



Оценка структурного разнообразия таёжных и хвойно-широколиственных лесов посредством воздушного лазерного сканирования

аспирант 1 года обучения
Алексеев Александр Борисович

Специальность:
4.1.6. «Лесоведение, лесоводство, лесные культуры,
агролесомелиорация, озеленение, лесная пирология и таксация»

научный руководитель:
с.н.с., к.т.н. Плотникова Александра Сергеевна

Москва, 05.04.2023

- Как известно, одной из важных составляющих биоразнообразия наряду с видовым и генетическим разнообразием является **структурное** (Одум, 1986). Учитывая быстрые темпы утраты биоразнообразия лесных экосистем в целом на планете, одним из актуальных научных направлений является оценка **структурного разнообразия** лесов различных природно-климатических зон России.
- Воздушное лазерное сканирование (ВЛС) растительного покрова Земли по множеству характеристик превосходит существующие технологии оценки количественных и качественных характеристик древостоев.
 - ВЛС позволяет получать трехмерные данные о больших площадях лесных участков с **точностью** – не хуже **10 см.** в плане и по высоте, **детальностью** – до **нескольких десятков точек на 1 м².**, эффективностью и оперативностью.
 - ВЛС предоставляет информацию о структуре лесной растительности под верхним пологом и о подстилающей поверхности. Ввиду этого, в настоящее время актуально привлечение ВЛС к оценке структурного разнообразия древостоя.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ



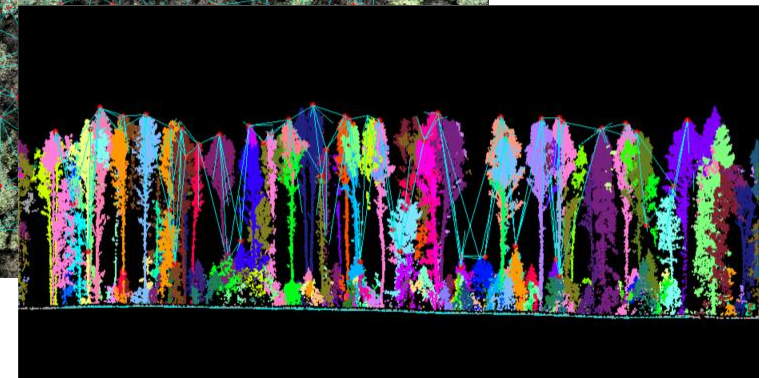
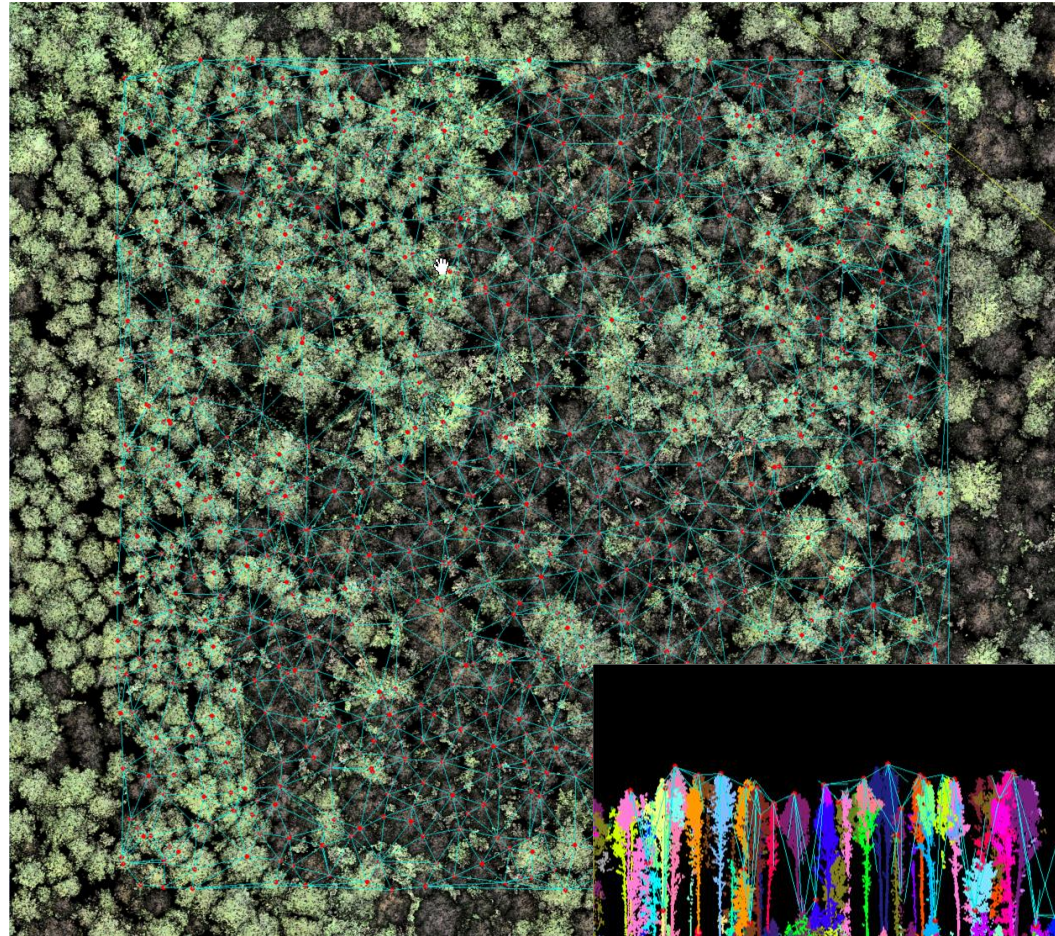
Цель работы:

Выполнить пространственную оценку структурного разнообразия древостоя лесов различных природно-климатических зон на основе интегрального индекса по данным воздушного лазерного сканирования.

