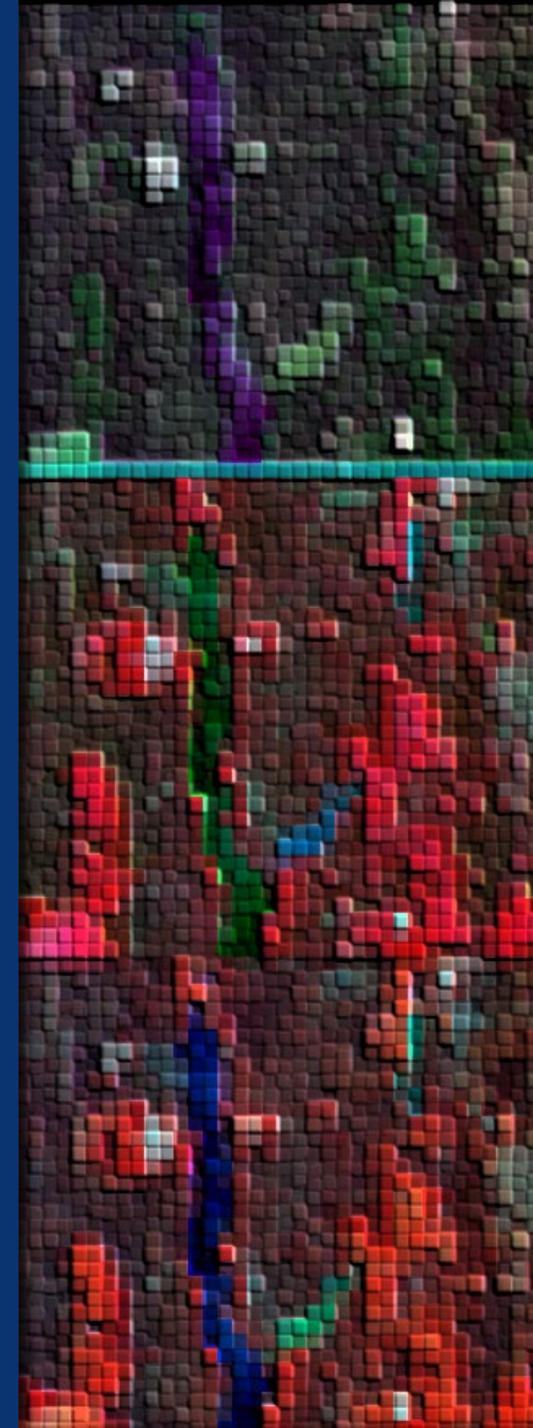


Белорусский государственный университет  
Факультет географии и геоинформатики  
Кафедра геодезии и космоаэрокартографии

**СОЗДАНИЕ АЛЬБОМА ДЕШИФРОВОЧНЫХ ПРИЗНАКОВ  
ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ ПОРОД БЕЛАРУСИ  
НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ  
ИНТЕРАКТИВНОГО ВИЗУАЛЬНОГО ДЕШИФРИРОВАНИЯ ПО  
МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫМ СПУТНИКОВЫМ СНИМКАМ SENTINEL-2**

аспирант **ШЕСТАКОВ НИКИТА АЛЕКСЕЕВИЧ**

Минск, Республика Беларусь



## ВВЕДЕНИЕ

Использование **данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ)** в географических исследованиях и тематическом картографировании основывается главным образом на чтении и толковании содержащейся в них информации в процессе тематической обработки данных. Центральное место в схеме реализации тематической обработки данных ДЗЗ занимает **дешифрирование** – комплекс мероприятий, направленных на получение информации об объектах местности и явлениях географической среды по их изображению на данных ДЗЗ. Процесс дешифрирования носит *целенаправленный и последовательный характер*, предусматривающий *обнаружение, распознавание, интерпретацию объектов, определение их качественных и количественных характеристик*, а также *представление результатов дешифрирования в графической, цифровой или текстовой форме* [1, 2].



Рис. 1. Дистанционное зондирование Земли из Космоса. Космические аппараты Sentinel-2А и Sentinel-2В

# ДЕШИФРОВОЧНЫЕ ПРИЗНАКИ ОБЪЕКТОВ

Современные методы дешифрирования основываются на знании закономерностей воспроизведения оптических, геометрических, спектральных свойств изображаемых объектов и явлений на материалах дистанционных съёмок, а также их пространственного размещения [3].

Дешифрирование лесной растительности, как и любых других объектов земной поверхности, основывается на использовании **дешифровочных признаков** – наиболее характерных свойств объектов или их взаимосвязей, нашедших своё отражение на материалах ДЗЗ и позволяющих интерпретировать (распознавать) исследуемый объект [1, 2].

