



Двадцать третья международная конференция
“Современные проблемы дистанционного
зондирования Земли из космоса”

Факультет географии и геоинформационных
технологий, национальный исследовательский
университет “Высшая школа экономики”

Москва, 2025

ВЫЯВЛЕНИЕ ПОСЕВОВ ОПИУМНОГО МАКА В АФГАНИСТАНЕ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

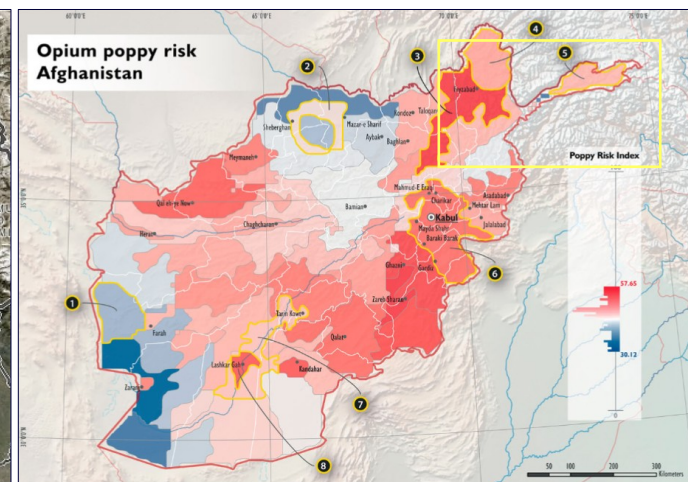
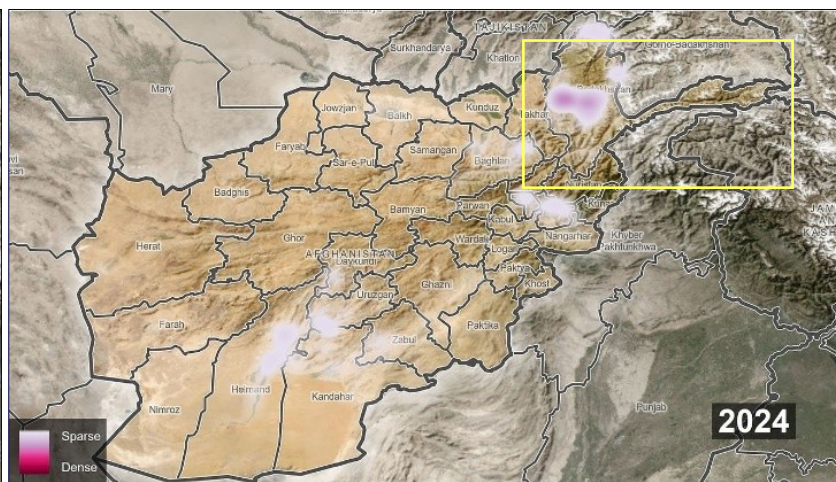
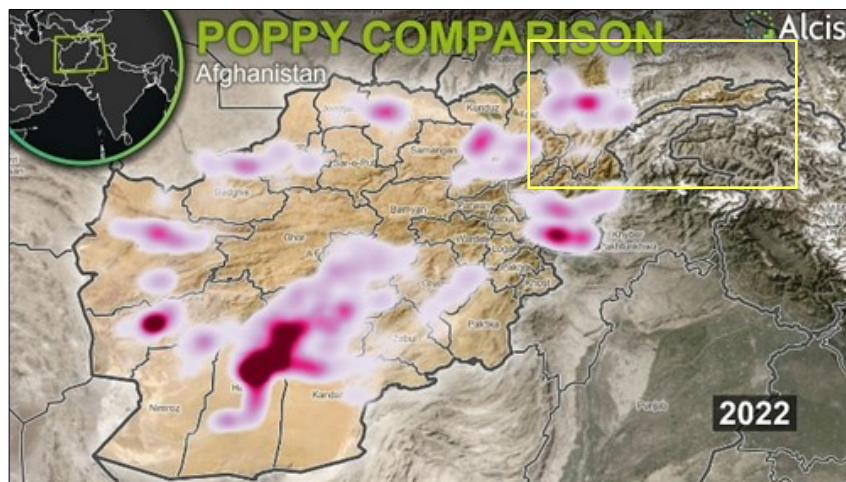
Автор: Лалетина С.О., студ. 3 курса ФГГТ НИУ ВШЭ
Руководитель: Тельнова Н.О., ст. преп. ФГГТ НИУ ВШЭ

В начале апреля 2022 г., через 7 месяцев после прихода к власти, талибы ввели запрет на «выращивание, производство, торговлю и использование любых наркотических веществ», в результате чего в стране на 95% сократились площади посевов опиумного мака (с 220 тыс. га до 11 тыс. га).

Запрет оказал наименьшее влияние на выращивание мака в провинции Бадахшан, где в силу неблагоприятных агро-климатических (малопродуктивные почвы, мелкоземельное хозяйство) и социально-экономических условий (отсутствие альтернативных возможностей трудоустройства) мак является наиболее доступной сельскохозяйственной культурой.

Плотность посевов опиумного мака в 2022 и 2024 г. (Mansfield, 2024)

Провинция Бадахшан



Экологическая пригодность для выращивания опиумного мака и социально-экономическая уязвимость населения (Kienberger et al., 2017)



Двадцать третья международная конференция “Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса”

Цель работы:

выявить посевы опиумного мака на территории провинции Бадахшан (в окрестностях города Файзабад) по временным сериям NDVI

*Выращивание опиумного мака
в провинции Бадахшан в мае 2024 г. (UNODC, 2024)*



Выявление посевов опиумного мака в Афганистане по спутниковым данным высокого разрешения

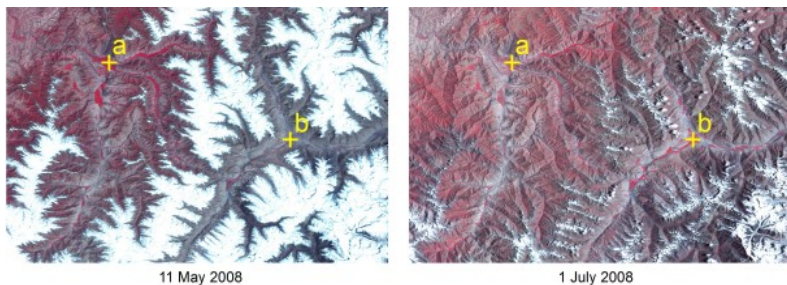
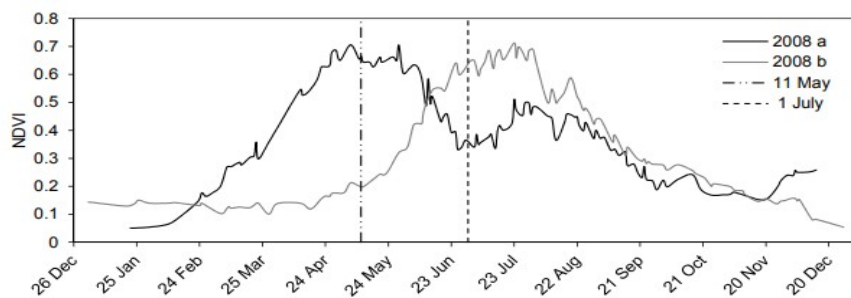
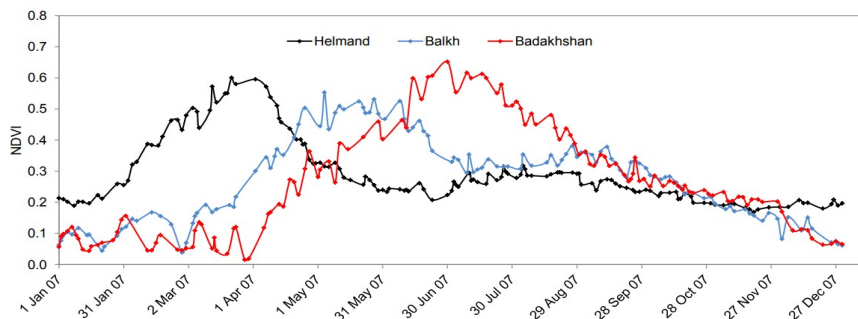
Задачи:

