

**Спутниковый мониторинг сахарного тростника в Южной
Индии с помощью Sentinel-2 для оценки
водообеспечения и азотного питания плантаций**

Плотников Д.Е., Ёлкина Е.С., Барталёв С.А.

Цели проекта РФФИ-DST

- ▶ Региональная адаптация методов континентального спутникового мониторинга для оперативного выявления и оценки состояния посевов сахарного тростника на территории Индии;
 - ▶ Интеграция результатов оперативного спутникового мониторинга состояния посевов сахарного тростника в агротехнические схемы управления их водообеспечением и азотным питанием;
 - ▶ Расширение состава данных дистанционного зондирования, используемых для мониторинга сельского хозяйства Индии
-

Международный коллектив КИААР-ИКИ



Проект РФФИ стартовал в сентябре 2018 года (проект DST стартовал с задержкой почти на полгода)

Возможности партнеров из KIAAR



- KIAAR является «частным» институтом при крупной компании по переработке сахарного тростника
- Институт обладает собственной лабораторией для измерений количества воды, азота в листьях и сахара в «трости» растений тростника
- Наличие собственных полей позволяет проводить эксперименты по управлению водным и азотным питанием через систему капельного полива (drip irrigation)
- KIAAR имеет собственную метеостанцию для контроля ситуации в муссонный и засушливый сезоны

Возможности партнеров из KIAAR



- KIAAR обладает технологиями лабораторного разведения наиболее продуктивных сортов сахарного тростника
 - Закупка фермерами у института саженцев тростника позволяет получать достоверную информацию о расположении и фенологии (crop calendar) многих плантаций в регионе
-

C6

FID	Shape *	OBJECTID	Name	CROP	Variety	Plantn Dt	Harvtnng Dt
100	Polygon	101	Sg-334509-1-MBTOLMATTI-LowStress	Sugarcane	CO86032	02.10.2018	2019-02-25
101	Polygon	102	Sg-337337-1-BBHONYAL-MediumStress	Sugarcane	SNK 9293	20.01.2019	2020-02-28
102	Polygon	103	Sg-338222-1-GNPARADDI-Medium2HighStress	Sugarcane	265	04.01.2019	2020-03-05
103	Polygon	104	Sg-339926-1-NTVAJRAMATTI-HighStress	Sugarcane	2001-13	22.08.2018	2020-01-28
104	Polygon	105	Sg-339926-2-NTVAJRAMATTI-MediumStress	Sugarcane	2001-13	22.08.2018	2020-1-28
105	Polygon	106	Sg-341318-1-RSNYAMAGOULD-MediumStress	Sugarcane	9293	22.08.2018	2019-12-25
106	Polygon	107	Sg-341860-1-KHPARADDI-LowStress	Sugarcane	CO86032	06.12.2018	2020-02-10
107	Polygon	108	Sg-343783-1-SSKUNCHANUR_LowStress	Sugarcane	CO86032	10.08.2018	2019-11-10
108	Polygon	109	Sg-345600-1-BDMANIKSHETTI-VLowStress	Sugarcane	CO86032	02.03.2019	2020-03-05
109	Polygon	110	Sg-350497-1-PBTOLAMATTI-MediumStress	Sugarcane	CO86032	01.01.2019	2020-02-25
110	Polygon	111	Sg-352819-1-SRANGADI-MediumStress	Sugarcane	CO86032	10.02.2019	2020-02-10
111	Polygon	112	Sg-353187-1-PSHIREMATH-HighStress	Sugarcane	CO86032	29.01.2019	202001-29
112	Polygon	113	Sg-353187-2-PSHIREMATH-HighStress	Sugarcane	CO86032	29.01.2019	2020-01-29
113	Polygon	114	Sg-353972-1-SRKOT-MediumStress	Sugarcane	9227	15.10.2018	2020-02-15
114	Polygon	115	Sg-353972-2-SRKOT-MediumStress	Sugarcane	9227	17.10.2018	2020-02-28
115	Polygon	116	Sg-355869-1-PMNYAMAGOULDAR	Sugarcane	CO86032	01.03.2019	2020-03-01
116	Polygon	117	Sg-359344-1-RGMASANNAVAR-VHighStress	Sugarcane	CO86032	18.08.2018	2020-01-05
117	Polygon	118	Sg-361669-1-KAMETAGUD_HighStress	Sugarcane	CO86032	08.09.2018	2019-12-25
118	Polygon	119	Sg-362067-1-HSTOLAMATTI-WellWatered	Sugarcane	CO86032	08.12.2018	2020-02-26
119	Polygon	120	Sg-365460-1-YYKALLOLI-WellWatered	Sugarcane	CO86032	14.01.2019	2020-02-20
120	Polygon	121	Sg-366851-1-SICHIMMAD-MediumStress	Sugarcane	CO86032	19.03.2019	2020-03-05
121	Polygon	122	Sg-366851-2-SICHIMMAD-HighStress	Sugarcane	CO86032	19.03.2019	2020-03-05
122	Polygon	123	Sg-367437-1-SRPARSHI-WellWatered	Sugarcane	CO86032	17.03.2019	2020-03-17
123	Polygon	124	SG-146607-1-ABASKI	Sugarcane	86032	15.07.2019	16-11-2020
124	Polygon	125	SG-146607-2-ABASKI	Sugarcane	86032	20.01.2019	30-01-2020
125	Polygon	126	SG-353323-1-AGCHAVAN	Sugarcane	86032	16.12.2018	26-12-2019
126	Polygon	127	SG-362628-1-ASHALKI	Sugarcane	86032	10.02.2019	20-02-2020
127	Polygon	128	SG-147420-1-BAHALKI	Sugarcane	86032	21.02.2019	27-02-2020
128	Polygon	129	SG-217794-1-BAKAMATAGI	Sugarcane	86032	12.02.2019	26-02-2020
129	Polygon	130	SG-217794-2-BAKAMATAGI	Sugarcane	86032	25.03.2019	20-03-2020
130	Polygon	131	SG-217800-1-BDNAGANUR	Sugarcane	86032	11.03.2019	15-03-2020
131	Polygon	132	SG-217800-2-BDNAGANUR	Sugarcane	86032	13.03.2019	13-03-2020
132	Polygon	133	SG-323304-1-BDTAKKANNAVAR	Sugarcane	86032	26.02.2019	02-03-2020
133	Polygon	134	SG-297735-2-BMPATIL	Sugarcane	265	10.02.2019	10-03-2020
134	Polygon	135	SG-297735-1-BMPATIL	Sugarcane	265	04.03.2019	15-03-2020
135	Polygon	136	SG-302330-3-BNPATIL	Sugarcane	86032	15.02.2019	20-02-2020
136	Polygon	137	SG-302339-2-BNPATIL	Sugarcane	86032	26.01.2019	30-01-2020
137	Polygon	138	SG-302339-1-BNPATIL	Sugarcane	86032	02.03.2019	10-03-2020
138	Polygon	139	SG-295066-1-BPRAMATIRTH	Sugarcane	86032	06.02.1919	10-02-2020
139	Polygon	140	SG-299308-2-BSBANTI	Sugarcane	86032	15.02.2019	20-02-2020
140	Polygon	141	SG-299308-1-BSBANTI	Sugarcane	86032	12.03.2019	12-03-2020

Календарь культур региона исследования в Южной Индии

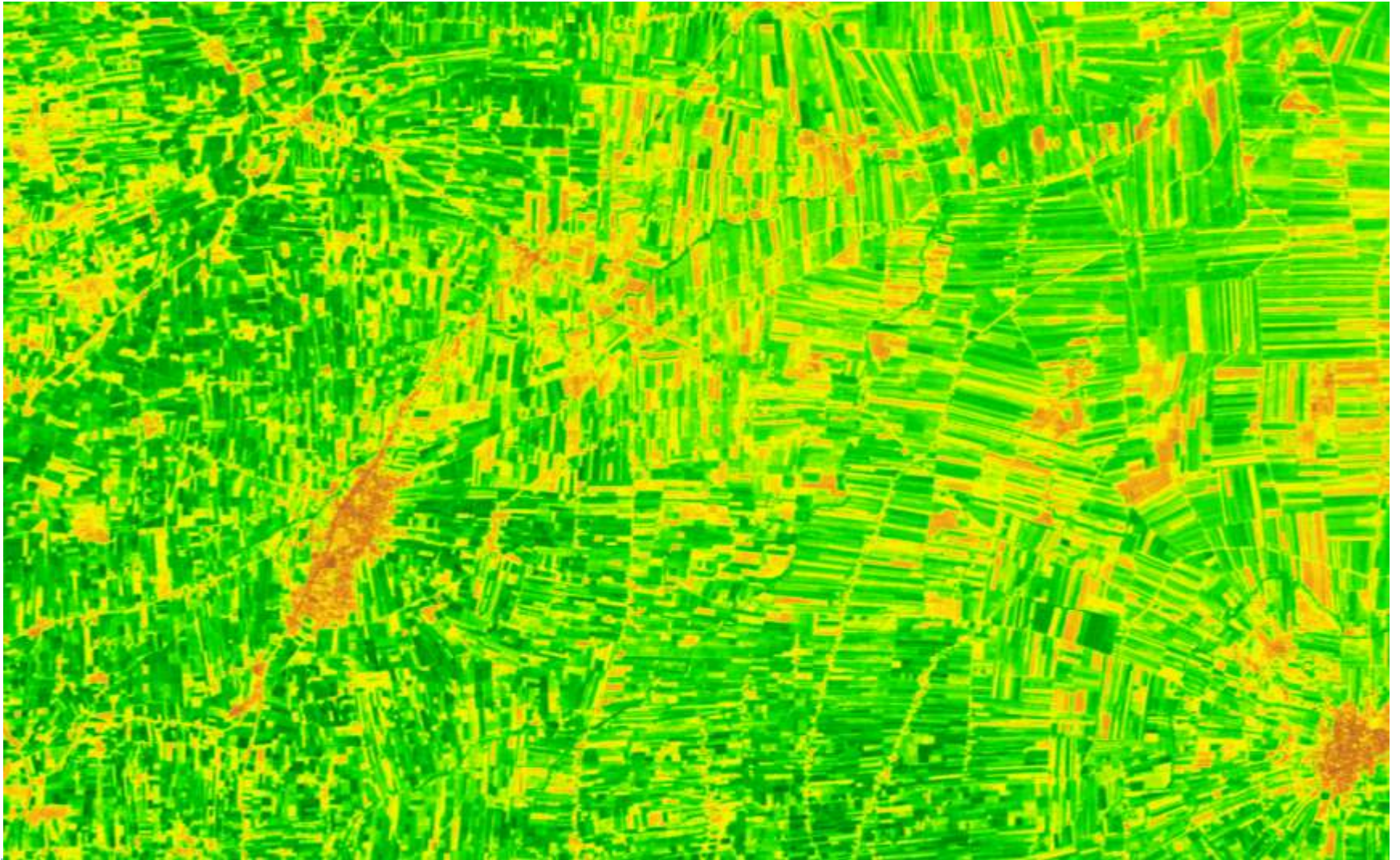
<i>Культура</i>	<i>Время посадки</i>	<i>Время уборки</i>	<i>Длительность роста (мес)</i>
Сахарный тростник	Январь-Февраль Октябрь-Ноябрь Июль-Август	Ноябрь-Март	12/14/18
Кукуруза	Июнь-Октябрь	Октябрь-Ноябрь	4
Куркума	Июнь-Июль	Февраль-Март	9
Пшеница	Октябрь-Декабрь	Январь	5