Задачи:

1. Изучение существующих пространственных индексов по оценке структурной сложности древостоя лесов;
2. Разработка интегрального индекса структурной сложности по данным воздушного лазерного сканирования;
3. Пространственная оценка структурного разнообразия объектов исследования на основе разработанного индекса;
4. Сравнительный анализ структурного разнообразия лесного древостоя зоны хвойно-широколиственных лесов, южно-таёжной и таёжной с высотной поясностью.

- Оценка **структурного разнообразия** лесной растительности на основе интегрального индекса, полученного посредством обработки данных **ВЛС**.
- Сравнительный анализ структурного разнообразия лесного древостоя зоны хвойно-широколиственных лесов, южно-таёжной и таёжной с высотной поясностью.



Соответствие паспорту специальности



Паспорт научной специальности 4.1.6. «Лесоведение, лесоводство, лесные культуры, агролесомелиорация, озеленение, лесная пирология и таксация»

Область науки: 4. Сельскохозяйственные науки

Группа научных специальностей: 4.1. Агрономия, лесное и водное хозяйство

Направления исследований:

...

п.44 Теория и методы мониторинга и выявления таксационных характеристик насаждений средствами дистанционного зондирования Земли с применением ГИС-технологий.

...

Тема работы: Оценка структурного разнообразия таёжных и хвойно-широколиственных лесов посредством воздушного лазерного сканирования

Таксационные характеристики являются компонентами структурного разнообразия

Основной метод получения таксационных характеристик – воздушное лазерное сканирование – средство ДЗЗ

Сбор, обработка, анализ получаемых пространственных данных осуществляется с применением ГИС технологий

Направления обзора:



Биологическое

- Определение предмета исследования – «структурного разнообразия»;
- Анализ порядка 20 источников;



Техническое

- Применение технологий воздушного лазерного сканирования для оценки различных характеристик древостоя;
- Анализ более 20 источников.