1. выделить фенологические циклы основных с/х культур;
2. рассчитать маску с/х угодий с помощью неконтролируемой классификации (ISODATA);
3. провести эталонирование и анализ делимости выборок;
4. выполнить классификация с использованием трех алгоритмов машинного обучения (ANN, RF, SVM)

Литература и материалы:

1. отчеты управления ООН по наркотикам и преступности,
2. материалы Европейского центра мониторинга наркотиков и наркозависимости,
3. результаты мониторинга посевов в Бадахшане Alcis,
4. 14 сцен PlanetScore (апрель-ноябрь 2022 г., июнь 2024 г.)

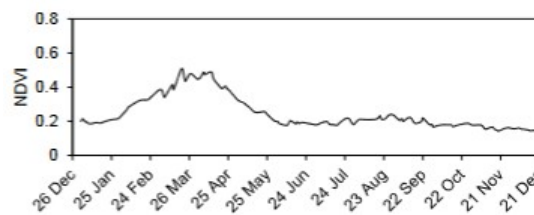
Используемое ПО: ArcGIS Pro, Multispec, SAGA GIS



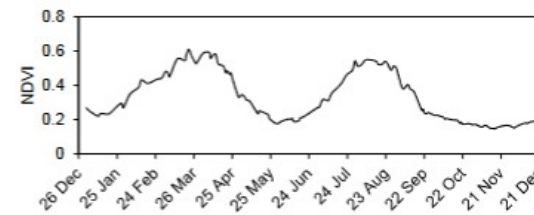
(1) *Вегетационные периоды в провинциях Гильменд, Балх и Бадахшан*
(Taylor et al., 2010; Simms et al., 2014)

Использование методов ДЗЗ в мониторинге посевов наркосодержащих культур

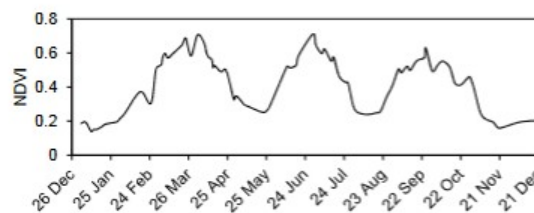
- (1) Предварительный анализ сроков вегетационного периода по данным низкого разрешения (MODIS).
- (2) Выявление основных фенологических циклов по данным низкого и среднего разрешения (MODIS, Landsat, Sentinel).



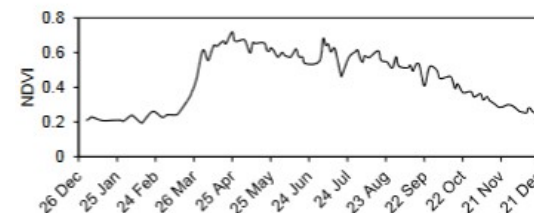
(c) Single cycle



(a) Two distinct cycles



(f) Three distinct cycles



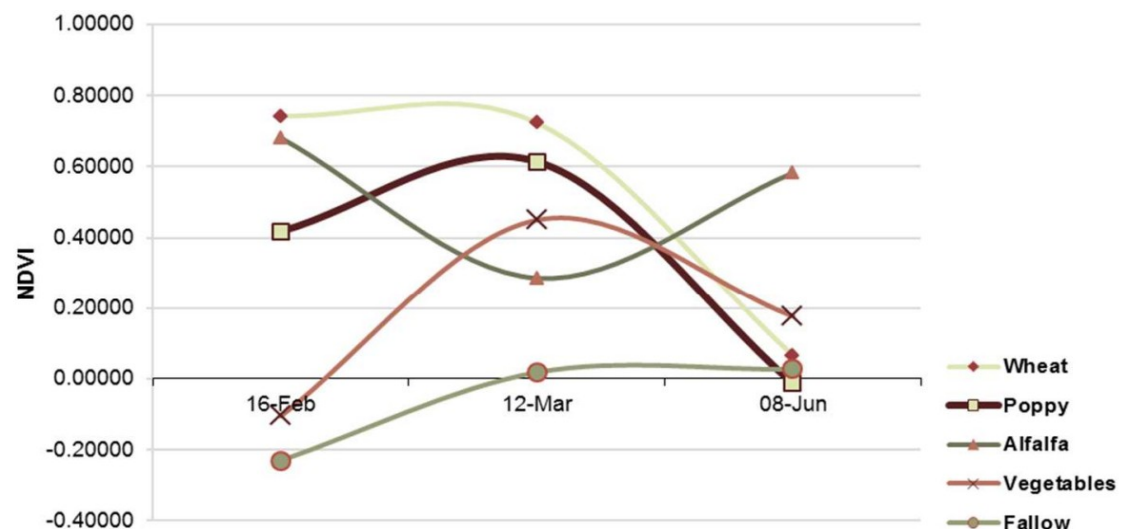
(e) Tree crops

(2) *Примеры основных фенологических циклов, выявленных на территории провинции Гильменд (Афганистан) (Simms et al., 2014)*

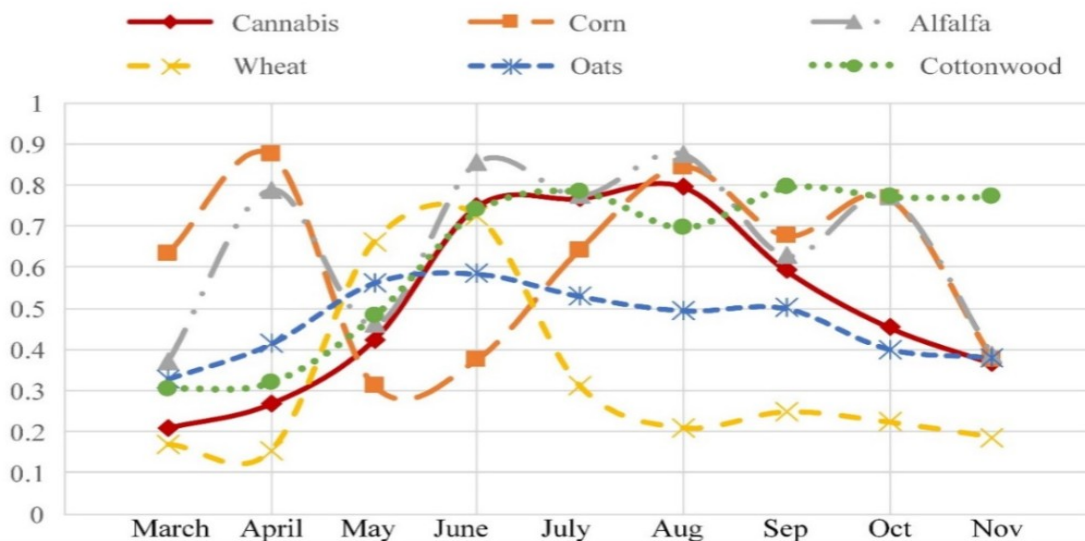
Использование методов ДЗЗ в мониторинге посевов наркосодержащих культур

(3) Выявление фенологических циклов отдельных культур по средне- и высокодетальным снимкам, а также с использованием данных подспутниковых наблюдений.