Сахарный тростник является неоднородным многомодальным классом, но его развитие характеризуется выраженной цикличностью и привязкой к дням года

Особенности выращивания сахарного тростника

- ▶ Типичные площади плантаций в Индии меньше 1 га;
 - ▶ Даты посадки могут отличаться более чем на месяц;
 - ▶ Различные сорта сахарного тростника имеют очень разные периоды вегетации: 12, 14 и 18 месяцев;
 - ▶ Распространено явление интеркропинга (intercropping) и mixedcropping – пока тростник не вырос, в промежутках между рядами (или растениями внутри рядов) растет другая культура
-

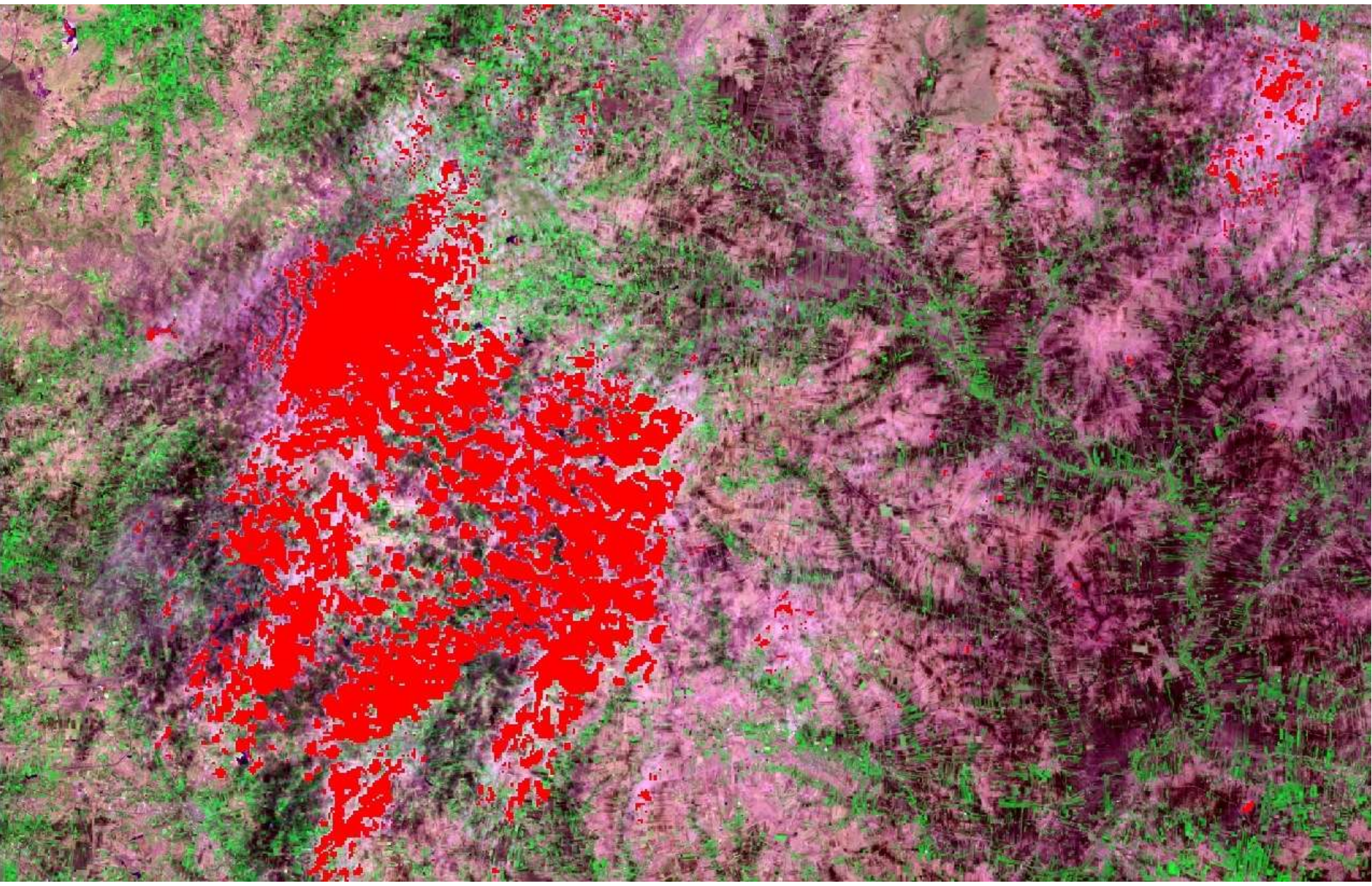
Сравнение возможностей MODIS и MSI



Проблемы с масками облачности S2



Проблемы с масками облачности S2



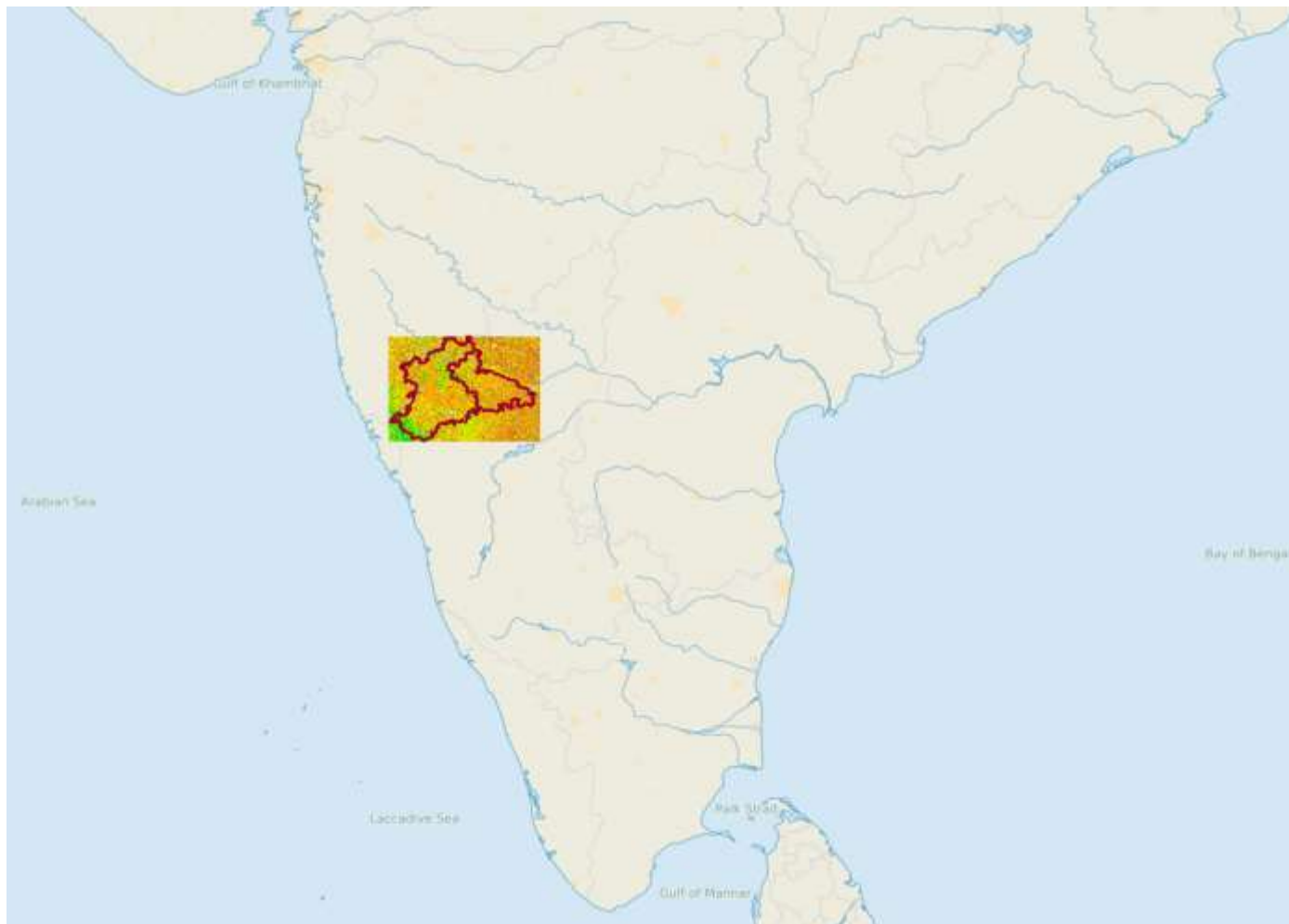
Проблемы с масками облачности S2



Весовой LOESS

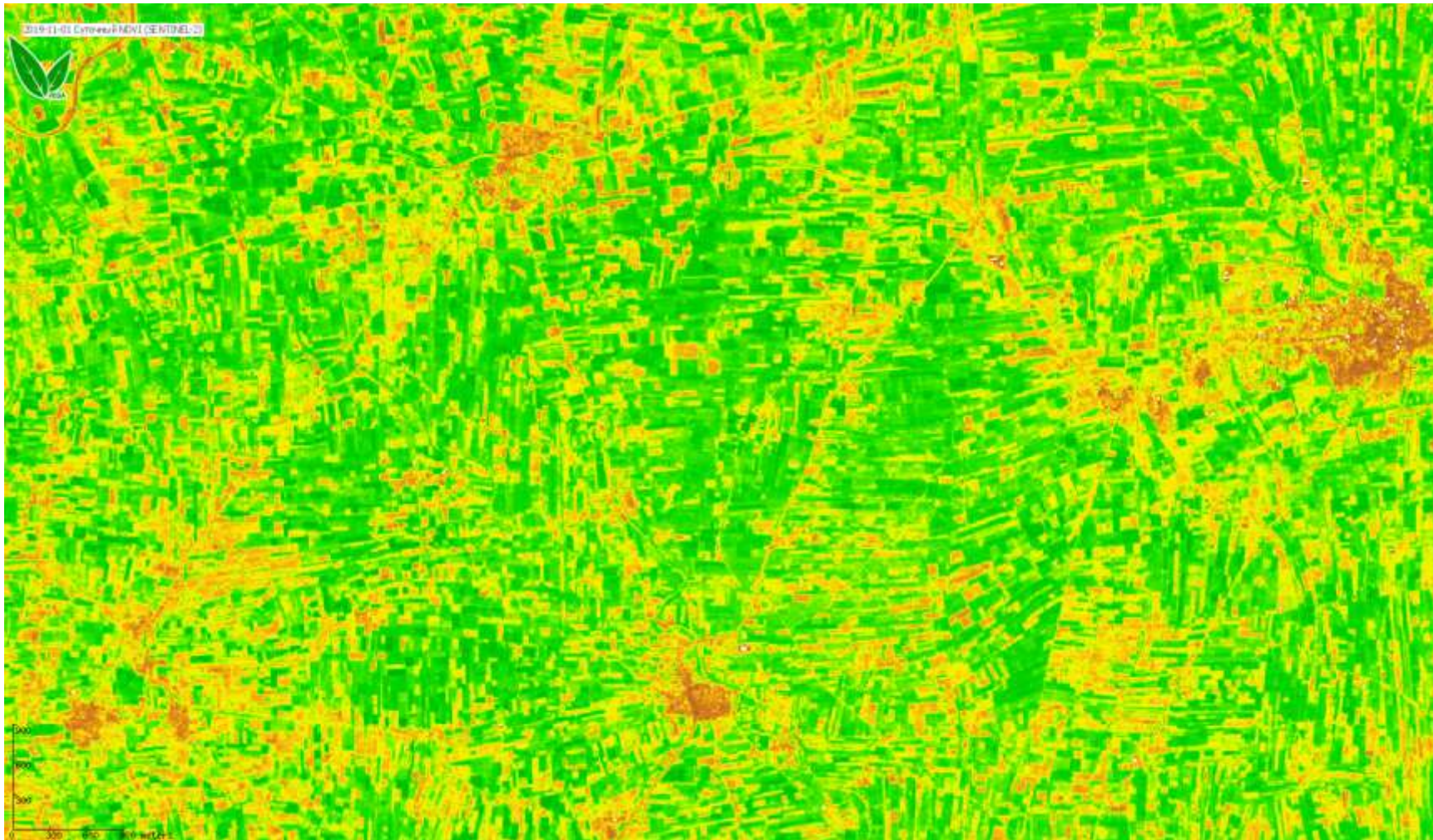
- ▶ На вход поступает временная серия всех измерений прибором MSI (Sentinel-2A и Sentinel-2B);
 - ▶ Для каждого значения восстанавливаемой метрики рассчитывается его вес на основе соответствующего значения NDSI: чем больше NDSI, тем меньше вес;