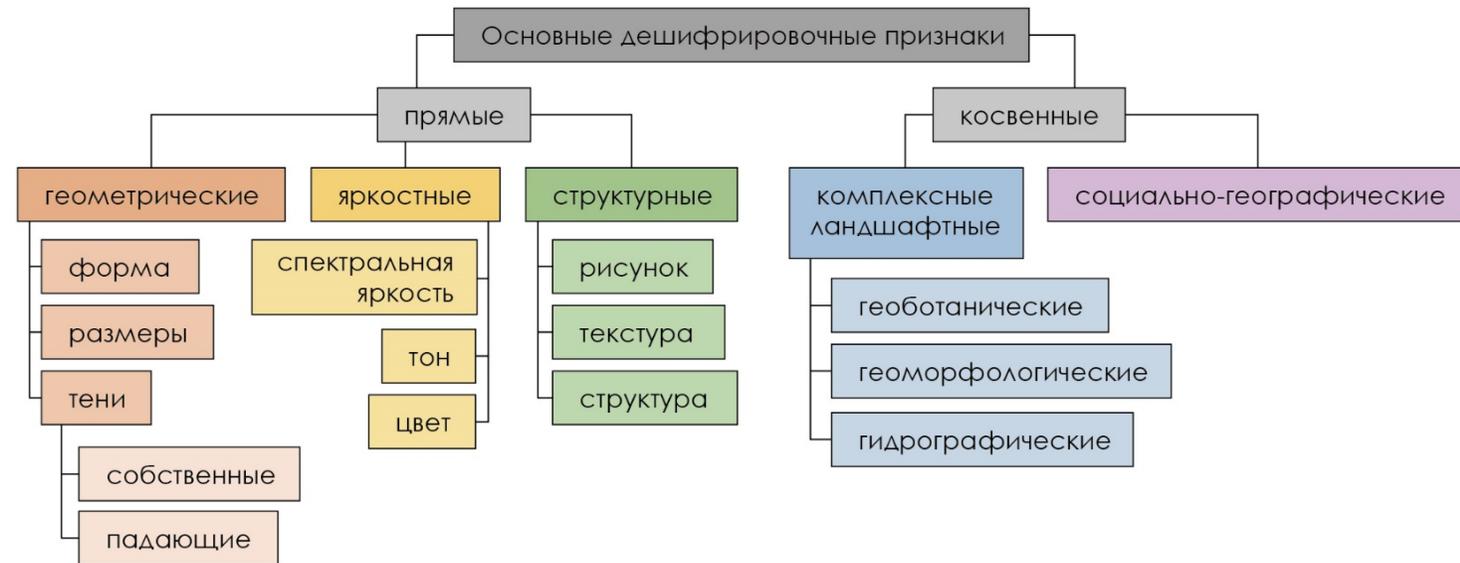
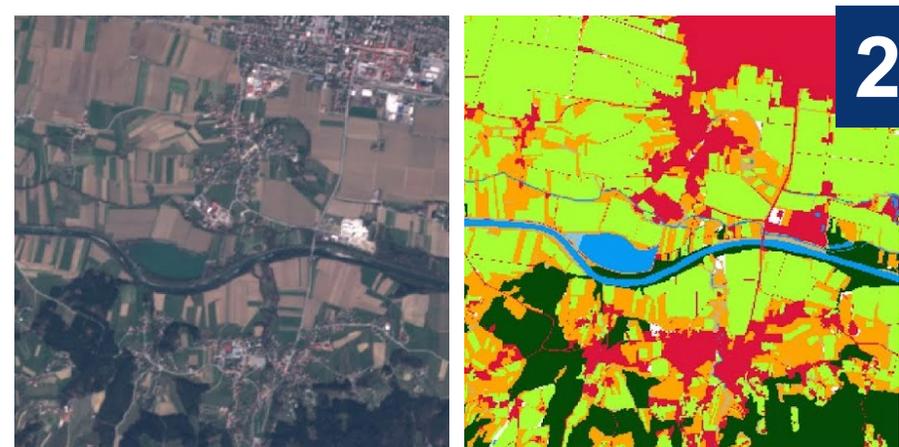
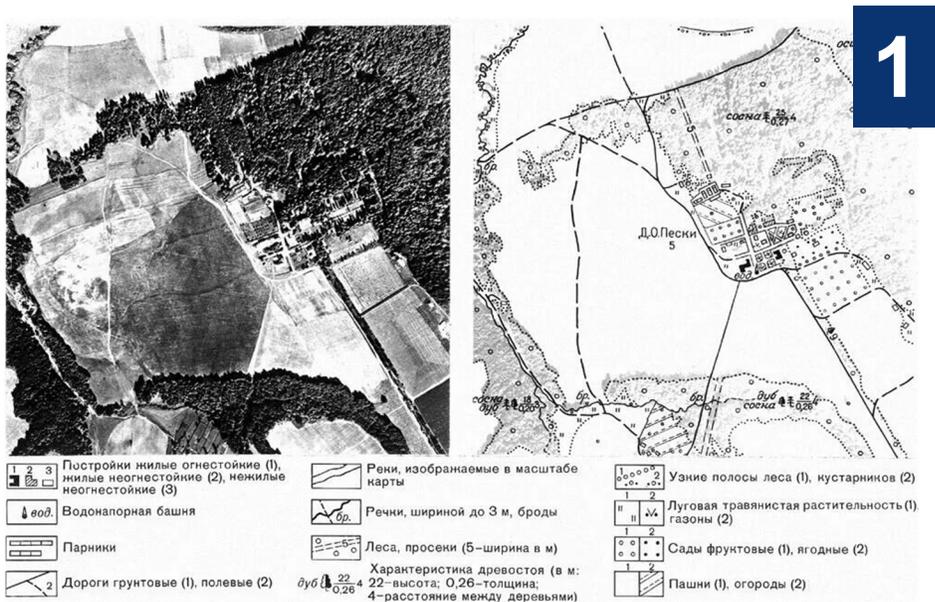


Рис. 2. Классификация дешифровочных признаков

# ВИЗУАЛЬНОЕ ДЕШИФРИРОВАНИЕ

Одним из двух основных методов дешифрирования является визуальное дешифрирование, основанное на получении информации посредством визуального восприятия и анализа изображения аэрокосмоснимка [1].

При этом визуальное дешифрирование может выступать как самостоятельный способ извлечения тематической информации с одной стороны и выполняться в качестве подготовительного этапа перед проведением автоматизированного дешифрирования – с другой.