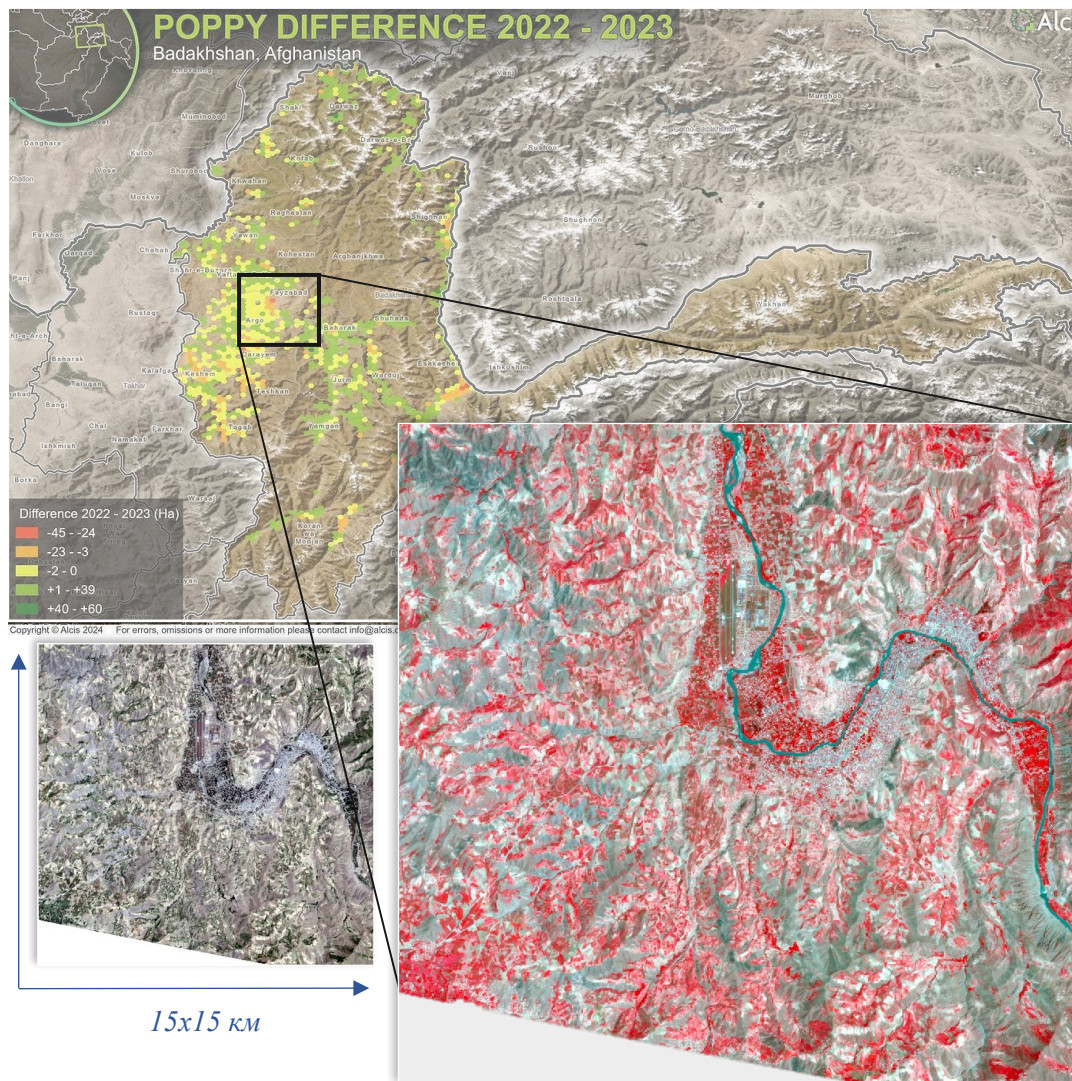
(4) Выделение посевов наркосодержащих культур методами визуального, полу- и автоматизированного дешифрирования.



(3) Временные ряды NDVI для пшеницы, мака, люцерны и овощных культур по данным IKONOS, на примере тестового участка в провинции Гильменд (UNODC, 2015)



(4) Временные ряды NDVI для конопли, пшеницы, кукурузы, овса, люцерны и хлопка по данным PlanetScope, на примере тестового участка в северной Турции (район Кастамону) (Bicakli, 2022)



Выявление посевов опиумного мака в Афганистане по спутниковым данным высокого разрешения

Выявление посевов опиумного мака в провинции Бадахшан по разновременным данным высокого разрешения

Территория исследования: участок 15x15 км в окрестностях провинциального центра – города Файзабад

Временной период: апрель – ноябрь 2022 г.

Особенности сельского хозяйства в провинции:

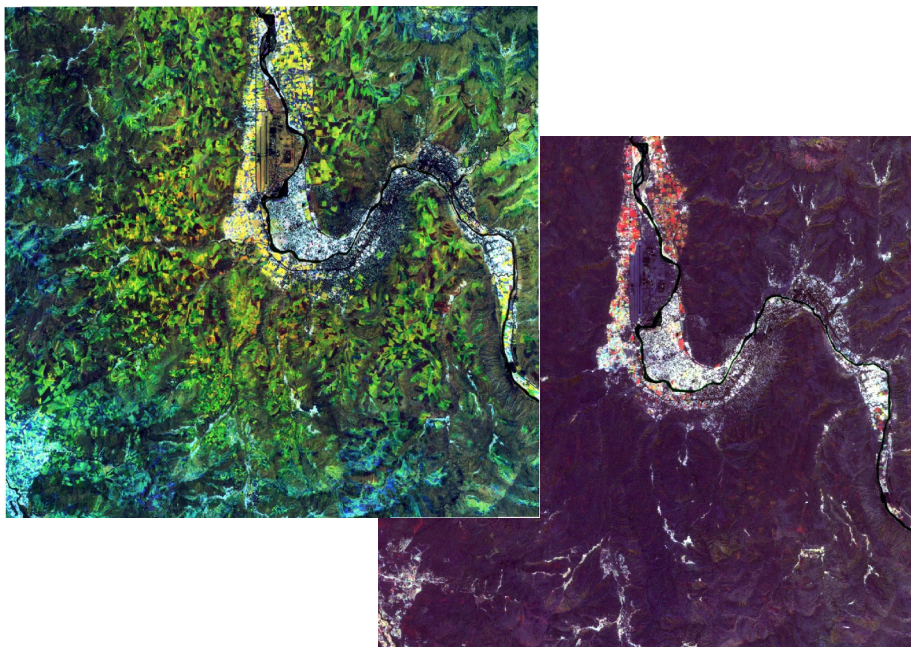
1. мало с/х земель пригодных для обработки;
2. короткий вегетационный период;
3. внутренняя и внешняя изоляция;
4. выращиваются преимущественно озимые культуры (зимний посев tirmai)