 - ▶ Значения метрики при NDSI соответствующим явной облачности или снегу (например, $NDSI > -0.2$) далее не рассматриваются;
 - ▶ Коэффициенты полинома в скользящем окне рассчитываются на основе оставшихся значений и их весов;
 - ▶ На основе найденного полинома восстанавливаются все значения в текущем скользящем окне
-

Покрытие восстановленными данными региона исследования в Южной Индии



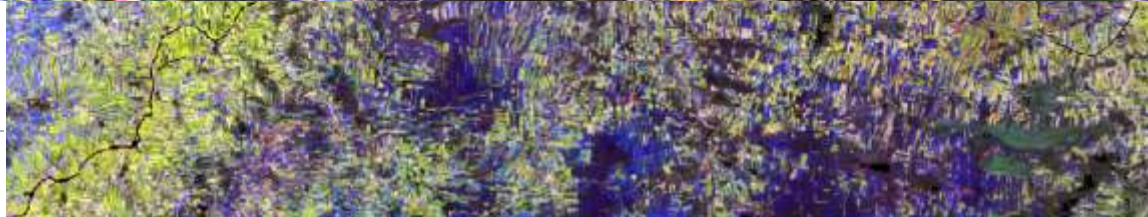
- непрерывный временной ряд безоблачных изображений получен для всего региона исследования с начала 2019 по конец 2020 года (для NDVI – с 2018 года)
- размер региона – 250 км на 180 км (округа Багалкот и Белгаум штата Карнатака)

Серия восстановленных безоблачных изображений NDVI по MSI (Sentinel-2)

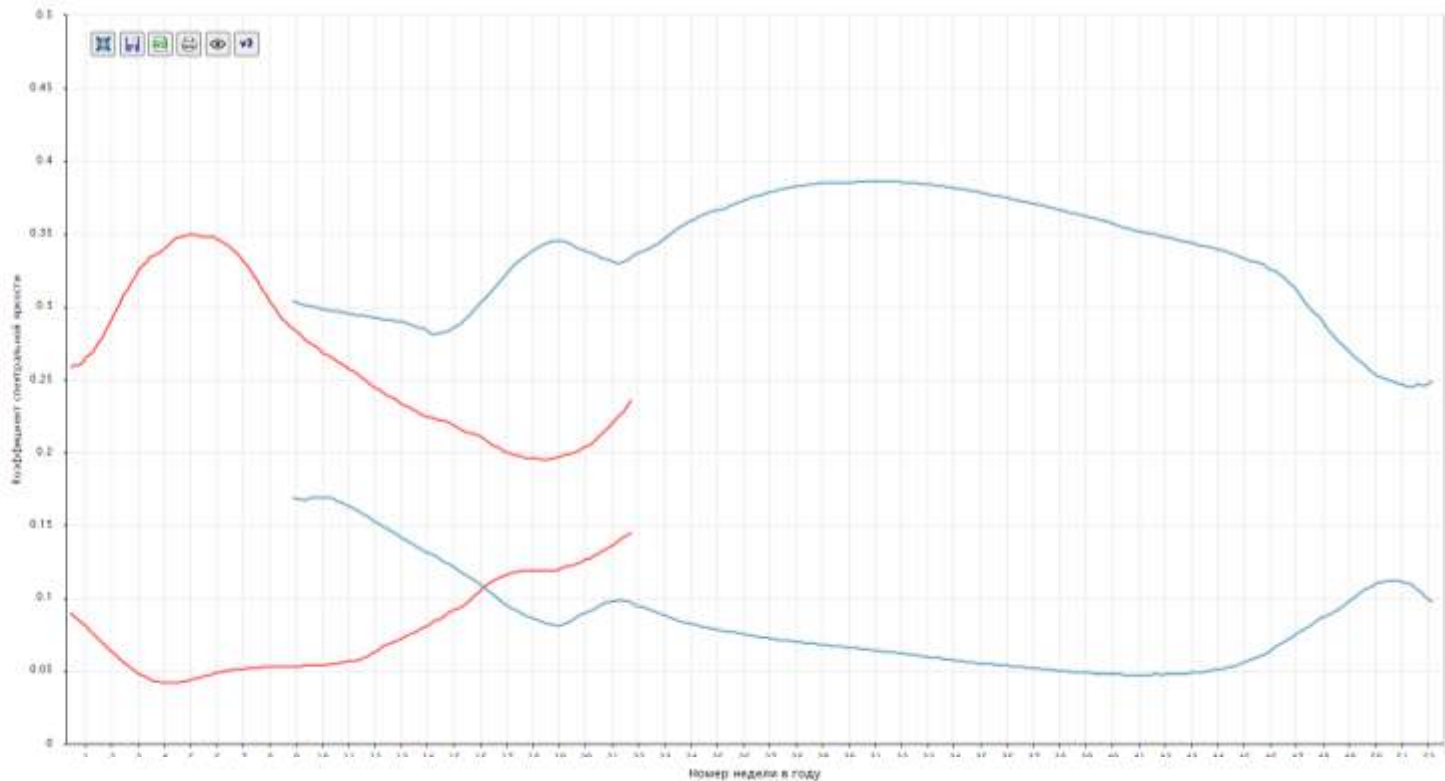
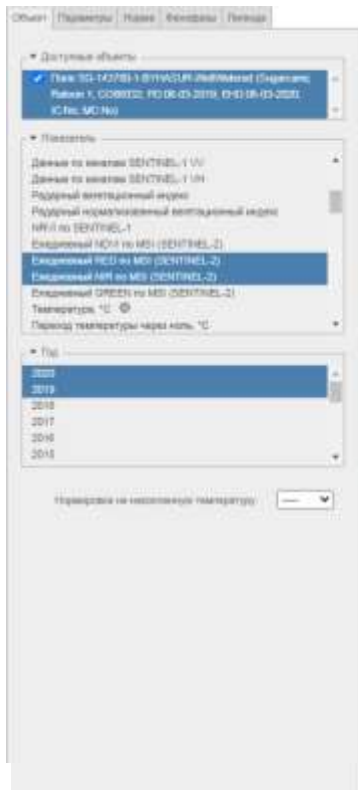


изменение NDVI на полях региона исследования (ноябрь 2019-май 2020)

Мультивременной синтез безоблачных изображений NDVI по MSI (Sentinel-2)