Исходный снимок Sentinel-2 Классификация изображения

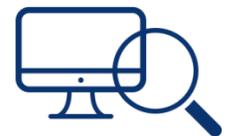


Рис. 3. Визуальное (1) и автоматизированное (2) дешифрирование

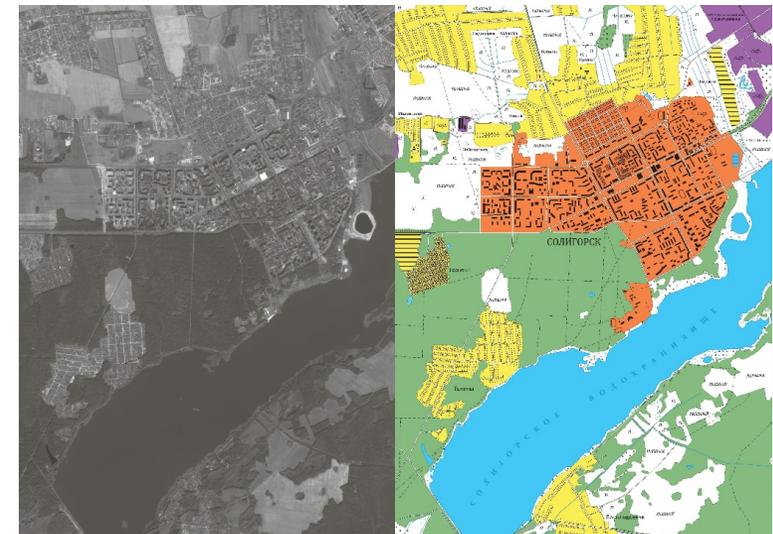
# ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ДЕШИФРИРОВАНИЯ

По результатам дешифрирования составляются *карты и схемы дешифрирования*, формируются *наборы эталонных изображений (фотоэталонов)* исследуемых объектов с описаниями их основных дешифровочных признаков.

Одним из популярных и актуальных направлений практического применения результатов дешифрирования является создание **альбомов (атласов)**, включающих в себя:

- комплексную информацию о территории и объектах исследования;
- сведения об используемых данных ДЗЗ;
- характеристики аэрокосмических аппаратов и их съёмочных систем;
- наборы фотоэталонов объектов в различных спектральных зонах съёмки;
- графики, содержащие кривые спектральной яркости объектов;
- подробные текстовые описания дешифровочных признаков объектов;
- картографический материал, составленный по результатам дешифрирования.

Подобные альбомы и атласы служат *наглядными учебно-методическими пособиями для студентов и специалистов*, чья учебная и производственная деятельность связана непосредственно с обработкой данных ДЗЗ.



*Рис. 4. Карта-схема, составленная по результатам топографического дешифрирования*

# АТЛАСЫ ДЕШИФРОВОЧНЫХ ПРИЗНАКОВ

В качестве примера изданных альбомов (атласов) дешифрирования можно отметить **Атлас «Дешифрирование многозональных аэрокосмических снимков. Сканирующая система «Фрагмент». Методика и результаты» (Москва–Берлин), 1988 года [4].** Альбом содержит иллюстрации с зональными и многозональными изображениями природных и антропогенных объектов (геологические структуры, рельеф, водные объекты, лесная и сельскохозяйственная растительность, населённые пункты), а также связанных с ними явлений и процессов, полученных ими по результатам съёмки сканирующей системы «МКФ-6» с космического корабля «Союз-22», проводимых в конце XX века на территорию Евразии (преимущественно СССР).

## Методика дешифрирования

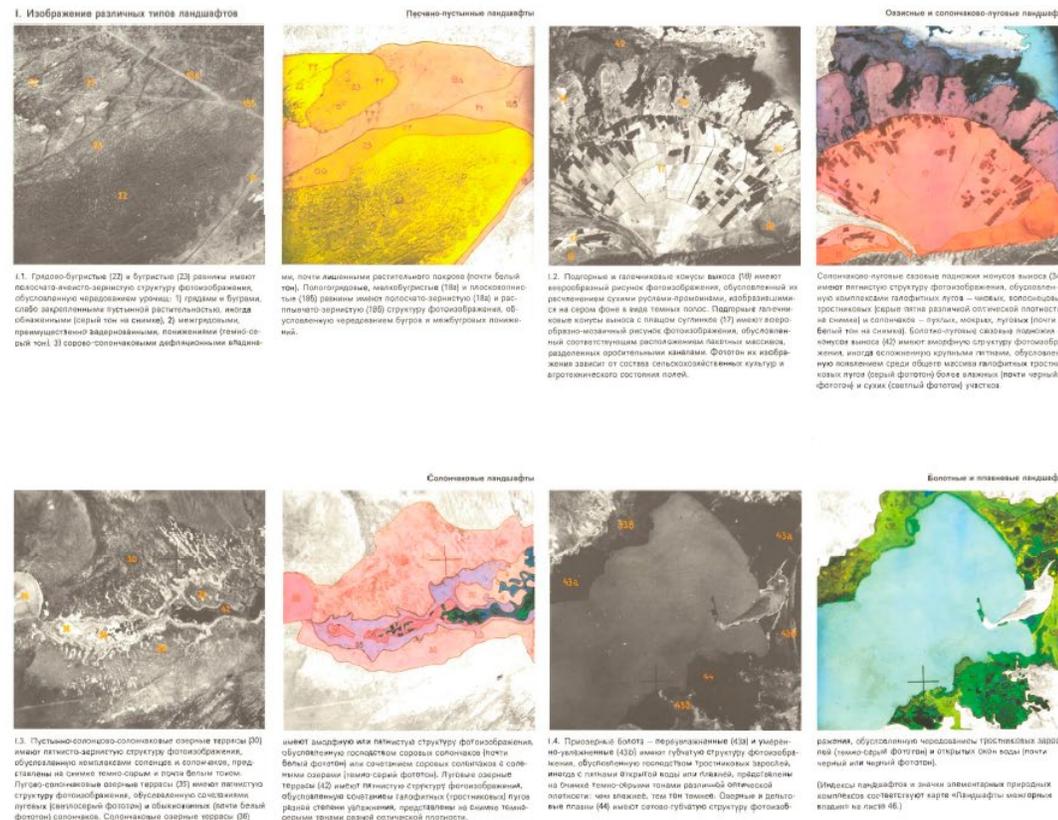
Ландшафтное дешифрирование может быть достаточно эффективным при использовании серии многозональных черно-белых космических снимков и цветных синтезированных снимков с искаженной цветопередачей. Наиболее информативными для этой цели в аридных районах представляются снимки в красной, голубой и ближней инфракрасной зонах.