Изменение в площади выращивания опиумного мака (га) в Бадахшане в 2022-23 гг. (Mansfield, 2024)

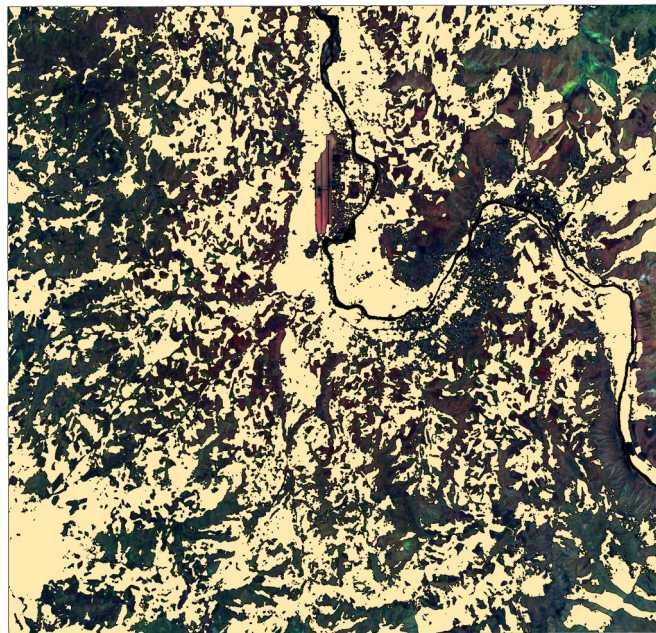
Снимок PlanetScope на 02.06.2024: естественные цвета (слева) и синтез NIR-Red-Green (справа)

Выявление посевов опиумного мака в провинции Бадахшан по разновременным данным высокого разрешения

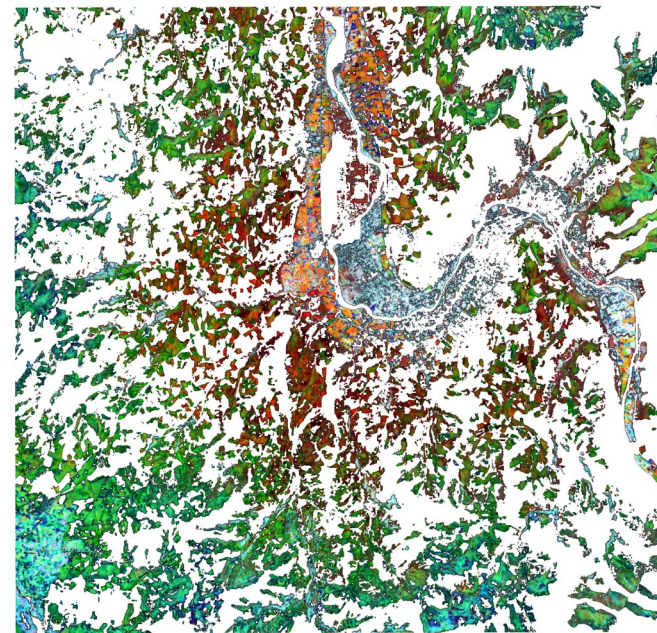
- (1) Согласно выделенным фенологическим циклам, выращивание озимых культур преобладает в окрестностях города за исключением территории в долине реки Кокча, где выращиваются яровые культуры.
- (2) На основе результатов неконтролируемой классификации (ISODATA) создана маска с/х угодий для оптимизации дальнейшей классификации с обучением, поскольку территория, не являющаяся с/х угодьями, занимала почти 50% снимка.



(1) Композиты NDVI в синтезе 04.04-05.05-24.06.2022 (справа) и 17.08-29.09-27.10.2022 (слева)



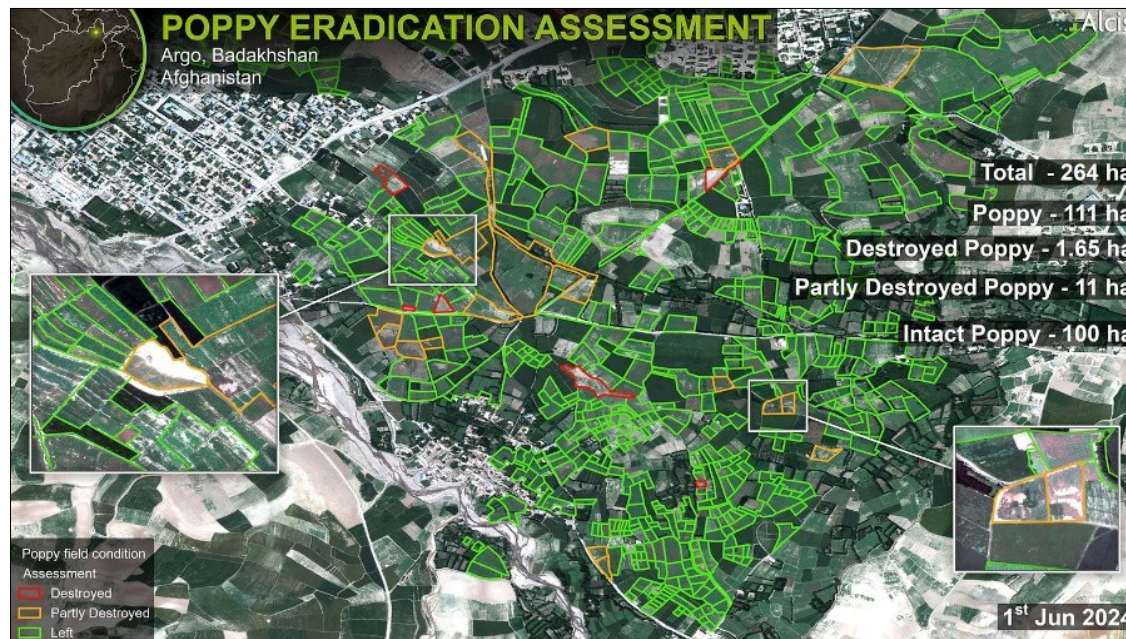
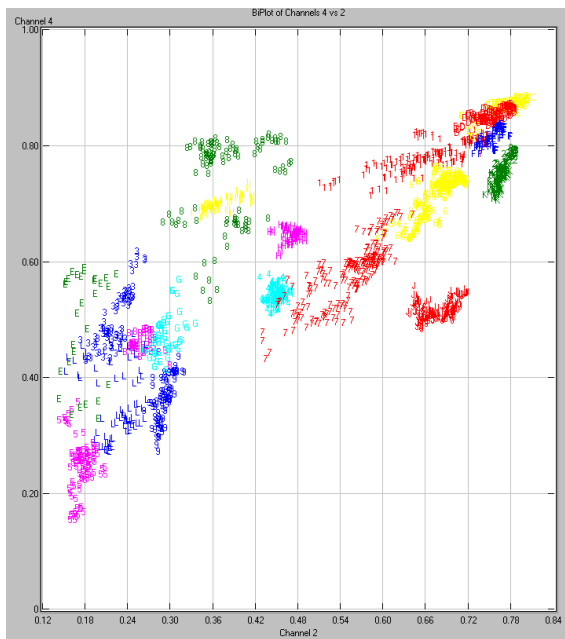
(2) Выделение не с/х территорий (голая почва, водные объекты, застройка)