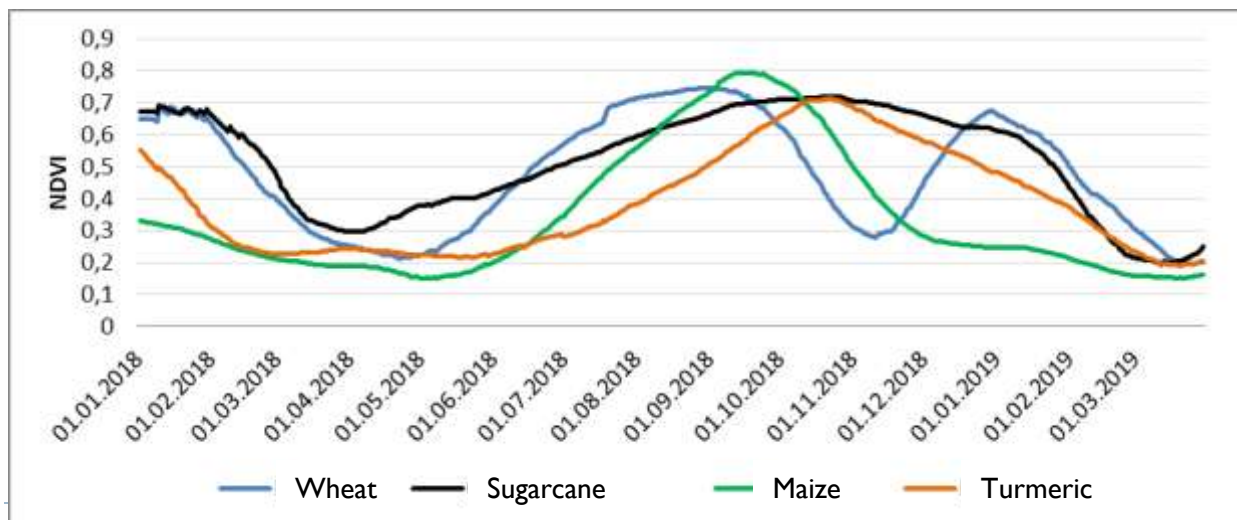
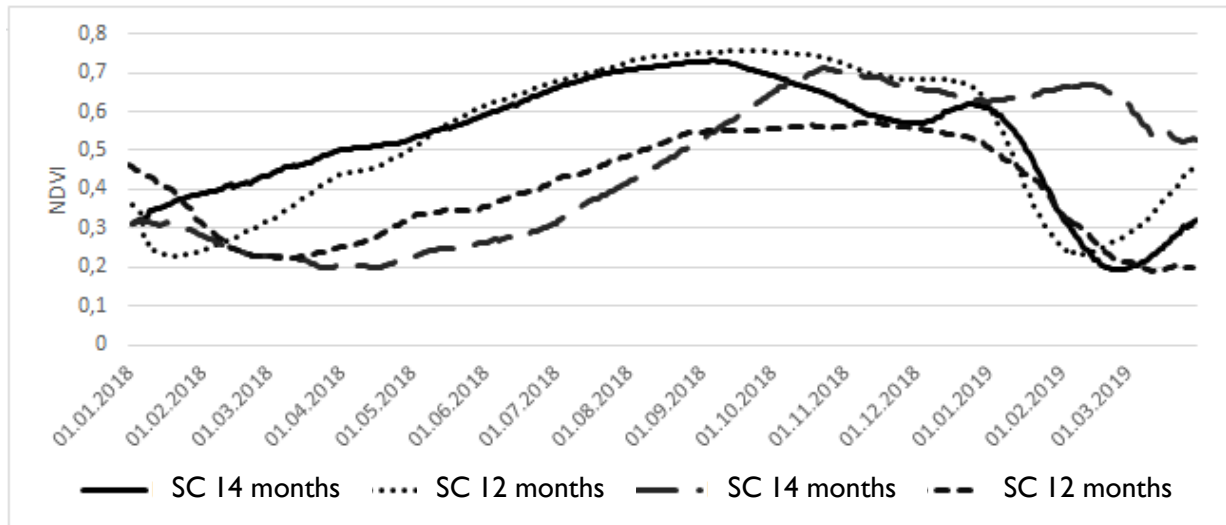


Интерактивный анализ восстановленных временных серий MSI в «Вега»



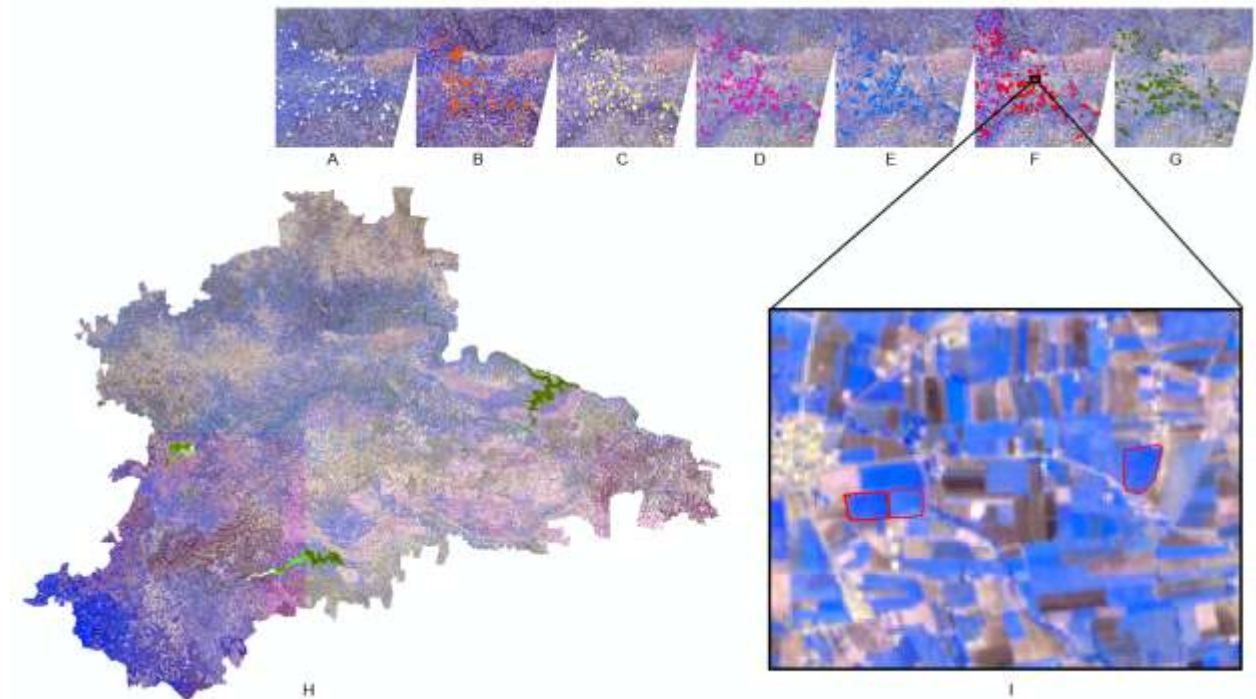
восстановленные многолетние временные серии безоблачных изображений различных индикаторов были размещены в системе Vega-Geoglam

Временные серии NDVI (MSI) сахарного тростника различных сортов и других культур

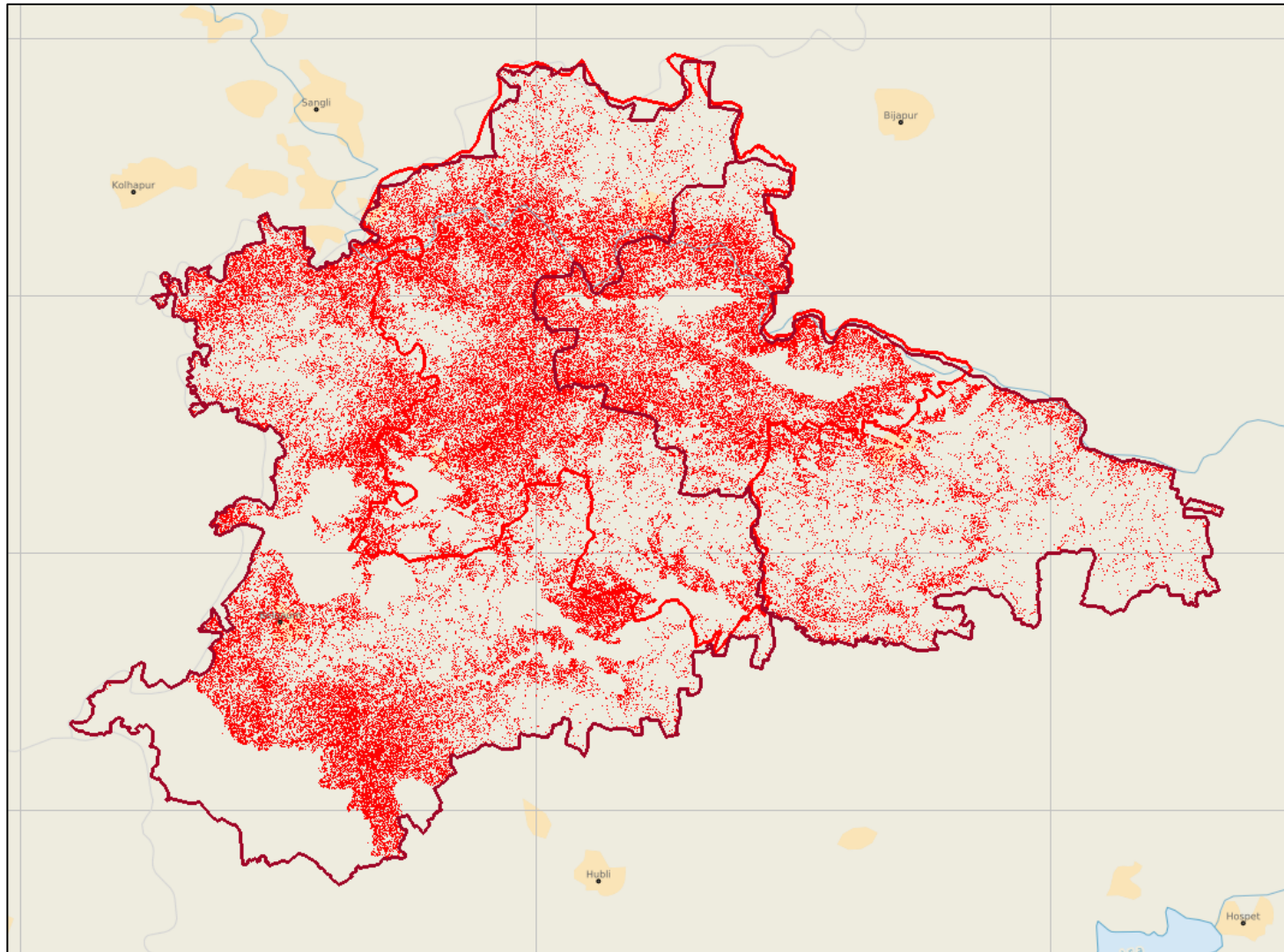


Распознавание сахарного тростника

- ▶ Мультиспектральные изображения
- ▶ Актуализированная опорная выборка
- ▶ Признак дня года