Каждому контуру ландшафта, являющегося на снимках основной единицей дешифрирования, свойственно пространственно организованное сопряжение пятен (урочищ) различной оптической плотности. Путем установления различий в оптических плотностях изображения урочищ внутри ландшафта определяется яркостный контраст для ландшафта в целом по формуле контраста двух объектов (см. лист 48). С помощью этого критерия оценивается информативность той или иной зоны спектра при дешифрировании определенных видов ландшафтов. Красная зона является наилучшей для дешифрирования зональных – пустынных и пустынно-степных ландшафтов. Интразональные ландшафты – луговые, болотные, плавневые – хорошо дешифрируются по снимкам в ближней инфракрасной зоне, а лугово-солончаковые и солончаковые – в голубой. Ландшафты каменистой пустыни – молодые галечниковые конусы выноса – особенно выразительно изображаются на снимках в ближней инфракрасной зоне.

Опознавание ландшафта в процессе дешифрирования проводится путем анализа компонентов-индикаторов; для аридных районов таковыми являются растительность, почвы и иногда горные породы (грунты). По фототону, определяемому почвенно-растительным покровом, устанавливаются типы и подтипы ландшафтов (пустынные, пустынно-солончаковые, солончаковые, луговые, болотные, плавневые). По рисунку фотозображения обеспечивается диагностика ландшафта на уровне рода, т.е. выявляются его геолого-геоморфологические особенности, что проиллюстрировано на приведенных фрагментах снимков и схемах дешифрирования. С помощью географического соседства дешифрируются генетические сопряжения ландшафтов (например, конусы выноса и их совзое солончаково-луговое обрамление). Геометрические очертания ландшафтов и характер их границ позволяют лучше понять генезис и структуру природных комплексов.

Результаты дешифрирования космических снимков достаточно достоверны, что подтвердилось проверкой по материалам высотной аэрофотосъемки. Только на локальных участках потребовалась небольшая корректировка границ ландшафтов речных и озерных террас, пахотных массивов поливного и богарного земледелия; несколько увеличены площади плавней, солончаков, пахотных угодий; выявлены некоторые урочища внутри ландшафтных контуров.

## Ландшафты межгорных впадин



**Рис. 5.** Страница Атласа «Дешифрирование многозональных аэрокосмических снимков. Сканирующая система «Фрагмент». Методика и результаты»

# АТЛАСЫ ДЕШИФРОВОЧНЫХ ПРИЗНАКОВ

На основе современных отечественных и зарубежных многозональных (мульти- и гиперспектральных) данных ДЗЗ (MODIS, Landsat, Sentinel-2, БКА, Канопус-В и др.) составляются и издаются **новые пособия по дешифрированию** [5]. Современные цифровые технологии позволяют создавать сложные комплексные информационные продукты наряду с печатными изданиями.