(2) Создание маски и обрезка снимков, участвующих в классификации

Выявление посевов опиумного мака в провинции Бадахшан по разновременным данным высокого разрешения

(3) Выполнено эталонирование основных типов с/х объектов, проведен анализ спектральной разделимости классов. Эталонирование опиумного мака и пшеницы проводилось с опорой на размеченный агентством Alcis снимок сверхвысокого разрешения на участок на юго-западе города (Mansfield, 2024).

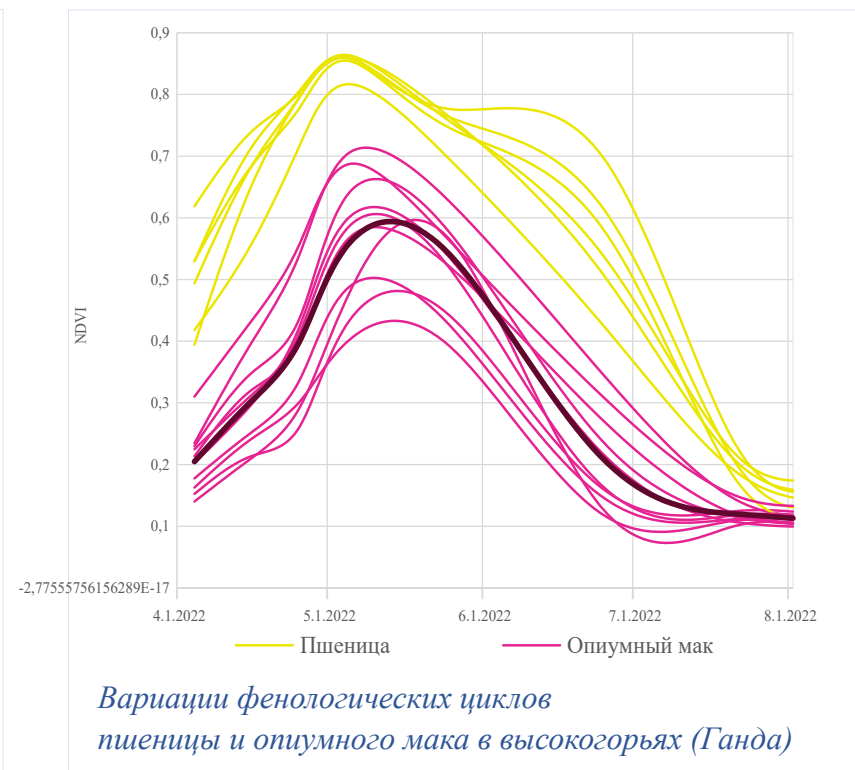
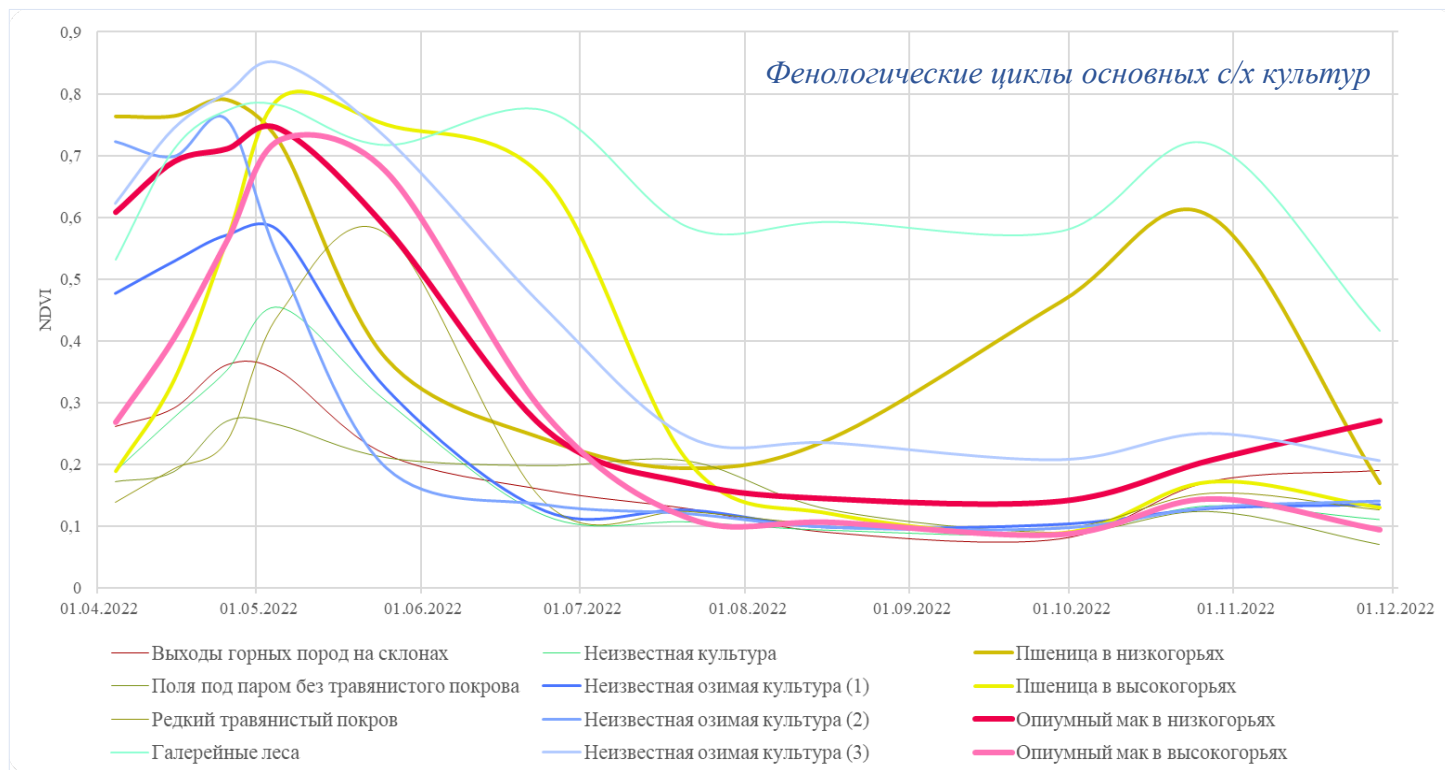


Пример анализа спектральной разделимости классов по NDVI 06.05.2022 и 03.06.2022

Сопоставление размеченного снимка SkySat на 01.06.2024 и снимка PlanetScope на 02.06.2024 для выделения посевов мака и пшеницы

Выявление посевов опиумного мака в провинции Бадахшан по разновременным данным высокого разрешения

(3) По результатам эталонирования построены временные ряды NDVI для основных типов с/х объектов. Полученные данные подтвердили результаты проведенных исследований (Bennington, 2008; UNODC, 2015), где временной ряд опиумного мака наиболее схож с пшеницей.