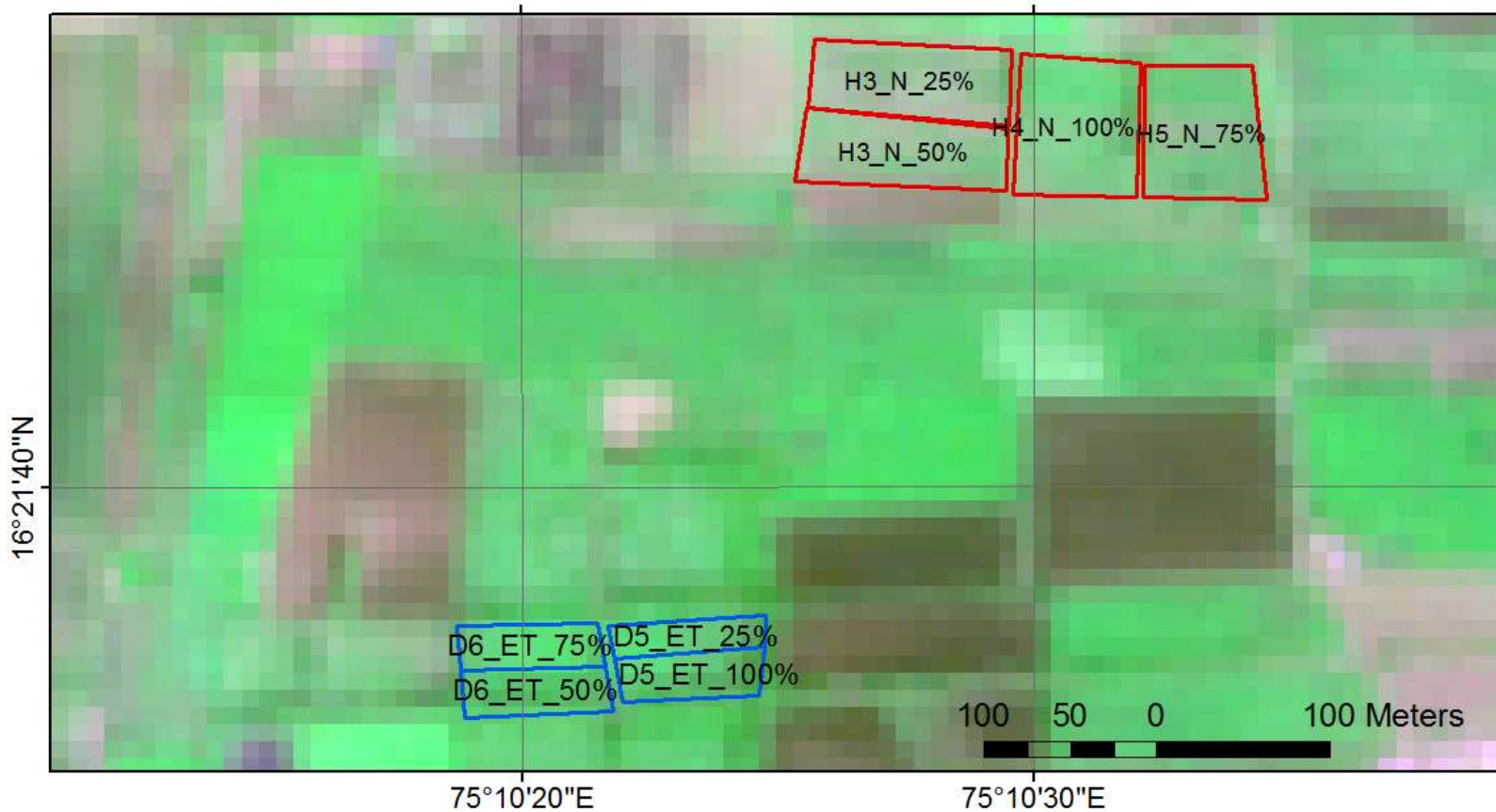


Результаты картографирования плантаций сахарного тростника на регион исследования



Общая точность распознавания: от 0.66 до 0.90, F-score SC: от 0.81 до 0.93

Эксперимент по контролю азотного и водного питания



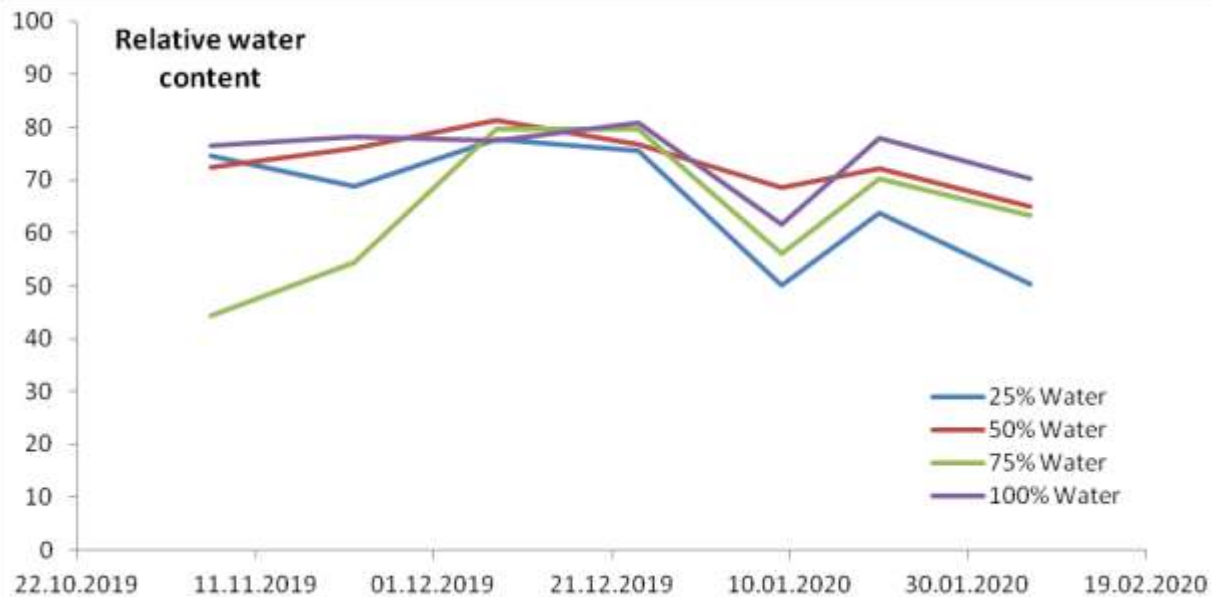
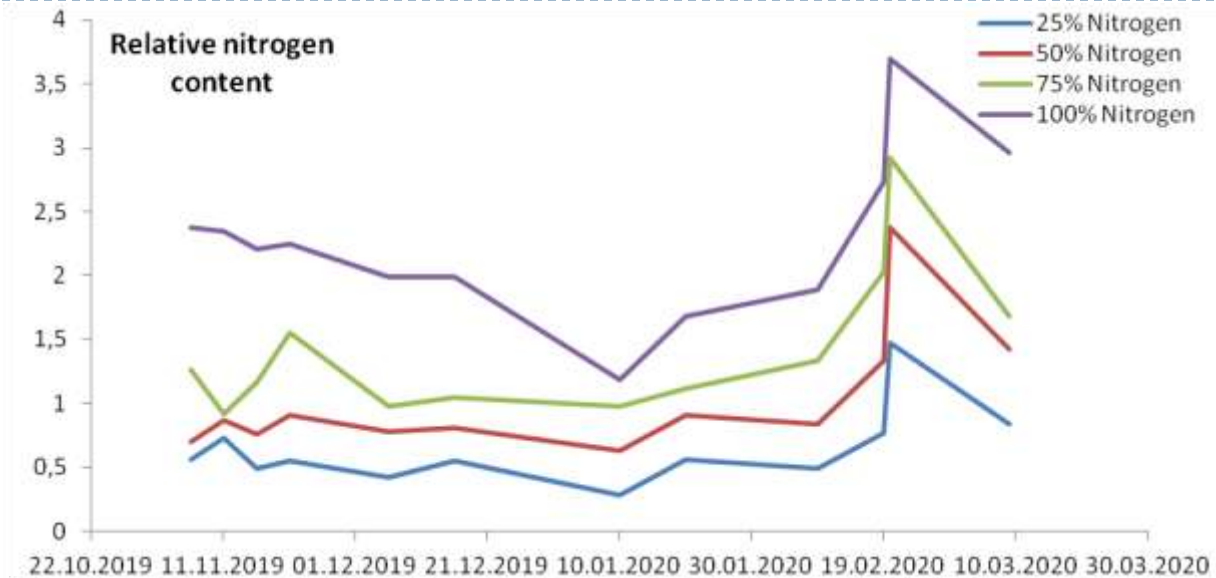
Для эксперимента было выбрано 2 группы полей:

- Долговременный контроль **азотного** питания: 4 страты (с шагом от 25% до 100%)
- Долговременный контроль **водного** питания: аналогичное стратифицирование