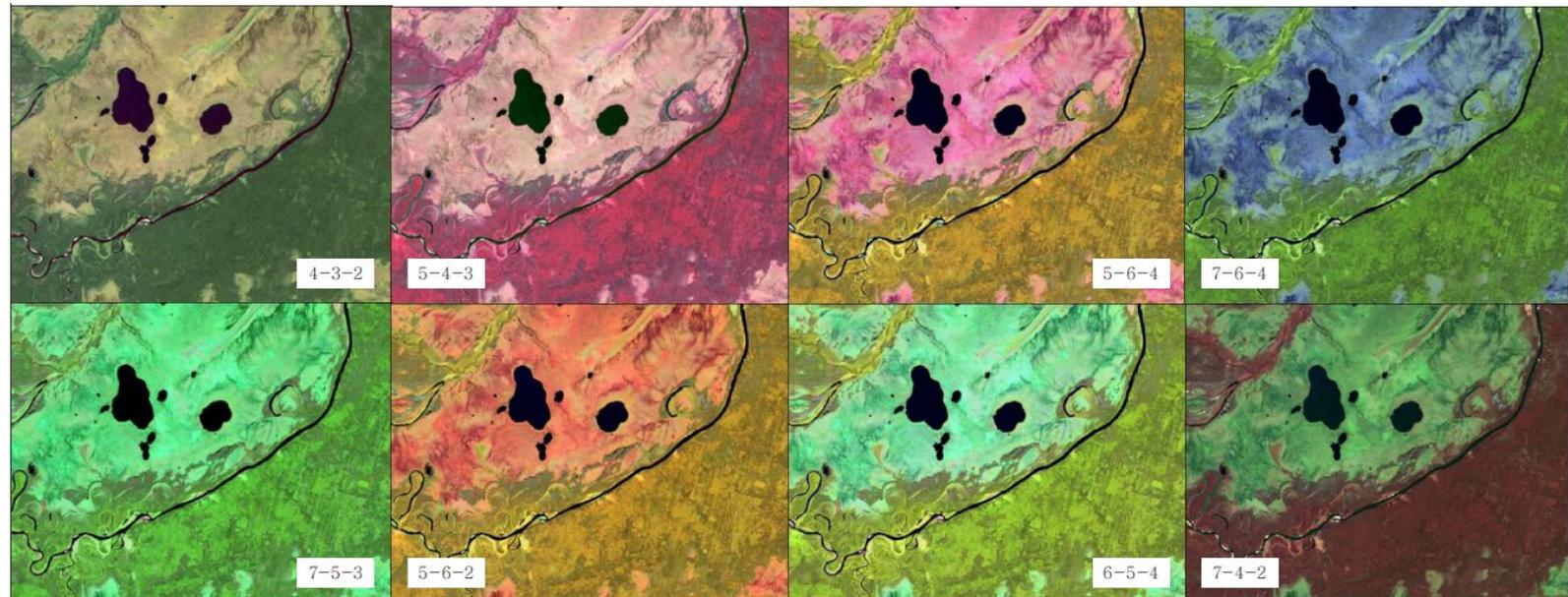
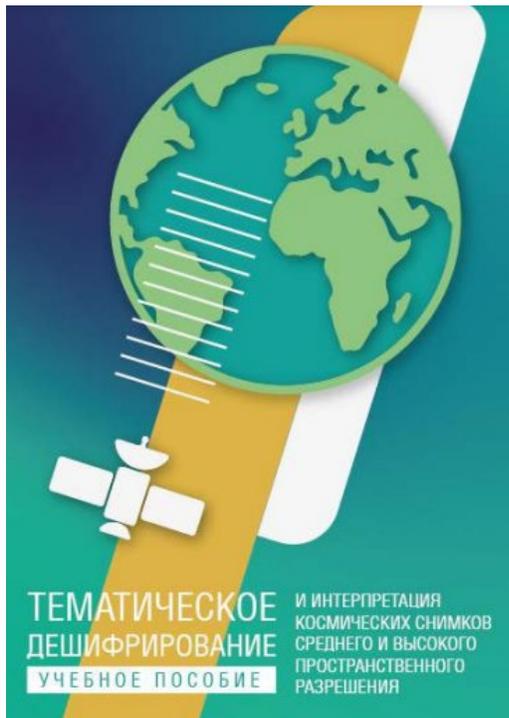


Рис. 2.3.1. Примеры различных комбинаций каналов снимка Landsat-8.

Рис. 6. «Тематическое дешифрирование и интерпретация космических снимков среднего и высокого пространственного разрешения (ПГНИУ), 2020

## АКТУАЛЬНОСТЬ И ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

**Актуальность** разработки новых продуктов и методических пособий по дешифрированию связана с растущим запросом на подготовку специалистов в области ГИС и ДЗЗ, а также расширением областей практического применения методов и данных ДЗЗ.

В данной работе представлены результаты визуального интерактивного дешифрирования породного состава древесной лесной растительности Беларуси (на примере территории ландшафтного заказника «Озёры») по мультиспектральным спутниковым снимкам Sentinel-2, оформленные в виде альбома дешифровочных признаков.

**Цель работы** заключается в установлении основных дешифровочных признаков лесообразующих пород, подготовке их эталонных изображений, полученных в различных вариантах синтеза спектральных каналов Sentinel-2 за разные даты исследования, и оформлению в виде альбома дешифровочных признаков (АДП).



## ОБЪЕКТ И ТЕРРИТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для проведения исследования была выбрана территория **ландшафтного заказника «Озёры»**. Объектом исследования выступал **лесная растительность территории заказника**.

Территория заказника расположена в западной части Беларуси, в пределах физико-географического района Средненёманская низменность округа Понёманье Западно-Белорусской провинции. В административно-территориальном отношении заказник «Озёры» располагается на северо-востоке Гродненского и в западной части Щучинского районов Гродненской области (в 20 км к северо-востоку от г. Гродно). При этом 89,95 % занимаемой заказником территории находится в Гродненском районе, и только 10,05 % – в Щучинском. Территория заказника имеет значительную протяжённость с запада на восток.



Рис. 7. Место заказника в системе ФГР Беларуси

## ОБЪЕКТ И ТЕРРИТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

В перечень исследуемых пород вошли **6** **лесообразующих пород**, получивших наибольшее распространение на территории заказника (7 видов): *сосна обыкновенная (Pinus sylvestris)*, *ель европейская (Picea abies)*, *берёза повислая (Betula pendula)*, *берёза пушистая (Betula pubescens)*, *ольха чёрная (Alnus glutinosa)*, *осина (Populus tremula)*, *дуб черешчатый (Quercus robur)*.

Исследование проводилось на базе **5 тестовых участков (ТУ)**.

- ТУ № 1 «Юго-Западный»
- ТУ № 2 «Каменистая-Бушнево»
- ТУ № 3 «Зацково-Белое»
- ТУ № 4 «Ежовица»
- ТУ № 5 «Соболянское»