Литературный обзор. Биологический аспект



№ п/п 1	Ключевые слова 2	Авторы 3	Источник 4	Номер 5	Год 6	Стр. 7	Ссылка 8	Наименование статьи (Рус.) 9	Тезисы 10
001	Структурное разнообразие	Н. А. Леонова	Russian journal of ecosystem ecology (RJEE)	5 (1)	2020		ССЫЛКА	STRUCTURAL AND SPECIES DIVERSITY OF FOREST LANDSCAPE PHYTOCENOSES OF WATER-GLACIAL PLAINS (WITHIN THE PENZA OBLAST) / ХАРАКТЕРИСТИКА СТРУКТУРНОГО И ВИДОВОГО РАЗНООБРАЗИЯ ФИТОЦЕНОЗОВ ЛЕСНЫХ ЛАНДШАФТОВ ВОДНО-ЛЕДНИКОВЫХ РАВИН (В ГРАНИЦАХ ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ)	Методы оценки биоразнообразия растительности: <...> структурное разнообразие фитоценозов <...> Структурное разнообразие сообществ оценивали по соотношению в составе растительного покрова эколого-ценотических групп (ЭЦГ) видов – видов экологически близких в своем генезисе, связанных с разными типами сообществ. Использовалась классификация ЭЦГ, предложенная О. В. Смирновой и Л. Б. Заугольной
002	Горизонтальная структура	М. В. Рогозин	ЛЕСОВЕДЕНИЕ	1	2021	28-41	ССЫЛКА	ВЛИЯНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ ДРЕВОСТОЕВ СОСНЫ НА ОТПАД И ДИАМЕТР ДЕРЕВЬЕВ	
003		А. С. Алексеев Д. М. Черниковский	ЛЕСОВЕДЕНИЕ	2	2020	99–114	ССЫЛКА	АНАЛИЗ СВЯЗЕЙ СТРУКТУРЫ И ПРОДУКТИВНОСТИ ЛЕСОВ С МОРФОМЕТРИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ РЕЛЬЕФА НА ПРИМЕРЕ ЛАНДШАФТОВ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ	
004	Горизонтальная структура	А. Н. Борисов В. В. Иванов А. Е. Петренко	ЛЕСОВЕДЕНИЕ	1	2019	7-18	ССЫЛКА	ФОРМИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ ПРИ РУБКАХ УХОДА	
005	Горизонтальная структура	Москалюк Т.А.	Russian journal of ecosystem ecology (RJEE)	3 (2)	2018		ССЫЛКА	ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА ПРОИЗВОДНЫХ ДУБНЯКОВ НА ЮГЕ ПРИМОРСКОГО КРАЯ	
006	Горизонтальная структура (морфометрические признаки оконной структуры)	А. В. Комаров Д. В. Ершов Е. В. Тихонова	ЛЕСОВЕДЕНИЕ	3	2021	227–239	ССЫЛКА	ИНФОРМАТИВНОСТЬ СПЕКТРАЛЬНЫХ И МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ОКОННОЙ СТРУКТУРЫ ПОЛОГА ДРЕВОСТОЯ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ	Под окнами понимаются небольшие прорывы в пологе, образующиеся при отмирании одного или нескольких деревьев. Нижний предел размера окон определяется площадью от вывала единичного дерева, которая обычно варьирует от 50 до 200 м2
007	Горизонтальная структура	Н. В. Иванова М. П. Шашков В. Н. Шанин	Заповедная наука	6(4)	2021	1–14	ССЫЛКА	ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ДРЕВОСТОЕВ СОСНОВЫХ ЛЕСОВ ПРИОКСКО-ТЕРРАСНОГО БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА (РОССИЯ) ПО МАТЕРИАЛАМ АЭРОФОТОСЪЕМКИ С КВАДРОКОПТЕРА	Оценка качества результатов автоматического поиска вершин деревьев. Оценивалась высота деревьев, общая площадь крон.
008		Прилутина И.В. Фролова Г.Г., Шанин В.Н. Быховец С.С. Грабарник П.Я.	МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЭКОЛОГИИ Пушино, 16–20 октября 2017 года		2017		ССЫЛКА	ДИНАМИКА БИОМАССЫ ДРЕВОСТОЕВ С РЕГУЛЯРНОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРОЙ В ИМИТАЦИОННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ МОДЕЛЕЙ EFIMOD	
009	Горизонтальная структура	В. Н. Шанин М. П. Шашков Н. В. Иванова П. Я. Грабарник	Russian journal of ecosystem ecology (RJEE)	1(4)	2016	112-125	ССЫЛКА	ВЛИЯНИЕ КОНКУРЕНЦИИ В ПОЛОГЕ ЛЕСА НА ПРОСТРАНСТВЕННУЮ СТРУКТУРУ ДРЕВОСТОЕВ И ФОРМУ КРОН ДОМИНАНТОВ ДРЕВЕСНОГО ЯРУСА НА ПРИМЕРЕ ЛЕСОВ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ	Пространственная структура древостоев, под которой мы понимаем взаимное расположение деревьев с учетом их размеров и геометрических форм. На 14 пробных площадях 25×25 м были картографированы живые деревья с диаметром ствола на уровне груди не менее 6 см. Для каждого дерева измерены диаметр, протяженность кроны и радиусы проекции кроны по четырем направлениям. Выяснено, что центры проекций кроны имеют более равномерное пространственное распределение по сравнению с распределением в пространстве оснований стволов. Пробные площади размером 25×25 м. Каждом из регионов было заложено по семь пробных площадей (ПП). Для закладки пробных площадей выбирались участки древостоев с различной структурой полога (наличие ярусов и разрывов в пологе).
010	Вертикальная структура	И. Н. Кутявин	ЛЕСОВЕДЕНИЕ	5	2020	433–441	ССЫЛКА	ВЕРТИКАЛЬНО-ФРАКЦИОННАЯ СТРУКТУРА НАДЗЕМНОЙ ФИТОМАССЫ ДРЕВЕСНОГО ЯРУСА СОСНЯКОВ СЕВЕРНОГО ПРЕДУРАЛЬЯ	
011	Структурное разнообразие	О.В.Беднова	Лесной вестник	9	2012	16-29	ССЫЛКА	Структурное разнообразие лесных экосистем как индикатор их нарушенности и основа для природоохранного планирования пространства городских оопт	Структурное разнообразие отдельных сообществ в составе лесной экосистемы включает, прежде всего, разнообразие элементов вертикальной и горизонтальной структуры фитоценоза, таких как возрастные парцеллы, ярусы, микрогруппировки и др.; элементы ветровально-почвенных комплексов, включая валеж (лежащие на земле стволы мертвых деревьев); обилие стоящих мертвых деревьев (сухостоя). Кроме того, в качестве признаков структурного разнообразия рассматривают разнообразие синузий, жизненных форм растений (деревья, травы, кустарники, лианы, эпифиты и др.), слагающих их популяций, параметров особей внутри популяций.
100	Функциональное разнообразие	В.Н.Василевич	БОТАНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ	7	2016	776-795	ССЫЛКА	ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ РАЗНООБРАЗИЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ	
101	Видовое разнообразие	В.Н.Василевич	Сибирский экологический журнал	4	2009	509-517	ССЫЛКА	ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ	Понятие видового разнообразия включает две составляющие: видовое богатство и выравненность. Видовое богатство - число видов на единицу площади (геоботаническое описание). Выравненность - распределение видов по их обилию в сообществе. Между этими показателями существует положительная корреляция, но высокое видовое богатство не обязательно сопровождается высокой выравненностью. Невозможно сравнивать видовое разнообразие сообществ, которые образованы растениями разных размеров (дождевые тропические леса и луговые степи). Высокое видовое разнообразие свойственно растительным сообществам со средним уровнем продуктивности, средней степени нарушенности и не связано с их стабильностью.
102	Фитоценоз	В.Н.Василевич	БОТАНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ	7	2018	1075	ССЫЛКА	СТАНОВЛЕНИЕ РОССИЙСКОЙ ФИТОЦЕНОЛОГИИ В 10-30-Х ГОДАХ XX ВЕКА	
103	Фитоценоз	Б.Н. Норин	БОТАНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ	7	1991	525		Структурно-функциональная организация фитоценозов	
104	Синузия	Б.Н. Норин	БОТАНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ	7	1987			Ценоячейки, синузия, ценом, растительное сообщество - проблемные вопросы теории фитоценологии	
105	Синузия	Б.Н. Норин	БОТАНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ	6	1965	745		О синузальном сложении растительного покрова лесотундры	
106	forest structural diversity	Felix Storch, Carsten F. Dormann and Jürgen Bauhus	Forest Ecosystems		2018		ССЫЛКА	Quantifying forest structural diversity based on large-scale inventory data: a new approach to support biodiversity monitoring	
107	forest structural diversity	Kris McCleary and Garth Mowat	B.C. Journal of Ecosystems and Management	2(2)	2002		ССЫЛКА	Using forest structural diversity to inventory habitat diversity of forest-dwelling wildlife in the West Kootenay region of British Columbia	
108	forest structural diversity	Elizabeth A. LaRue, Franklin W. Wagner, Songlin Fei, Je W. Atkins, Robert T. Fahey, Christopher M. Gough and Brady S. Hardiman	Remote sensing	12(9)	2020	1407	ССЫЛКА	Compatibility of Aerial and Terrestrial LIDAR for Quantifying Forest Structural Diversity	Forest structural diversity is the physical arrangement and variability of the living and non-living biotic elements within forest stands that support many essential ecosystem functions