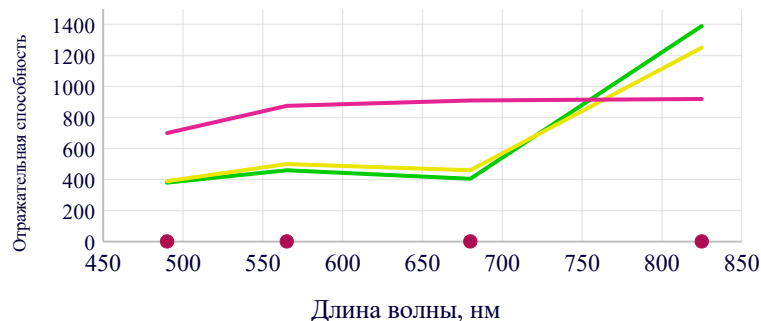
Выявление посевов опиумного мака в провинции Бадахшан по разновременным данным высокого разрешения

Выделены спектрально-временные образы посевов мака и пшеницы (низкогорье).

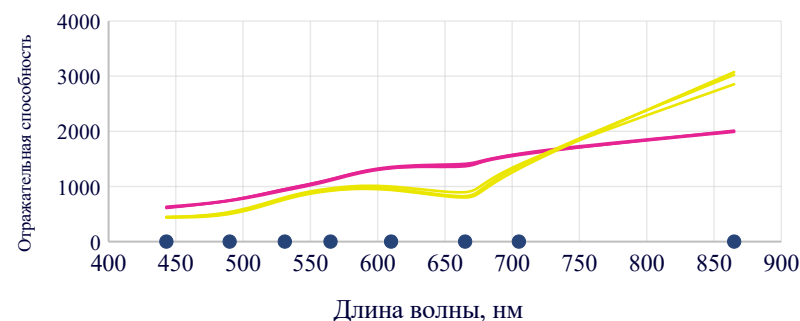
Полученные данные согласуются с результатами проведенных исследований в провинции Гильменд по снимкам IKONOS (Bennington, 2008).

Разница в географическом положении между тестовыми участками обусловила временной сдвиг в сроках фенологических циклов (около полутора месяцев).

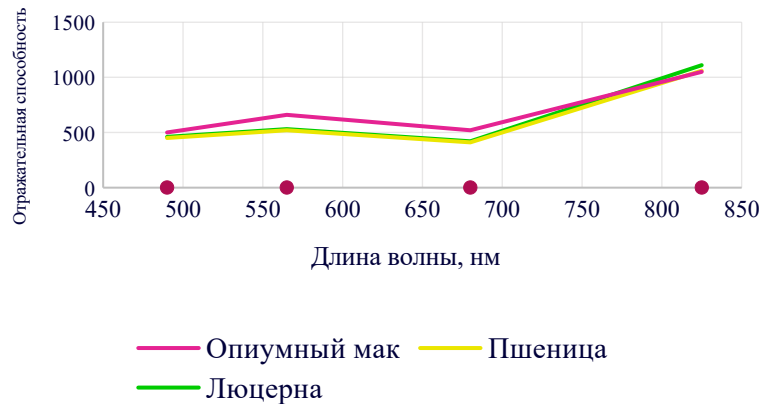
16.02.2005 (по материалам Bennington, 2008)



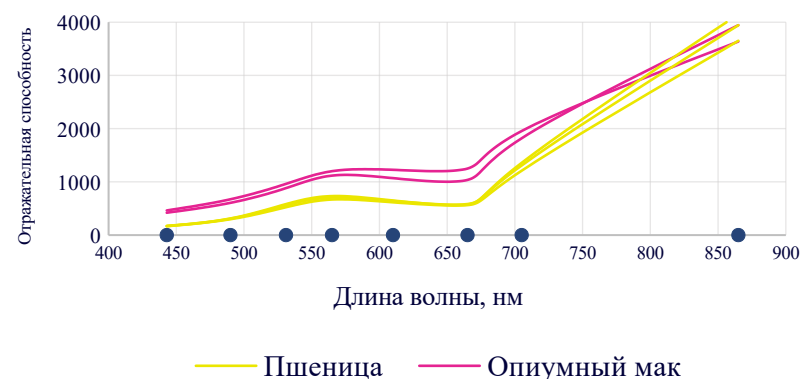
24.03.2024 (составлено автором)



25.04.2004 (по материалам Bennington, 2008)



02.06.2024 (составлено автором)



Классификация с использованием алгоритмов машинного обучения

Метод опорных векторов (Support Vector Machine):

Переоценка – разреженная травянистая растительность, галерейные леса, посевы опиумного мака

Недооценка – посевы пшеницы (особенно, орошаемой)

Случайный лес (Random Forest):

Переоценка – галерейные леса, разреженная травянистая растительность, голая почва, посевы опиумного мака

Недооценка – посевы пшеницы (особенно, орошаемой)