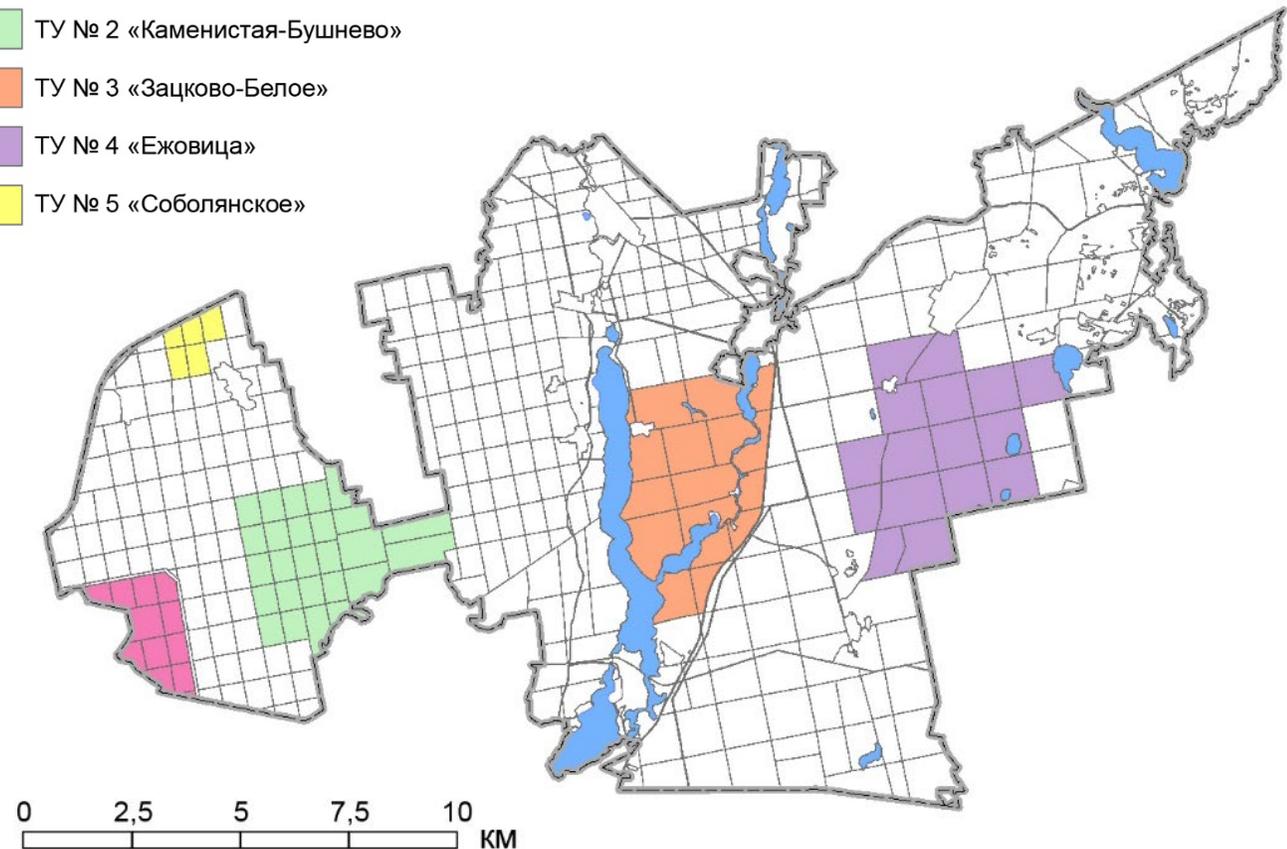


Рис. 8. Выделение тестовых участков (ТУ)

## ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЗЗ

В качестве исходных данных ДЗЗ выбраны мультиспектральные спутниковые снимки космических аппаратов Sentinel-2A и Sentinel-2B, полученные за 2021–2022 годы на территорию исследования, с пространственным разрешением 10 м/пиксель. Выполнение интерактивного (экранного) визуального дешифрования лесной растительности осуществлялось средствами визуализации цифровых спутниковых изображений Sentinel-2 в программном комплексе ENVI (версия 5.6) [6].

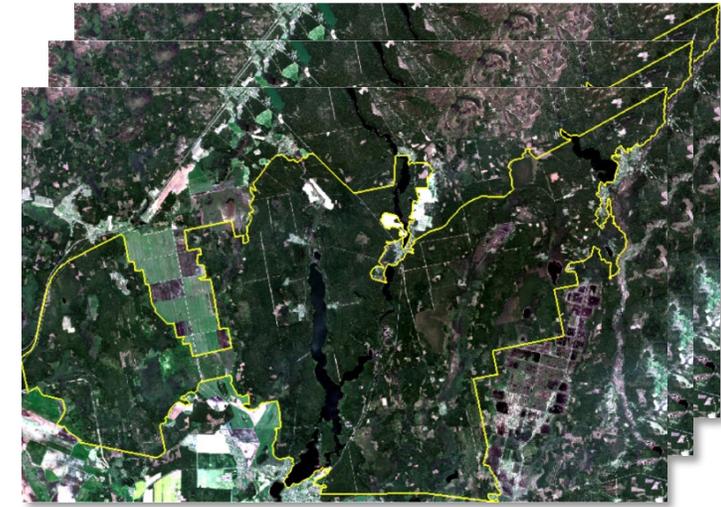


Рис. 9. Мультиспектральные снимки Sentinel-2 на территорию и объект исследования



Рис. 11. Программный комплекс ENVI 5.6 (logo)

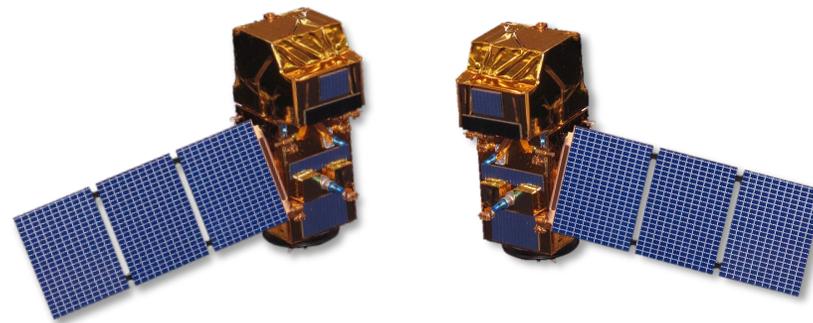


Рис. 10. Космические аппараты Sentinel-2A и Sentinel-2B

# АЛЬБОМ ДЕШИФРОВОЧНЫХ ПРИЗНАКОВ

Выходным продуктом и результатом работы стал **Альбом дешифровочных признаков** лесообразующих пород ландшафтного заказника «Озёры», составленный по мультиспектральным спутниковым данным Sentinel-2 за 2021–2022 годы.