Условия эксперимента и забор образцов

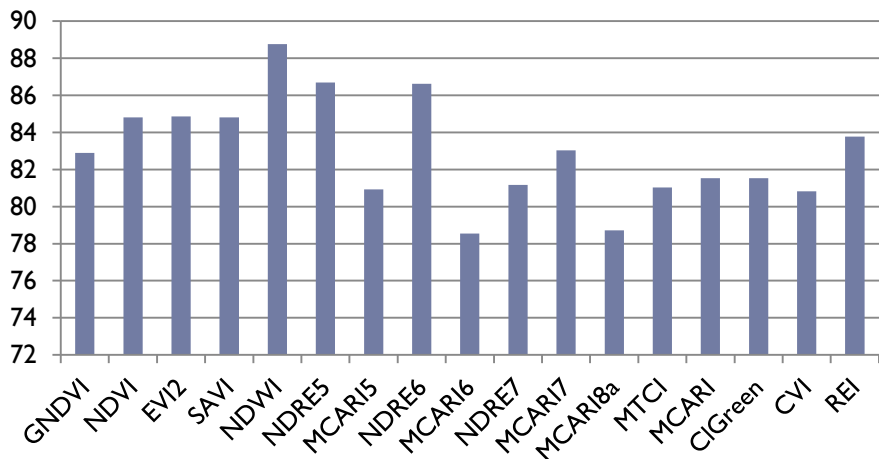
- ▶ Для оценки азотного стресса использовались данные Sentinel-2A,B (каналы красного края);
 - ▶ Для оценки водного стресса предполагалось использование данных Landsat-8 (тепловые каналы);
 - ▶ Выходы «в поле» были синхронизованы с пролётом соответствующего спутника;
 - ▶ Забор образцов (3й лист) деструктивным способом производился в 10 случайных точках каждой страты с последующей маркировкой, консервированием, измерениями в лаборатории и осреднением лабораторных показаний на соответствующую страту
 - ▶ Спутниковые индикаторы усреднялись на страту
-

Лабораторные показатели по стратам

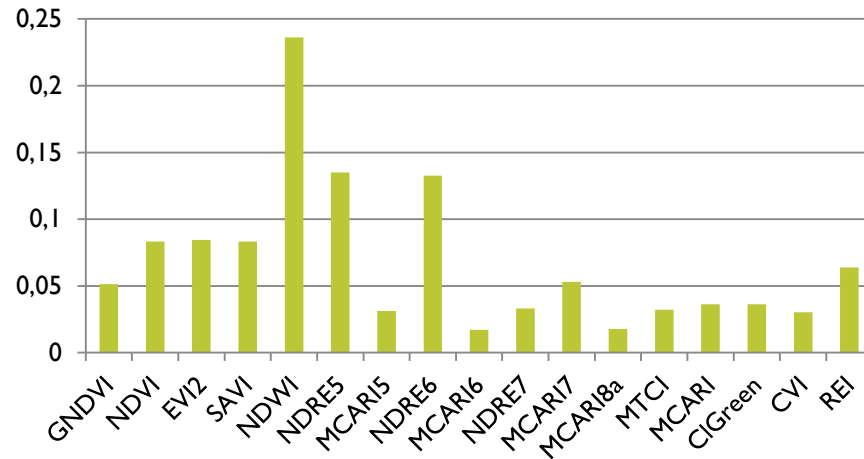


Индикаторы азотного стресса

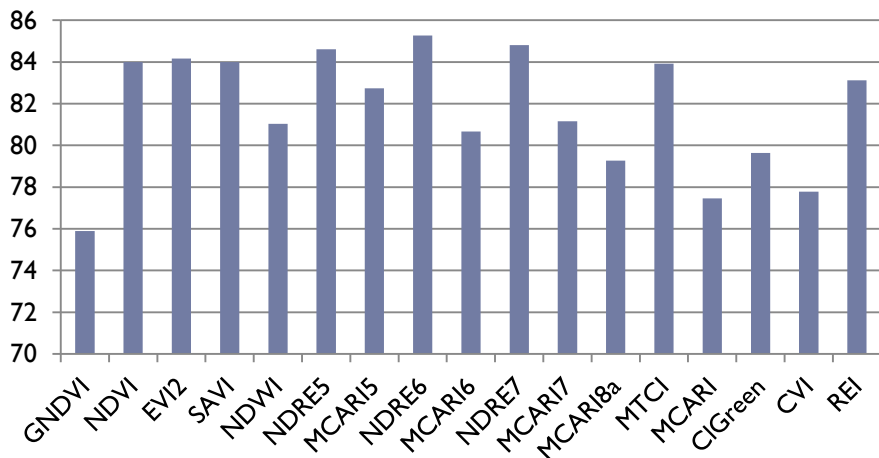
1-degree RMSE



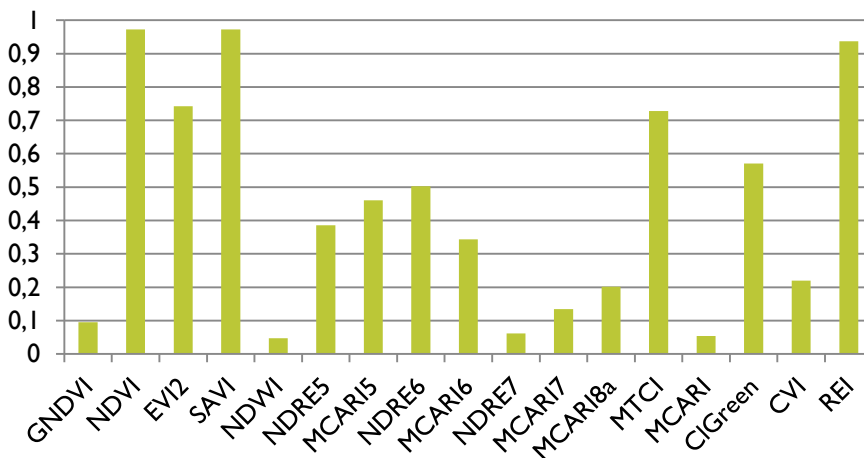
1-degree p-value



2-degree RMSE

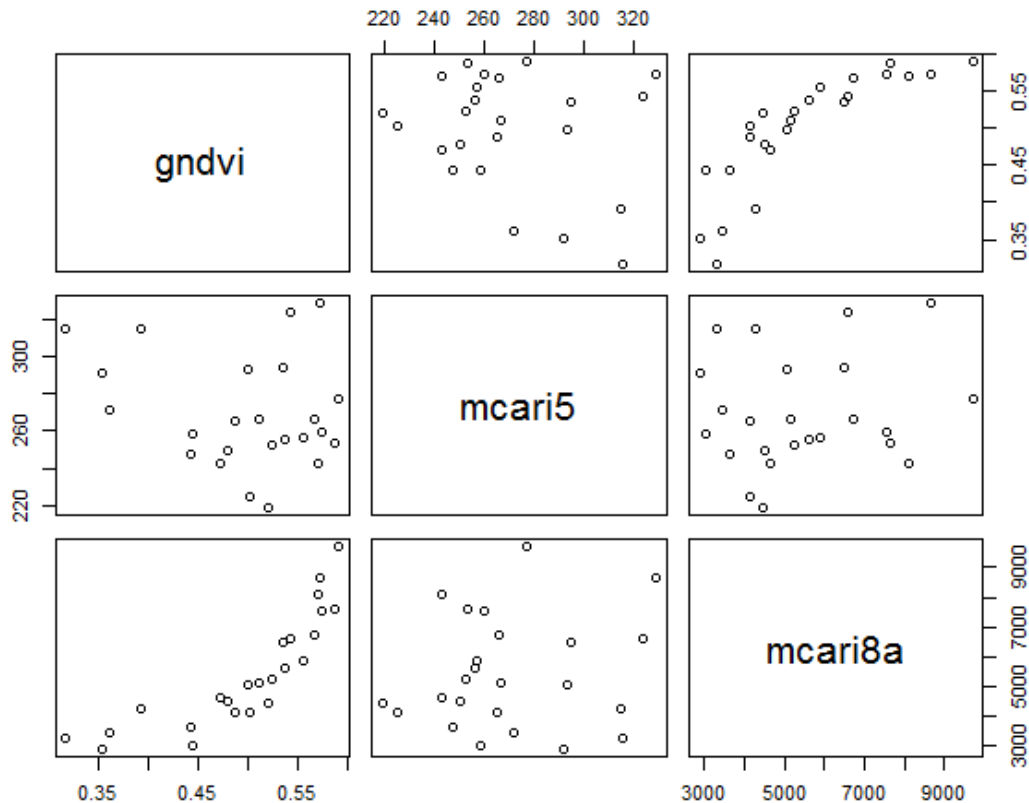


2-degree p-value



Кроме этого, в моделях индикаторов оценивались R^2 и F-статистика

Анализ индикаторов азотного стресса

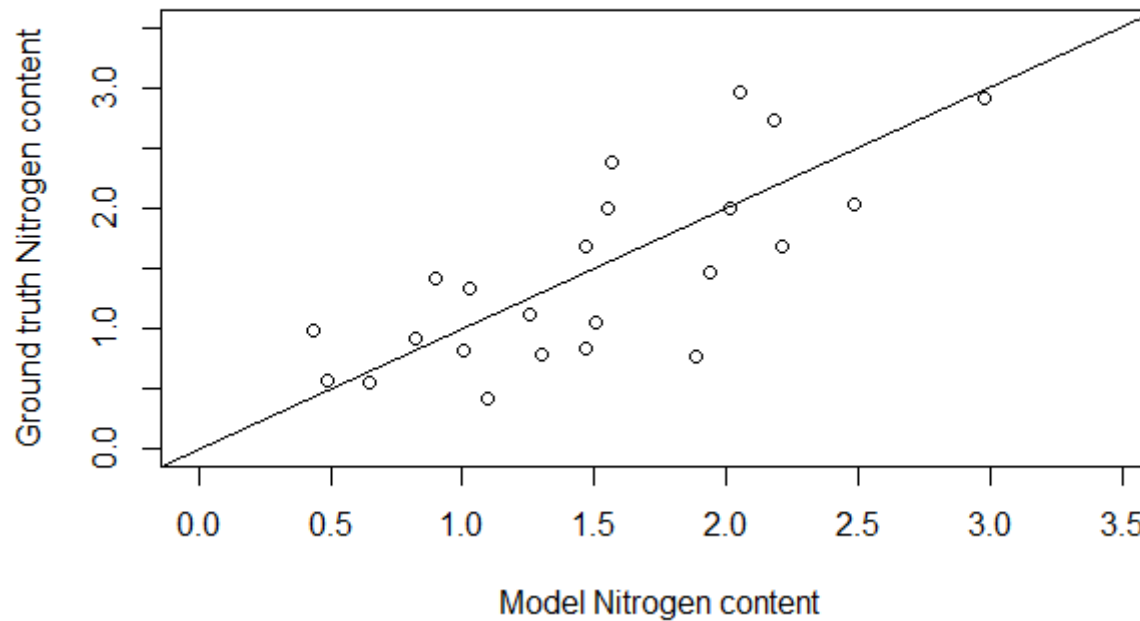


На предпоследнем этапе исключались коррелирующие индикаторы

При выборе окончательной модели учитывалась симметричность распределения остатков модели, значение $\text{Adjusted } R^2$, значение F-статистики и значимость модели (p-value), количество независимых индикаторов минимизировалось