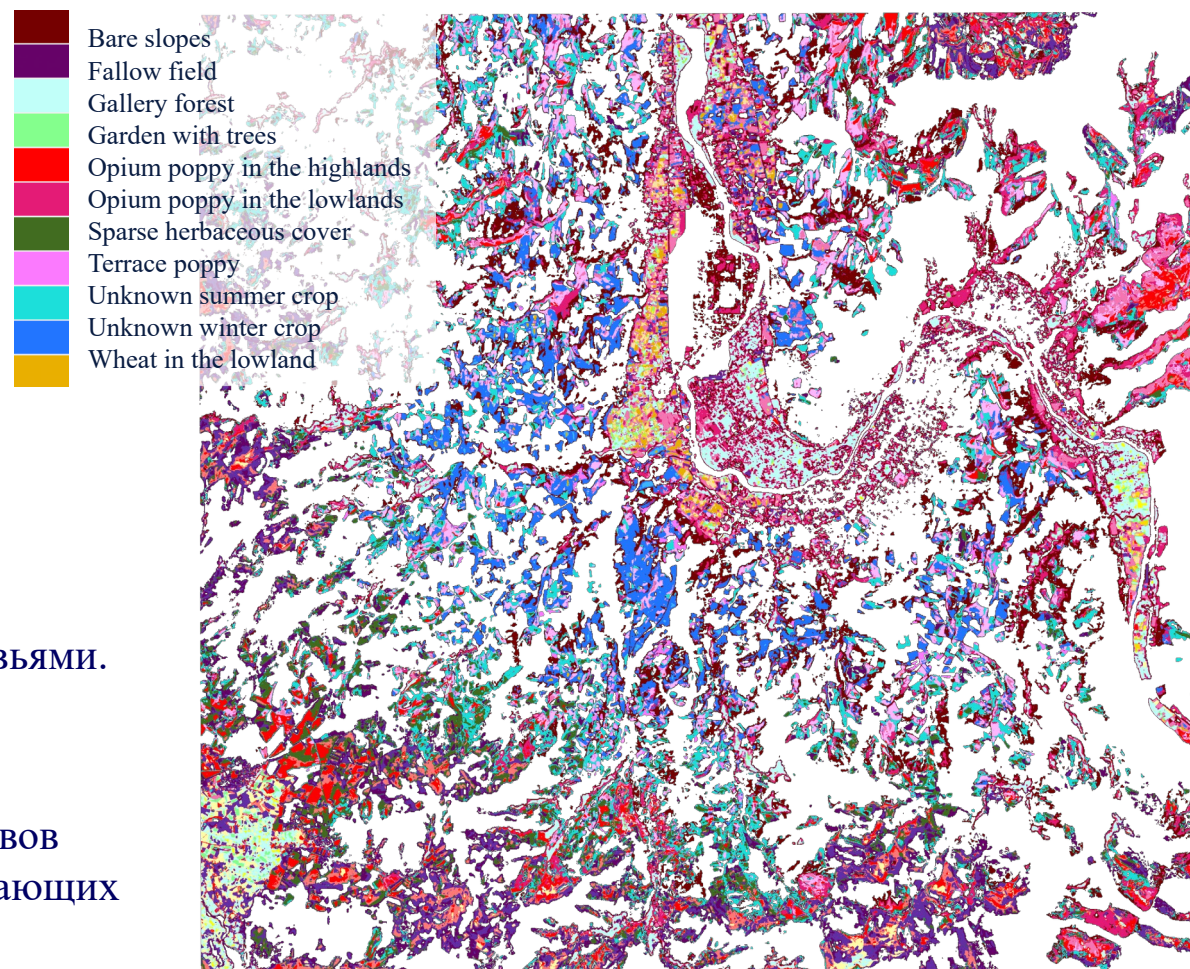
Искусственная нейронная сеть (Artificial Neural Network):

Переоценка – посевы пшеницы, земли под паром, сады с деревьями.

Недооценка – посевы опиумного мака

Наиболее высокую точность продемонстрировал метод SVM.

По результатам классификации отмечается преобладание посевов пшеницы в долине реки Кокча и преобладание мака на прилегающих поверхностях междуречья.



Выводы:

1. выделены временные ряды NDVI и спектрально-временные образы характерные для опиумного мака, позволяющие отличить его от таких схожих культур, как пшеница;
2. по NDVI оптимальным временем для выделения посевов мака, является начало фенологического цикла (с конца марта по начало мая), когда NDVI мака вдвое ниже, чем NDVI пшеницы. При использовании спектральных профилей на несколько дат следует опираться на снимки на начало мая, когда достигаются наибольшие различия в желтом, красном и ближнем инфракрасном диапазонах;
3. применение алгоритмов машинного обучения продемонстрировало высокую точность классификации (в частности, SVM).

Перспективы:

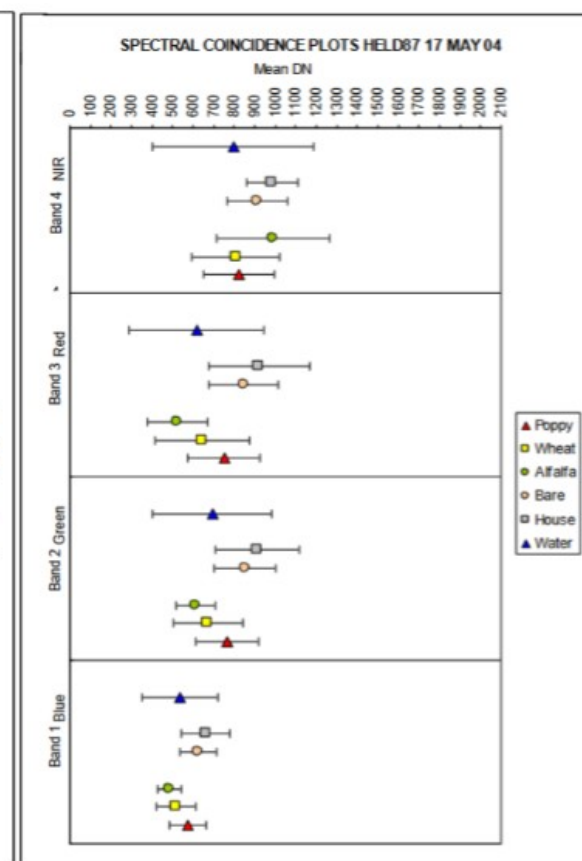
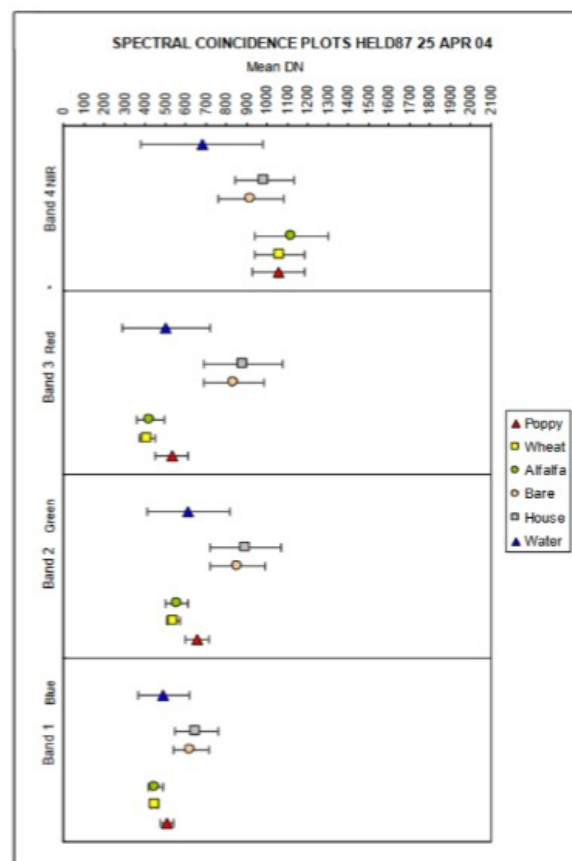
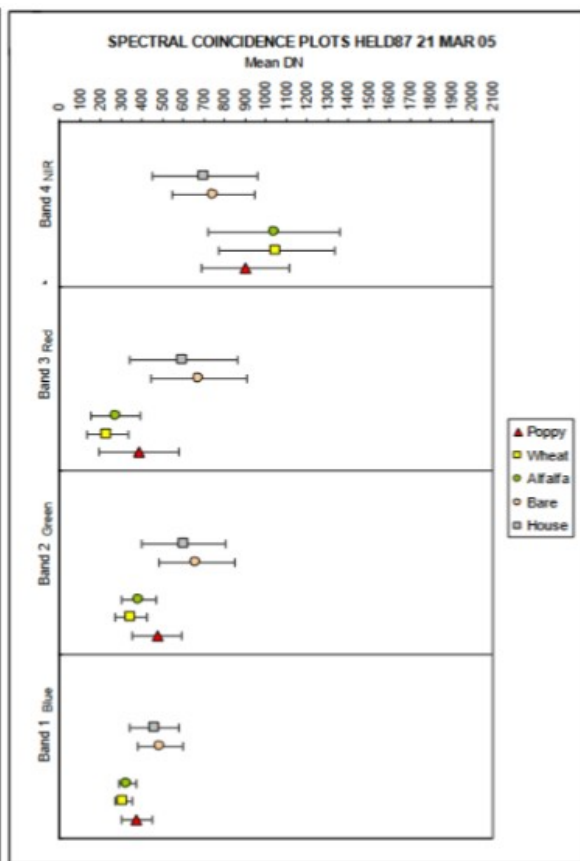
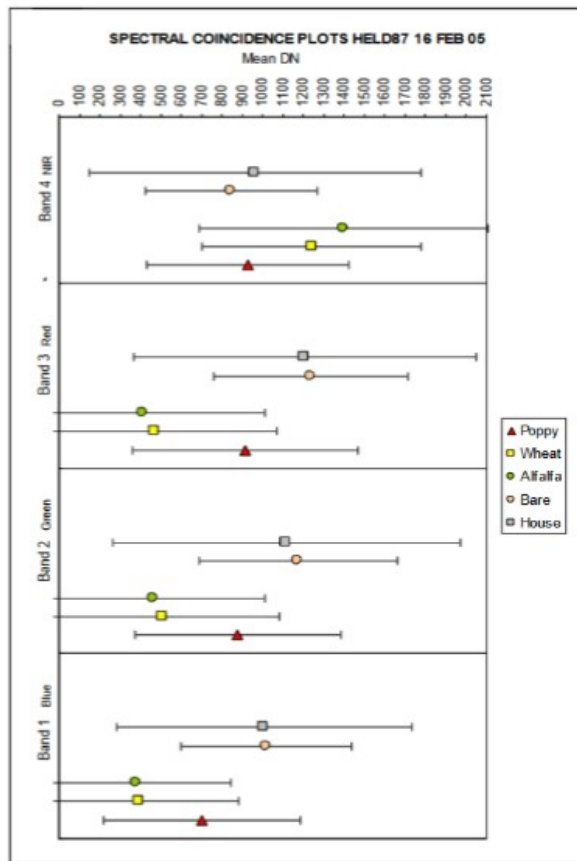
1. провести топографическую коррекцию для снимков горной территории (присутствует террасное с/х);
2. выделить посевы опиумного мака по снимкам 2023-2025 гг. для изучения последствий запретительной политики талибов (существует ли тенденция смещения центра выращивания к периферии города?);
3. выделить районы орошаемого и неорошаемого земледелия.