Литературный обзор. Биологический аспект



Источник	Тезисы																																																																		
<p>Экология : в 2 томах / Ю. П. Одум ; перевод с англ. Ю. М. Фролова ; под ред. В. Е. Соколова. — М.: Мир, 1986. — Т. 2 — 376 с. : ил. [с.127].</p>	<p>Структурное разнообразие – является следствием зональности, стратифицированности, периодичности, пятнистости, наличия пищевых сетей и других способов ранжирования компонентов популяций микроместообитания.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Стратифицированность – вертикальная слоистость, ярусность растительного покрова и структура почвенных профилей. • Зональность – горизонтальная обобщенность, вертикальная поясность в горах или литоральной зоне. 																																																																		
<p>Лукина Н. В., и др. Биоразнообразие и климаторегулирующие функции лесов: актуальные вопросы и перспективы исследований // Вопр. лесн. науки. — 2020. — Т. 3. № 4. — С. 1–90.</p>	<p>Структурное разнообразие лесных экосистем отражает разнообразие местообитаний и, соответственно, общий уровень биоразнообразия лесов. Структурное разнообразие трактуется как мозаичность.</p>																																																																		
<p>Storch, F., Dormann, C.F. & Bauhus, J. Quantifying forest structural diversity based on large-scale inventory data: a new approach to support biodiversity monitoring. For. Ecosyst. 5, 34 (2018).</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>№</th> <th>Критерии структ.разнообразия (англ.)</th> <th>Критерии структ.разнообразия (рус.)</th> <th>Определяемый параметр</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>Uneven-agedness</td><td>разновозрастность</td><td>СКО среднего диаметра</td></tr> <tr><td>2</td><td>Growing stock</td><td>запас древостоя</td><td>средний диаметр</td></tr> <tr><td>3</td><td>Compositional heterogeneity</td><td>композиционная неоднородность</td><td>Видовое богатство древесных пород с DBH≥7 см</td></tr> <tr><td>4</td><td>Vertical heterogeneity</td><td>вертикальная неоднородность</td><td>СКО Нср для деревьев с DBH≥7 см.</td></tr> <tr><td>5</td><td>Large living trees</td><td>большие живые деревья</td><td>объем деревьев с DBH≥40 см на 1 га</td></tr> <tr><td>6</td><td>Deadwood standing</td><td>сухостой стоящий</td><td>средний диаметр</td></tr> <tr><td>7</td><td>Deadwood downed</td><td>сухостой упавший</td><td>средний диаметр</td></tr> <tr><td>8</td><td>Deadwood decay classes</td><td>класс распада валежной древесины</td><td>количество классов распада</td></tr> <tr><td>9</td><td>Bark diversity</td><td>разнообразие коры</td><td>индекс разнообразия коры</td></tr> <tr><td>10</td><td>Diversity of flowering and fruiting trees</td><td>разнообразие цветущих и плодоносящих деревьев</td><td>цветочное разнообразие</td></tr> <tr><td>11</td><td>Regeneration</td><td>лесовосстановление</td><td>Видовое богатство древесных пород с DBH<7 см</td></tr> <tr><td>12</td><td>Litter layer</td><td>слой опада</td><td>-</td></tr> <tr><td>13</td><td>Microhabitats</td><td>микроместообитания</td><td>-</td></tr> <tr><td>14</td><td>Tree spacing</td><td>расстояние между деревьями</td><td>-</td></tr> <tr><td>15</td><td>Epiphytes and organisms on deadwood</td><td>Эпифиты (лишайники, мхи, грибы)</td><td>-</td></tr> </tbody> </table>	№	Критерии структ.разнообразия (англ.)	Критерии структ.разнообразия (рус.)	Определяемый параметр	1	Uneven-agedness	разновозрастность	СКО среднего диаметра	2	Growing stock	запас древостоя	средний диаметр	3	Compositional heterogeneity	композиционная неоднородность	Видовое богатство древесных пород с DBH≥7 см	4	Vertical heterogeneity	вертикальная неоднородность	СКО Нср для деревьев с DBH≥7 см.	5	Large living trees	большие живые деревья	объем деревьев с DBH≥40 см на 1 га	6	Deadwood standing	сухостой стоящий	средний диаметр	7	Deadwood downed	сухостой упавший	средний диаметр	8	Deadwood decay classes	класс распада валежной древесины	количество классов распада	9	Bark diversity	разнообразие коры	индекс разнообразия коры	10	Diversity of flowering and fruiting trees	разнообразие цветущих и плодоносящих деревьев	цветочное разнообразие	11	Regeneration	лесовосстановление	Видовое богатство древесных пород с DBH<7 см	12	Litter layer	слой опада	-	13	Microhabitats	микроместообитания	-	14	Tree spacing	расстояние между деревьями	-	15	Epiphytes and organisms on deadwood	Эпифиты (лишайники, мхи, грибы)	-		
№	Критерии структ.разнообразия (англ.)	Критерии структ.разнообразия (рус.)	Определяемый параметр																																																																
1	Uneven-agedness	разновозрастность	СКО среднего диаметра																																																																
2	Growing stock	запас древостоя	средний диаметр																																																																
3	Compositional heterogeneity	композиционная неоднородность	Видовое богатство древесных пород с DBH≥7 см																																																																
4	Vertical heterogeneity	вертикальная неоднородность	СКО Нср для деревьев с DBH≥7 см.																																																																
5	Large living trees	большие живые деревья	объем деревьев с DBH≥40 см на 1 га																																																																
6	Deadwood standing	сухостой стоящий	средний диаметр																																																																
7	Deadwood downed	сухостой упавший	средний диаметр																																																																
8	Deadwood decay classes	класс распада валежной древесины	количество классов распада																																																																
9	Bark diversity	разнообразие коры	индекс разнообразия коры																																																																
10	Diversity of flowering and fruiting trees	разнообразие цветущих и плодоносящих деревьев	цветочное разнообразие																																																																
11	Regeneration	лесовосстановление	Видовое богатство древесных пород с DBH<7 см																																																																
12	Litter layer	слой опада	-																																																																
13	Microhabitats	микроместообитания	-																																																																
14	Tree spacing	расстояние между деревьями	-																																																																
15	Epiphytes and organisms on deadwood	Эпифиты (лишайники, мхи, грибы)	-																																																																