АДП состоит из **19** таблиц, содержащих эталонные изображения (космофотоэталоны) насаждений **6** лесообразующих пород заказника «Озёры» (сосна, ель, берёза, ольха, осина, дуб) за **10** месяцев наблюдений (с февраля по ноябрь в 2021 и 2022 годах).

АЛЬБОМ ДЕШИФРОВОЧНЫХ ПРИЗНАКОВ  
ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ ПОРОД ЛАНДШАФТНОГО ЗАКАЗНИКА «ОЗЁРЫ»,  
составленный по мультиспектральным спутниковым данным Sentinel-2 за 2021–2022 гг.

Минск, 2023

*Рис. 12.* АДП лесообразующих пород ландшафтного заказника «Озёры», составленный по мультиспектральным спутниковым данным за 2021–2022 гг.

# АЛЬБОМ ДЕШИФРОВОЧНЫХ ПРИЗНАКОВ

Таблицы располагаются в альбоме в хронологическом порядке (с февраля по ноябрь) с разделением каждого календарного месяца на 3 декады, т. е. 10–11 дней (при условии наличия безоблачных снимков на каждую декаду месяца).

Каждая таблица содержит общие сведения об исходных данных ДЗЗ (название космического аппарат, дата съёмки) и лесообразующей породе (название, класс возраста), эталонное изображение насаждений на снимке Sentinel-2 в трёх вариантах синтеза.

Таблица № 9

| ИЮНЬ (II декада)         |                  |     |        |              |       |     |                        |                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------------------|------------------|-----|--------|--------------|-------|-----|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Порода                   | сосна            | ель | берёза | ольха чёрная | осина | дуб | Дешифровочные признаки |                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Класс                    | II               | II  | I-IV   | I-IV         | II    | I   |                        |                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Sentinel-2B (18.06.2021) | RGB (4-3-2)      |     |        |              |       |     |                        | Хвойные породы (сосна, ель) выделяются менее ярким среднезернистым рисунком тёмно-зелёного, зеленовато-коричневого цвета. Разно-возрастные лиственные насаждения имеют неравномерно-зернистый рисунок насыщенного зелёного цвета (яркость зависит от возраста). |
|                          | NRG (8-4-3)      |     |        |              |       |     |                        | Для хвойных пород характерен тёмный, насыщенный тон изображения (оттенки бордового и зелёного), среднезернистый рисунок изображения, в отличие от яркого, более светлого по тону изображения лиственных пород с неравномерно-зернистым рисунком (красный цвет). |
|                          | NIR (8)          |     |        |              |       |     |                        | В июне участки хвойных пород выглядят темнее, чем лиственные насаждения. Для осины и дуба отмечается мелкозернистый рисунок, для сосны и ели – среднезернистый, для берёзы и ольхи чёрной – крупно- и неравномерно-зернистый рисунок.                           |
|                          | NDVI (8-4):(8+4) |     |        |              |       |     |                        | Лиственные породы, активно набирающие фитомассу, имеют насыщенный тёмно-зелёный цвет изображения. Хвойные – менее насыщенный зелёный цвет.                                                                                                                      |

Рис. 13. Таблица АДП за II декаду июня

## АЛЬБОМ ДЕШИФРОВОЧНЫХ ПРИЗНАКОВ

1 – **Red-Green-Blue (3-4-2)**, т. е. комбинация красного ( $\lambda = 0,67$  мкм), зелёного ( $\lambda = 0,56$  мкм) и синего ( $\lambda = 0,49$  мкм) каналов, или комбинация «стандартные естественные цвета»;

2 – **NIR-Red-Green (8-4-3)**, т. е. комбинация ближнего инфракрасного ( $\lambda = 0,84$  мкм), красного ( $\lambda = 0,67$  мкм) и зелёного ( $\lambda = 0,56$  мкм) каналов, или комбинация «стандартные искусственные цвета»;

3 – **NIR (8)**, т. е. ближний инфракрасный канал ( $\lambda = 0,84$  мкм), зональное изображение;

а также изображение нормализованного разностного вегетационного индекса **NDVI** (Normalized Difference Vegetation Index).

