс чувствителен к влажности и так же может давать не корректные значения при повышенной влажности (ссылка на америкосов)

Для исключения пикселей соответствующих живой растительности используется вегетационный индекс NDVI. На основании данных NDVI для изображений строится маска по которой из данных исключаются данные с живой растительностью. Важным в создании масок таким образом является интепретационный смысл спектральных индексов. Не смотря на удобство использования подобных решений, индексы не имеют какой физической единицы измерения кроме значения в промежутке от -1 до 1. В следвии этого возникает вопрос, какое значение необходимо считать пороговым для отличения вегетирующей растительности от иных объектах. В раммках исследования ………(ССЫЛКА) данный порог принят за 0.3 единиц NDVI. Пример отфильтрованного по данным NDVI изображения NDTI представленно на РИС.

Метеорологические данные получались с ресурса rp5.ru. Ближайшая метеостанция расположенная в 20 км от объектов находится в городе Буденовск. Орографические и геоморфологические особенности местности (объект расположен на водраздельной поверхности между долинами рек Горькая балка и Кума) создают особые условия формирования микро и мезо климата, однако полученные климатические данные позволяют формировать общие представления о климатических трендах характерных для района изучения.

**Моделирование на основании полученных данных**

Поскольку количественное определение растительных остатков является частью производственного цикла при технологии прямого посева, на разработку подходов накладывается ряд ограничений:

1)простота отбора и минимизация эконмических трат на полевой учет растительных остатков

2) интерпретируемость модели

Руководствуясь данными ограничениями, были подобраны 4 подхода к учету растительных остатков

1)Полевой подсчет покрытия растительными остатками и моделирование на основании данных ДЗЗ

2)Полевой подсчет массы растительных остатков на единицу площади и моделирование на основании данных ДЗЗ

3)Камеральная обработка фотографий поверхности методом фасеток и дальнейшее моделирование на основании данных ДЗЗ

4)Получение данных о количестве растительных остатков только на основании данных дзз.

Моделирование осуществлялось при помощи метода линейной регрессии. Не смотря на существование большого количества методов моделирования, на наш взгляд простая линейная регрессия наиболее оптимальна в ключе решения данной практической задачи. Метриками оценивания качества модели служили R2 – коэффициент детерминации и MSE – среднеквадратическая ошибка (формулы). Для достижения наибольшей точности при моделировании данных была подобран космический снимок наиболее близкий по времени к проведению полевых работ – 2021-09-21. Всего коллекция уже подготовленных для работы космических снимков составила – 14 сцен.

**Метод полевого определения площади покрытия.**

Отбор данных осуществлялся по методике описанной в …….. Суть метода определения заключается в том , что необходимо считать колличество пересечений растительных остатков и рисок на палке или веревке , размеченной на равные интервалы. Далее колличество пересечений пересчитывается в площадь покрытия. В нашем случае мы использовали рулетку и расстояние между отметками, в которых необходимо было отмечать наличие растительных остатков составляло 10 см.

*Метод весового анализа.*

Метод заключался в сборе и дальнейшем взвешивании растительных остатков с единицы поверхности. Для ограничения поверхности использовался квадрат со стороной в 50 см. Образцы взвешивались непосредственно в поле. Далее, для удобства значения пересчитывались из г/0.25м2  в ц/га.

*Обработка фотографий.*

В каждой точке исследований производилось фотографирование поверхности в надир (перпендикулярно поверхности) с высоты около метра. Далее в камеральных условиях, используя графический редактор на каждую фотографию накладывалась сетка с шагом \_\_\_\_\_. И считалось количество пересечений растительных остатков и узлов сетки.

*Определение покрытия без полевых данных*

Данных подход описан в …………. По мнению авторов, так как наблюдается линейная зависимости значений NDTI от покрытия растительных остатков можно не использовать полевые данные а просто использовать формулу линейной трансформации вида

ФОРМУЛА

ГДЕ

ФОРМУЛА

ФОРМУЛА

**Результаты и обсуждение**

Значения, полученные в результате обработки полевых и дистанционных данных приведены в таб.

Линейные модели представлены на рис.

Построение временных рядов состояния растительных остатков

По полям

По точкам

Выводы