Структурное разнообразие



Структурное разнообразие – один из видов биоразнообразия.

Различают структурное разнообразие связанное со: строением, составом, функциями древостоя.

Структурное разнообразие включает прежде всего разнообразие элементов вертикальной и горизонтальной структуры фитоценоза.

Критерии структурного разнообразия

Оконная структура

- Размер
- Количество
- Глубина

Сухостой (соотношение сухостойных и живых деревьев)

Валеж (стадии разложения)

Размеры деревьев:

- Диаметр ствола
- Размер/площадь кроны

Богатство видов

Доля старых деревьев

В стадии изучения следующие работы (авторы):

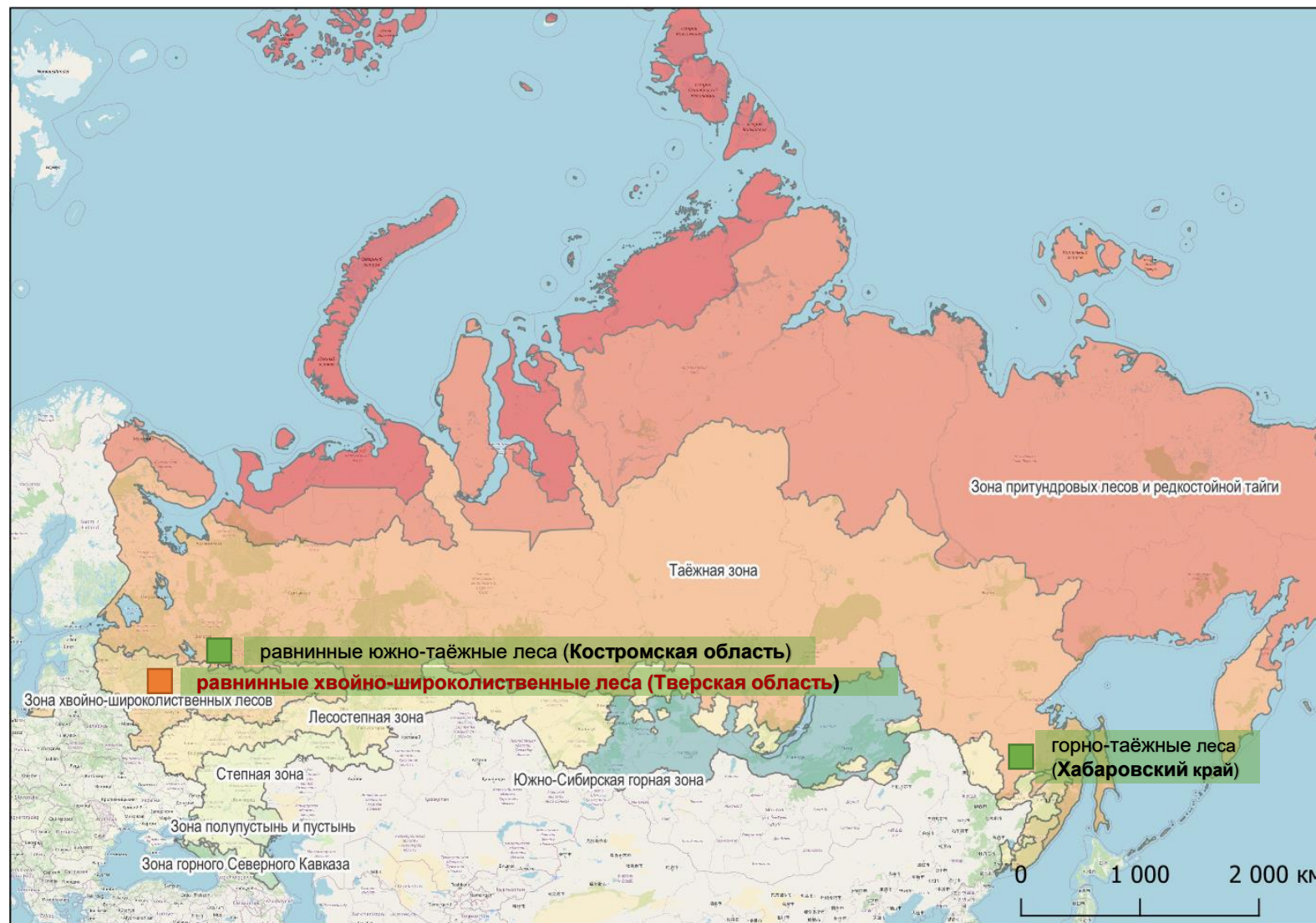
Авторы 3	Источник 4	Номер 5	Год 6	Стр. 7	Ссылка 8	Наименование статьи (Рус.) 9
В.Н.Василевич	БОТАНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ	7	2016	776-795	ССЫЛКА	ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ РАЗНООБРАЗИЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ
В.Н.Василевич	Сибирский экологический журнал	4	2009	509-517	ССЫЛКА	ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ
В.Н.Василевич	БОТАНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ	7	2018	1075	ССЫЛКА	СТАНОВЛЕНИЕ РОССИЙСКОЙ ФИТОЦЕНОЛОГИИ В 10-30-Х ГОДАХ ХХ ВЕКА
Б.Н. Норин	БОТАНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ	7	1991	525		Структурно-функциональня организация фитоценозов
Б.Н. Норин	БОТАНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ	7	1987			Ценоэчейки, синузия, ценом, растительное сообщество - проблемные вопросы теории фитоценологии
Б.Н. Норин	БОТАНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ	6	1965	745		О синузимальном сложении растительного покрова лесотундры