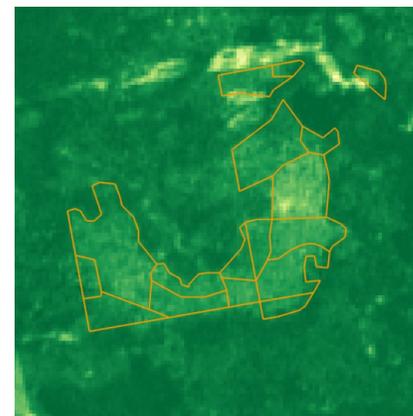
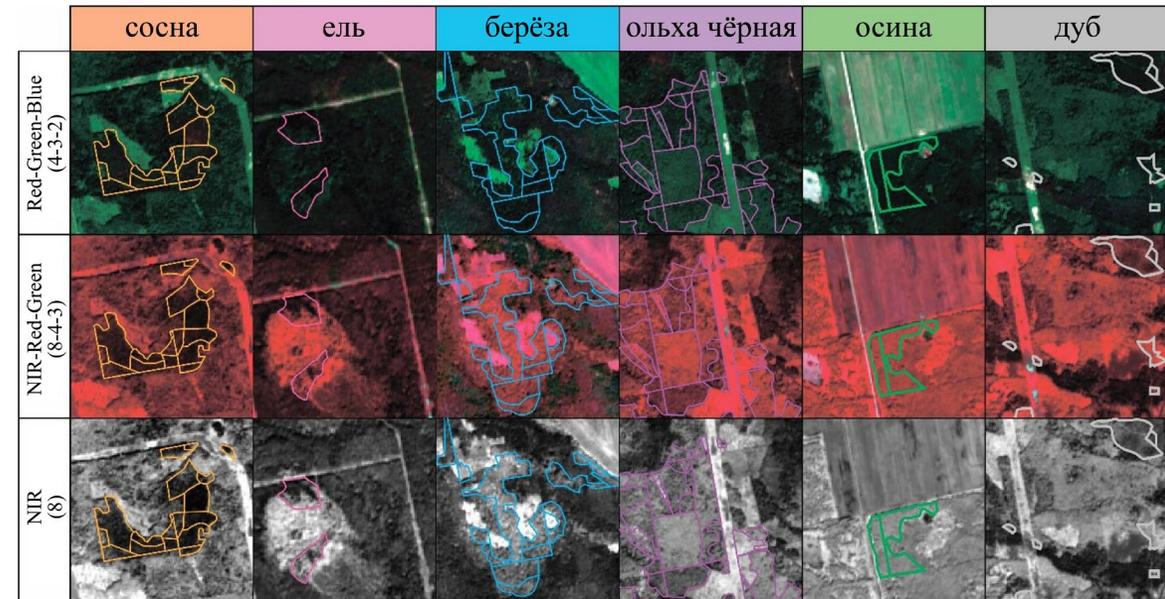


Рис. 14. Космофотоэталоны насаждений в 3-х вариантах синтеза (вверху) и индексное изображение NDVI (на примере насаждений сосны) (слева)

# АЛЬБОМ ДЕШИФРОВОЧНЫХ ПРИЗНАКОВ

| Дешифровочные признаки                                                                                                                                                                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Хвойные породы на фоне лиственных имеют среднезернистый рисунок, характеризуются меньшей яркостью и интенсивностью цвета. Насаждения ольхи чёрной выглядят более светлыми, чем других лиственных пород.                                                      |
| Насыщенным, более тёмным тоном передаются участки насаждений сосны, ели, ольхи, дуба. Выгодно выделяются берёза и осина (яркие оттенки красного и розового). Для берёзы и ольхи чёрной характерен крупнозернистый рисунок, для осины и дуба – мелкозернистый |
| Участки хвойных пород выглядят темнее, чем лиственные насаждения. Для осины и дуба отмечается мелкозернистый рисунок, для сосны и ели – среднезернистый, для берёзы и ольхи чёрной – крупно- и неравномерно-зернистый рисунок.                               |
| Лиственные породы имеют насыщенный тёмно-зелёный цвет изображения. Хвойные – менее насыщенный зелёный цвет.                                                                                                                                                  |

Приведённые в таблицах изображения космофотоэталонов сопровождаются **текстовым описанием основных геометрических** (форма, размер, тень), **яркостных** (цвет и тон изображения) и структурных (рисунок, структура, текстура) **дешифровочных признаков**.

Организованная структура АДП позволяет анализировать возможности **идентификации и дифференциации** лесообразующих пород на основе применения дешифровочных признаков по следующим направлениям:

**1 – сравнительный анализ** изображения **одной и той же породы в различных вариантах синтеза** спектральных каналов (оценка информативности спектральных зон);

**2 – сравнительный анализ** изображения **одной и той же породы на различные даты исследования** (анализ фенологических изменений растений в течение года);

**3 – сравнительный анализ** изображения **разных пород в одной зоне спектра на одну и ту же дату исследования** (оценка делимости пород при одинаковых условиях наблюдения).

## Таблица 1

Пример описания дешифровочных признаков пород для изображений в 3-х вариантах синтеза и индексного изображения NDVI

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шалькевич, Ф.Е.* Методы аэрокосмических исследований: курс лекций / Ф.Е. Шалькевич. – Минск: БГУ, 2005. – 161 с.
2. *Топаз, А.А.* Методы дистанционных исследований: электронный учебно-методический комплекс для специальностей: 1-31 02 01 «География (по направлениям)», 1-31 02 03 «Космоаэрокартография», 1-33 01 02 «Геоэкология», 1-56 02 02 «Геоинформационные системы (по направлениям)» – БГУ, фак. географии и геоинформатики, каф. геодезии и космоаэрокартографии. – Минск: БГУ, 2022. – 127 с.
3. *Малышева, Н.В.* Автоматизированное дешифрирование аэрокосмических изображений лесных насаждений: методическое пособие. – М.: Издательство МГУЛ, 2012. – 154 с.
4. Атлас «Дешифрирование многозональных аэрокосмических снимков. Сканирующая система «Фрагмент». Методика и результаты». Наука, Москва, Академи-ферлаг, Берлин, 1988.
5. *Шихов А.Н., Герасимов А.П., Пономарчук А.И., Перминова Е.С.* Тематическое дешифрирование и интерпретация космических снимков среднего и высокого пространственного разрешения: учебное пособие – Пермь: ПГНИУ, 2020. – 191 с.
6. *Топаз, А.А.* Цифровая обработка космических снимков: электронный учебно-методический комплекс для специальности: 1-31 02 03 «Космоаэрокартография» / А.А. Топаз, Н.А. Шестаков, БГУ, фак. географии и геоинформатики, каф. геодезии и космоаэрокартографии. – Минск: БГУ, 2023. – 95 с.