Модель для оценки азота в побегах СТ

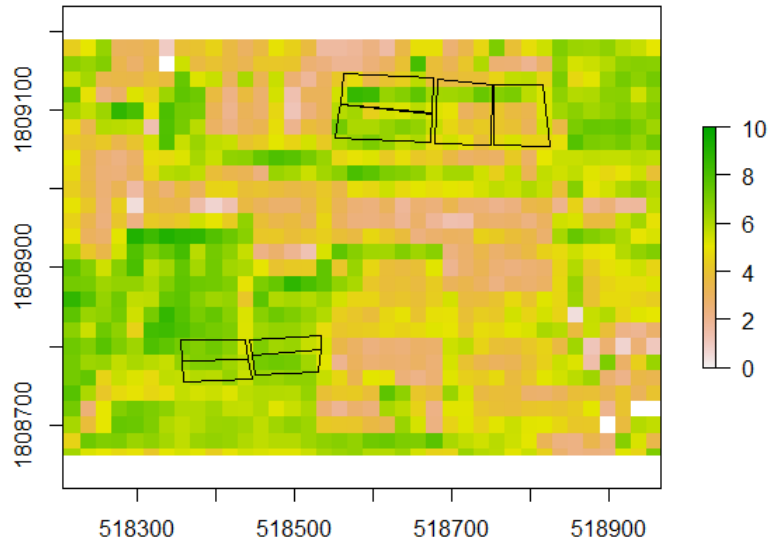
Best Nitrogen model, R2 = 0.617 , Adj.R2 = 0.537



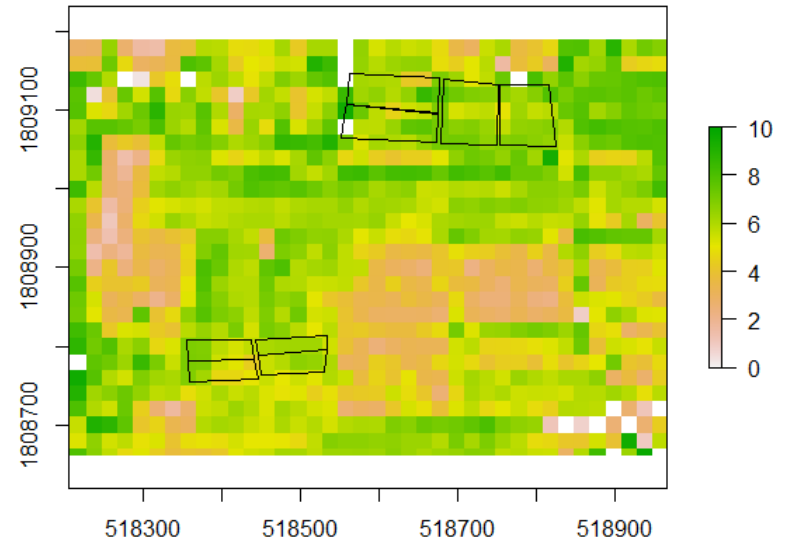
$$N = -0.055*MCARI8A + 2.23*MCARI5 + 700.08*GNDVI + 237.25*GNDVI^2 - 148.32$$