Литературный обзор. Технический аспект

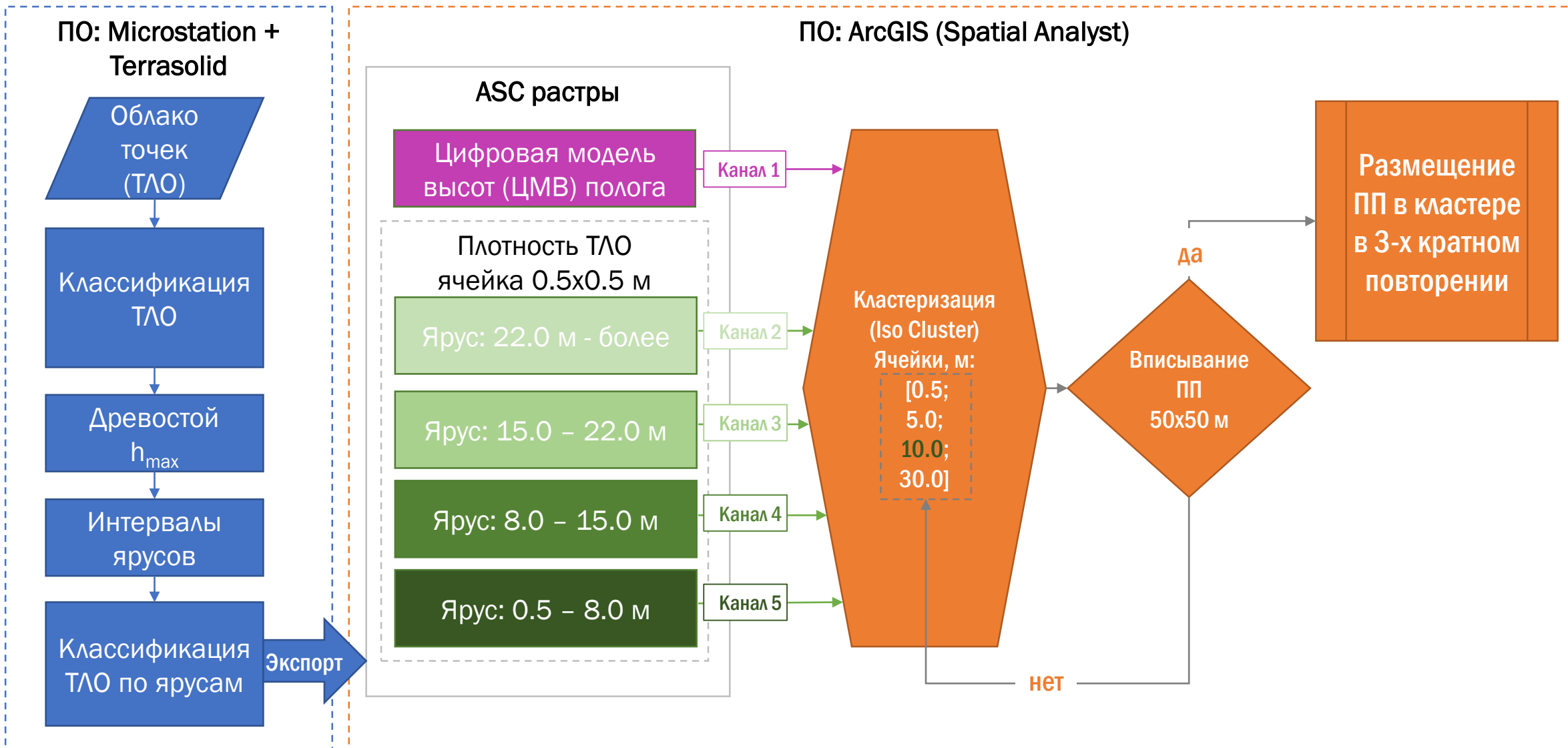


№ п/п	Название статьи	Авторы	Год публикации	Пространственный уровень (локальный, региональный, национальный, глобальный)	Картографирование климаторегулирующей ЭУ/услуг (накопление углерода и др.)	Картографирование пула углерода (почвы, древостой и др.) (при наличии)	Информация об исходных данных
5	Подходы к определению таксационных показателей леса с использованием аэрокосмических снимков и лазерного сканирования	Рыльский И.А.	2018	110 кв.км.	Таксационные характеристики	древостой	ВЛС, ЦАФС
6	Сравнение результатов таксации насаждений, полученных с использованием воздушного лазерного сканирования, с данными сплошного пересчета	Соснин Ю. А., Кедров А.В.	2018	50м x 100м	Таксационные характеристики	древостой	ВЛС, полевые измерения
7	Алгоритмы обработки данных лазерного сканирования и автоматизированного определения таксационных параметров лесных насаждений	Данилин И.М., Целитан И.А.	2019	локальный?	Таксационные характеристики	древостой	ВЛС
8	Технологии мониторинга лесных территорий на ландшафтной основе с использованием ЛС и ЦАФС	Данилин И.М., Зиганшин Р.А., Целитан И.А.	2019		Таксационные характеристики	древостой	ВЛС, ЦАФС
	В Шотландии начали вырубать деревья ради спасения планеты		2021	локальный		древостой	ВЛС
9	Quantifying forest above ground carbon content using LIDAR remote sensing	G. Patenaude, R.A Hillb, R. Milnec, D.L.A. Gaveaud, B.B.J. Briggs, T.P. Dawson	2004	Локальный (157 га)	Накопление углерода	древостой	ВЛС
10	Retrieval of Forest Aboveground Biomass and Stem Volume with Airborne Scanning LIDAR	Ville Kankare, Mikko Vastaranta, Markus Holopainen, Minna Rätty, Xiaowei Yu, Juha Hyypä, Hannu Hyypä, Petteri Alho and Risto Viitala	2013	500 x Окружности(R10м) 212 x Окружности(R10м) 32 x Окружности(R40м)	Объем надземной биомассы, стволов деревьев	древостой	ВЛС
11	Estimation of Forest Parameters using 3D Satellite Data	Henrik Persson	2014	1248 Га (27 x Окружности(R12.62м))	Объем надземной биомассы, депонирование углерода	древостой	Радарные данные (TerraSAR-X/TanDEM-X)
12	Integrating Airborne LiDAR and Terrestrial Laser Scanner forest parameters for accurate above-ground biomass/carbon estimation in Ayer Hitam tropical forest	Muluken N. Bazezewa, Yousif A. Hussin, E.H. Kloosterman	2018	1 кв.км.	Объем надземной биомассы/ запас углерода	древостой	ВЛС, НЛС
13	Estimating Aboveground Biomass/Carbon Stock and Carbon Sequestration using UAV (Unmanned Aerial Vehicle) in Mangrove Forest, Mahakam Delta, Indonesia	Eko Kustiyanto	2019	10 км.кв 68 x Окружности(R12м)	Структура древостоя	древостой	ЦАФС (БВС)
14	Airborne LIDAR and Terrestrial Laser Scanner (TLS) in Assessing Above Ground Biomass/Carbon Stock in Tropical Rainforest of Ayer Hitam Forest Reserve	Zemeran Mehari Ghebremichael	2015	1248 Га	Объем надземной биомассы/ запас углерода	древостой	ВЛС, НЛС
15	Estimation of 3D vegetation structure from waveform and discrete return airborne laser scanning data	Eva Lindberg, Kenneth Olofsson, Johan Holmgren, Håkan Olsson	2012	1700 га 14 x Окружности(R12м)	Объем надземной биомассы	древостой	ВЛС