Список литературы:

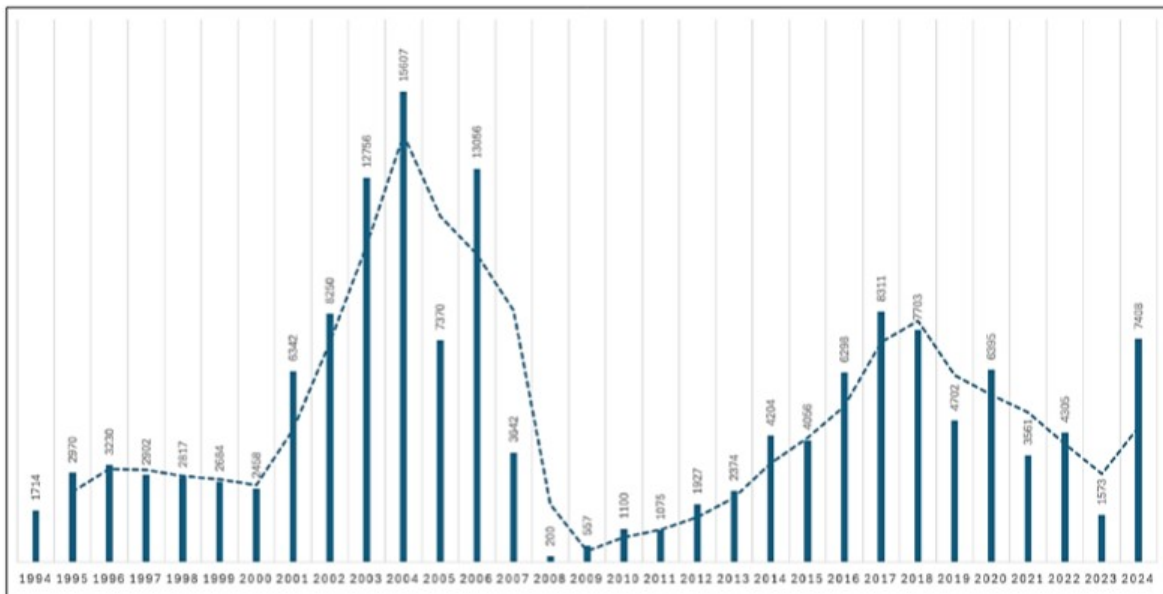
1. Afghanistan Drug Insights Volume 2: 2024 Opium Production and Rural Development // UNODC, 2024. URL: https://www.unodc.org/documents/crop-monitoring/Afghanistan/Afghanistan_Drug_Insights_V2.pdf
2. Afghanistan Opium Survey 2015 Cultivation and Production // UNODC, 2015. URL: https://www.unodc.org/documents/crop-monitoring/Afghanistan/Afghan_opium_survey_2015_web.pdf
3. Bennington A. L. Application of multi-spectral remote sensing for crop discrimination in Afghanistan. 2008.
4. Bicakli F., Kaplan G., Alqasemi A. S. Cannabis sativa L. Spectral discrimination and classification using satellite imagery and machine learning // Agriculture. 2022. T. 12. №. 6. C. 842.
5. Kienberger S., Spiekermann R., Tiede D., Zeiler I., Bussink C. Spatial risk assessment of opium poppy cultivation in Afghanistan: integrating environmental and socio-economic drivers // International Journal of Digital Earth. 2017. T. 10. №. 7. C. 719-736
6. Mansfield D. Between the Lion and the Man with the Stick, 2024. URL: <https://www.alcis.org/post/taliban-farmers-traders>
7. Simms D., Waine T., Taylor J., Juniper G. The application of time-series MODIS NDVI profiles for the acquisition of crop information across Afghanistan // International journal of remote sensing. – 2014. T. 35. №. 16. C. 6234-6254
8. Taylor J., Waine T., Juniper G., Simms D. Survey and monitoring of opium poppy and wheat in Afghanistan: 2003–2009 // Remote Sensing Letters. 2010. T. 1. №. 3. C. 179-185

Спасибо за внимание!



Спектральные характеристики мака, пшеницы, люцерны, обнаженной почвы и застройки по снимкам IKONOS тестового участка в провинции Гильменд (Bennington, 2008)

Двадцать третья международная конференция “Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса”



Выращивание опиумного мака (га) в провинции Бадахшан в 1994–2024 гг. (Bjelica, Foschini, 2024).

Выявление посевов опиумного мака в Афганистане по спутниковым данным высокого разрешения

Выращивание опиумного мака (га) по провинциям Афганистана в 2022 и 2023 г. (Mansfield, 2024).