Nitrogen content prescription maps

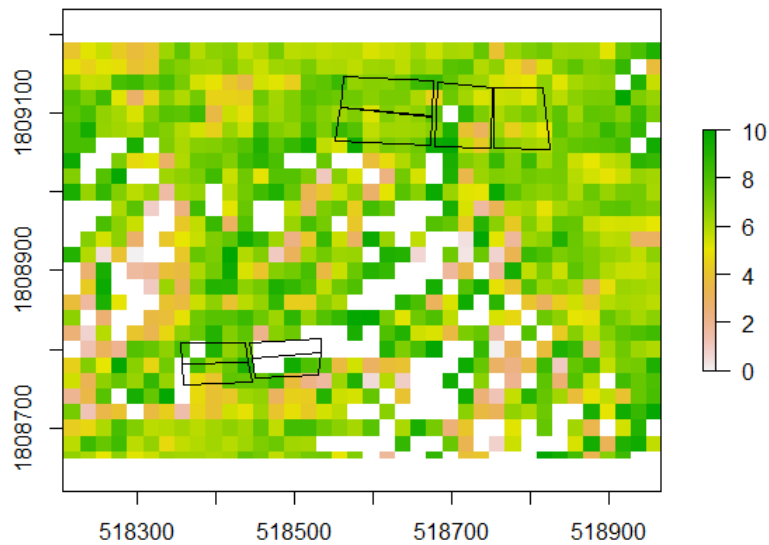
Nitrogen content map, 20200120



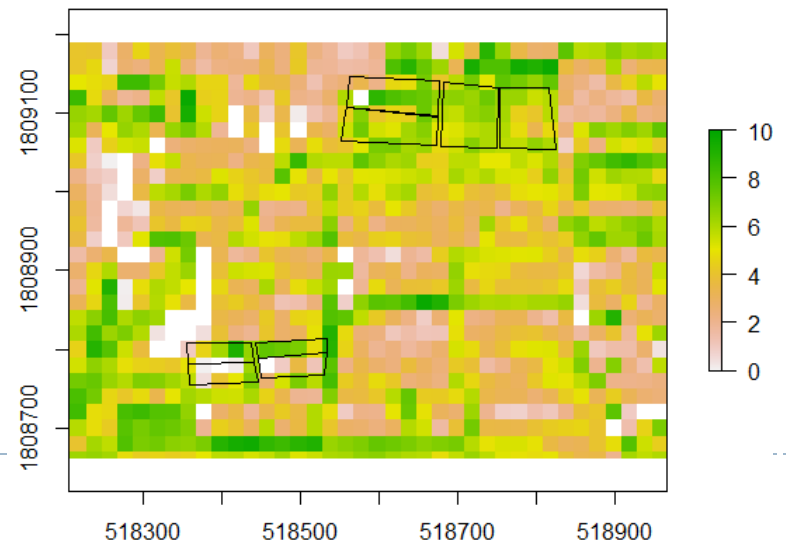
Nitrogen content map, 20191216



Nitrogen content map, 20191206

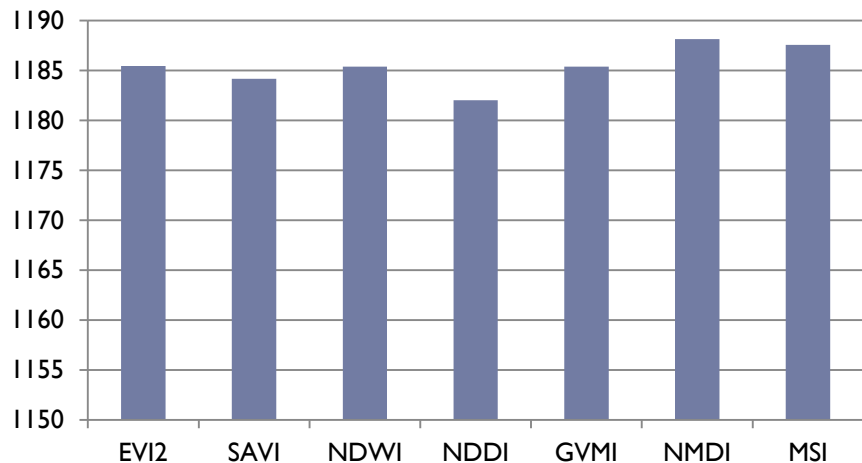


Nitrogen content map, 20200219

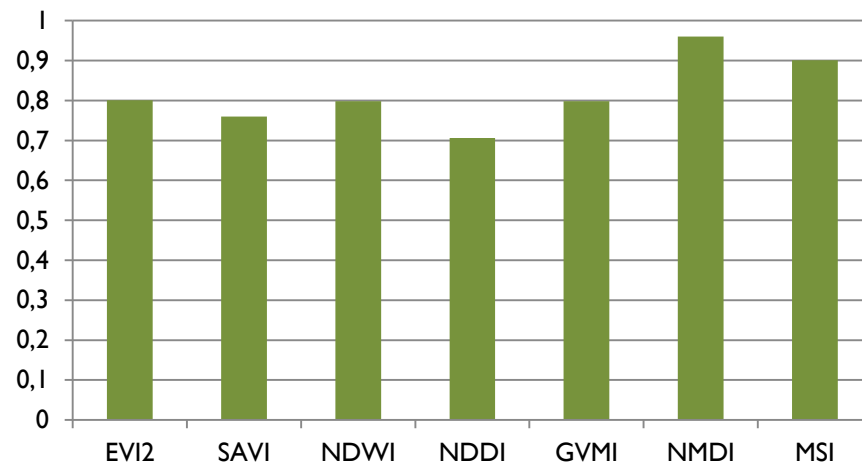


Индикаторы водного стресса

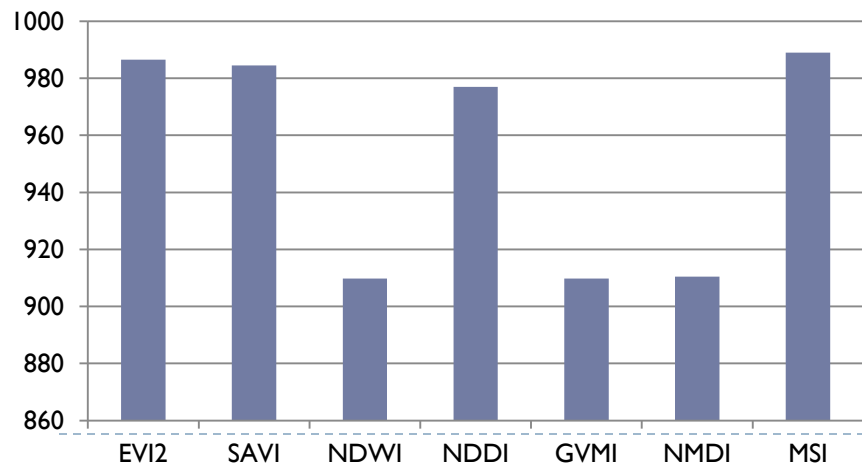
1-degree RMSE



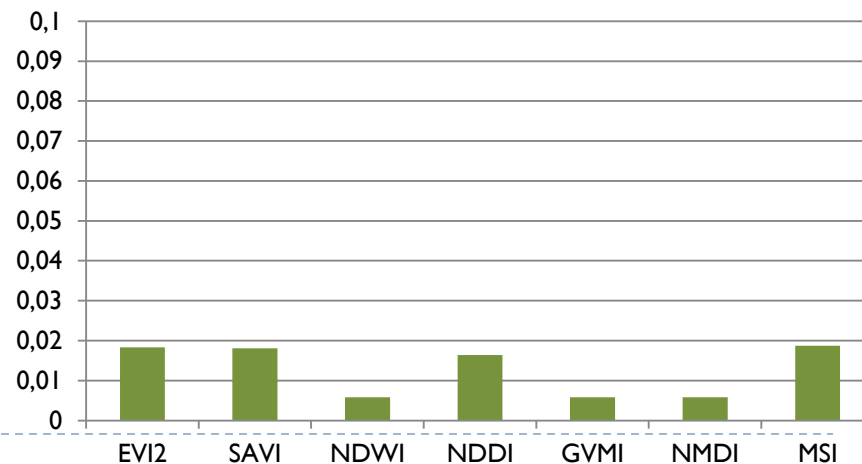
1-degree p-value



2-degree RMSE

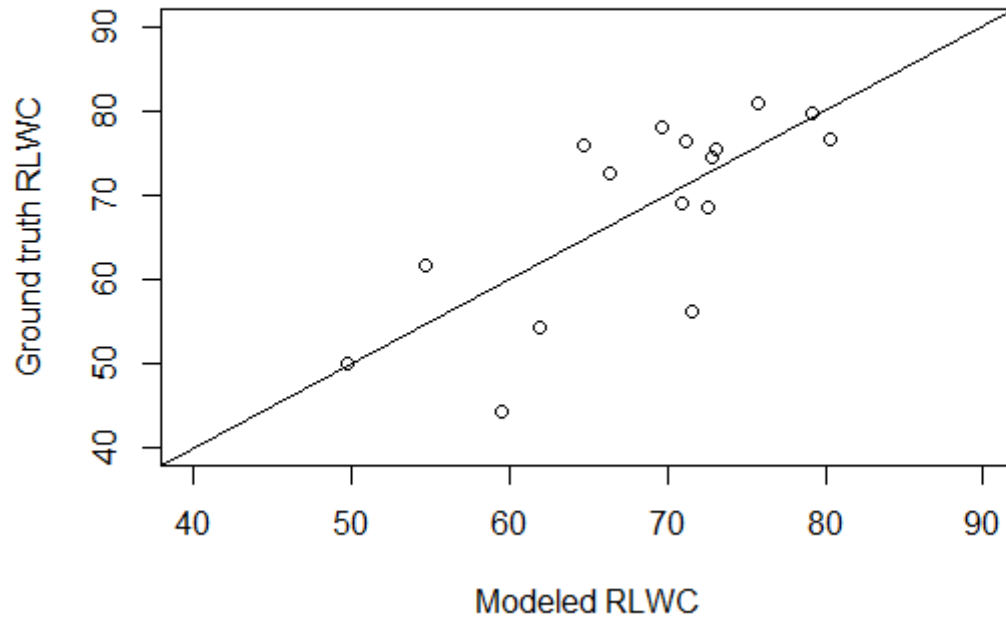


2-degree p-value



Модель для оценки водосодержания

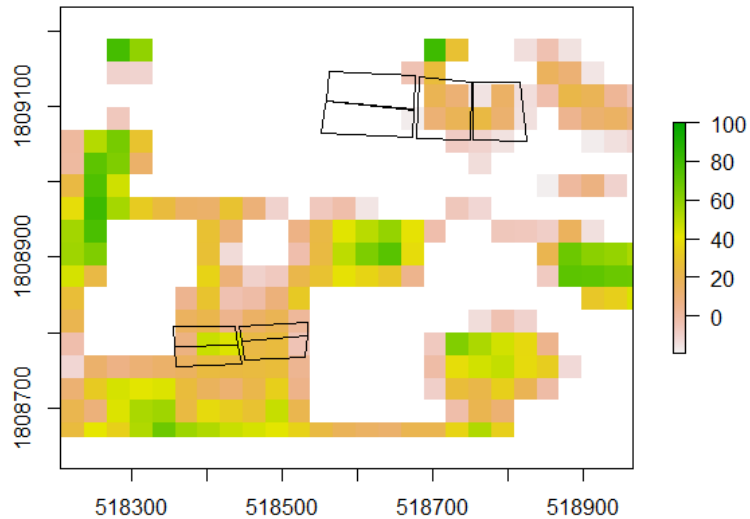
Best RLWC model, R2 = 0.543 , Adj.R2 = 0.429



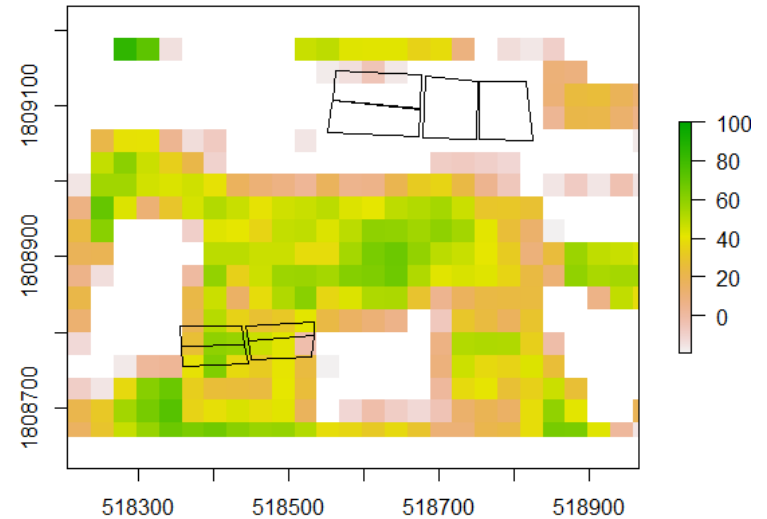
$$W=499.73*NDDI-99.76*NDWI-30.46*NDWI^2-229.65$$

Relative leaf water content prescription maps

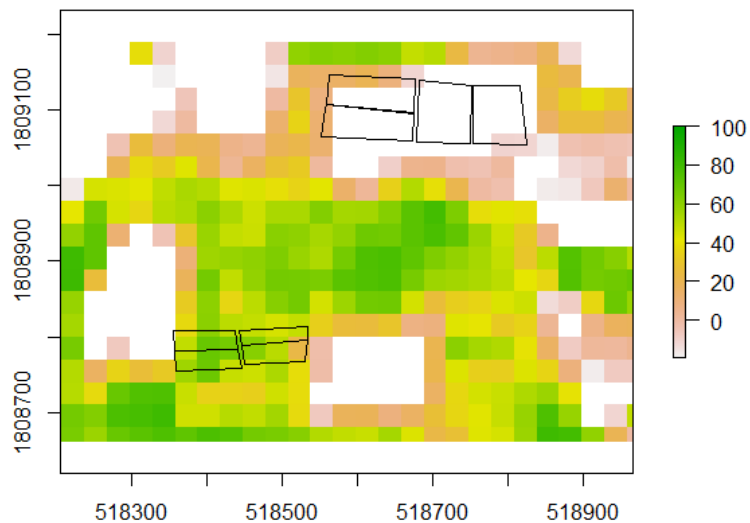
Rel.Leaf.Water content map, 20191224



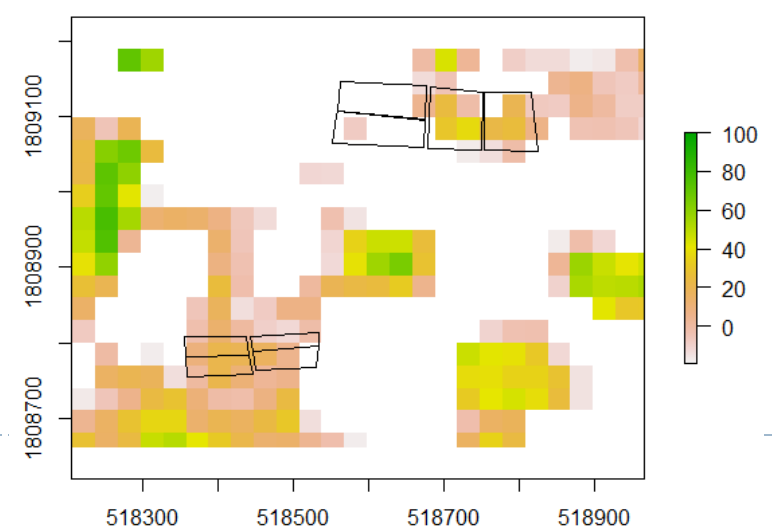
Rel.Leaf.Water content map, 20191122



Rel.Leaf.Water content map, 20191106



Rel.Leaf.Water content map, 20200109



Замечания

- ▶ Сбор образцов должен был продлиться до мая 2020 года, но фактически был прекращен в марте 2020 из-за ограничений в Индии – нехватка наземных измерений пока ограничивает возможности построения точных моделей;
 - ▶ Управление азотным и водным питанием осуществлялось путем регулирования потока воды и удобрений в системах капельного полива, однако лабораторно определенные уровни водного стресса не всегда коррелировали с заданным уровнем стресса для страты – необходимо учитывать задержку ресурсов в почве и коммуникациях
-

Выводы

- ▶ Проект позволил получить понимание особенностей сельскохозяйственных практик в тропических регионах мира;
- ▶ Разработаны новые универсальные методы обработки спутниковых данных;
- ▶ Исследованы индикаторы водного и азотного стресса растений сахарного тростника;
- ▶ Разработаны подходы для оперативного распознавания плантаций