16	Estimation of pruning biomass of olive trees using airborne discrete-return LIDAR data	J. Estornell, L.A. Ruiz, B. Velazquez-Martí, I. Lopez-Cortes, D. Salazar, A. Fernandez-Sarria	2015	Локальный (157 га)	Таксационные характеристики, Объем надземной биомассы	древостой	ВЛС
17	Forest biomass estimation from airborne LIDAR data using machine learning approaches	Colin J. Gleason, Jungho Im	2012	1700 га 14 x Окружности(R12м)	Объем надземной биомассы	древостой	ВЛС
18	Impact of data model and point density on aboveground forest biomass estimation from airborne LIDAR	Mariano Garcia, Sassan Saatchi, Antonio Ferraz, Carlos Alberto Silva, Susan Ustin, Alexander Koltunov and Heiko Balzter	2017		Объем надземной биомассы	древостой	ВЛС
19	Fusion of Airborne LiDAR and Digital Photography Data for Tree Crowns Segmentation and Measurement	M. Favorskaya, A. Tkacheva, I. Danilin and E. Medvedev	2015		Сегментация крон деревьев.	древостой	ВЛС, ЦАФС
20	Retrieval of Forest Aboveground Biomass and Stem Volume with Airborne Scanning LIDAR	Ville Kankare, Mikko Vastaranta, Markus Holopainen, Minna Rätty, Xiaowei Yu, Juha Hyypä, Hannu Hyypä, Petteri Alho and Risto Viitala	2013	509 x Окружности(R10м)	Объем надземной биомассы	древостой	ВЛС
21	Estimating the Aboveground Carbon Density of Coniferous Forests by Combining Airborne LIDAR and Allometry Models at Plot Level	Hongke Hao, Weizhong Li, Xuan Zhao, Qingrui Chang and Pengxiang Zhao	2019	264 Га	Оценка надземной плотности углерода	древостой	ВЛС
22	Quantifying aboveground forest carbon pools and fluxes from repeat LIDAR surveys	Andrew T. Hudak, Eva K. Strand, Lee A. Vierling, John C. Byrne, Jan U.H. Eitel, Sebastián Martinuzzi, Michael J. Falkowski	2012	32708 Га (2003 г.) 19889 Га (2009 г.)	Надземные запасы углерода и потоки	древостой	ВЛС
23	Regional Modeling of Forest Fuels and Structural Attributes Using Airborne Laser Scanning Data in Oregon	Francisco Mauro, Andrew T. Hudak, Patrick A. Fekety, Bryce Frank, Hailemariam Temesgen, David M. Bell, Matthew J. Gregory and T. Ryan McCarley	2021	46 146 км.кв.	Объем надземной биомассы/ таксационные характеристики	древостой	ВЛС
24	A carbon monitoring system for mapping regional, annual aboveground biomass across the northwestern USA	Andrew T Hudak, Patrick A Fekety, Van R Kane, Robert E Kennedy, Steven K Filippelli, Michael J Falkowski, Wade T Tinkham, Alistair M S Smith, Nicholas L Crookston, Grant M Domke, Mark V Corrao, Benjamin C Bright, Derek J Churchill, Peter J Gould, Robert J McGaughey, Jonathan T Kane and Jinwei Dong	2019	национальный	Объем надземной биомассы	древостой	ВЛС
25	Improved estimation of forest stand volume by the integration of GEDI LIDAR data and multi-sensor imagery in the Changbai Mountains Mixed forests Ecoregion (CMMFE), northeast China	Lin Chen, Chunying Ren, Bai Zhang, Zongming Wang, Mingyue Liu, Weidong Man, Jiafu Liu	2021	204157 Га	Объем надземной биомассы	древостой	LIDAR со спутника, Радарная съемка, КС в оптическом диапазоне
26	Individual tree identification using a new cluster-based approach with discrete-return airborne LIDAR data	Haijian Liu, Pinliang Dong, Changshan Wu, Pin Wang, Meihong Fang	2021	9 км.кв.	Идентификация отдельных деревьев	древостой	ВЛС

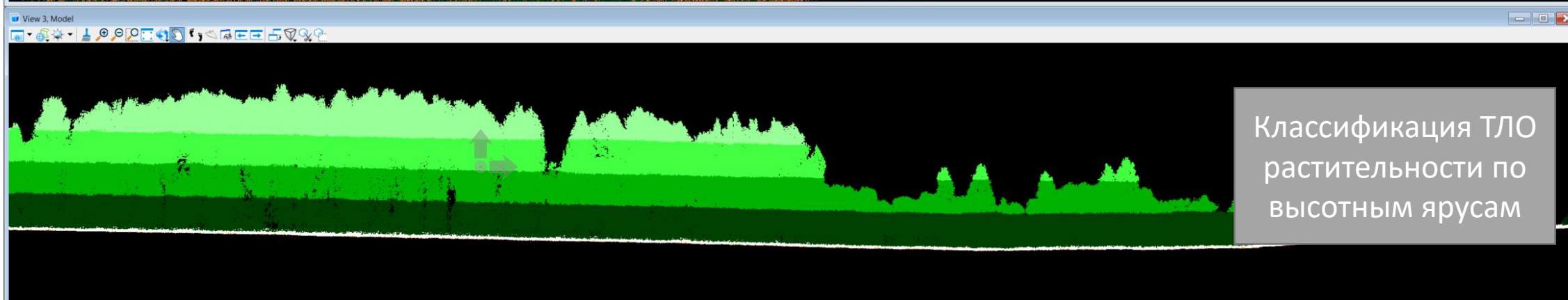
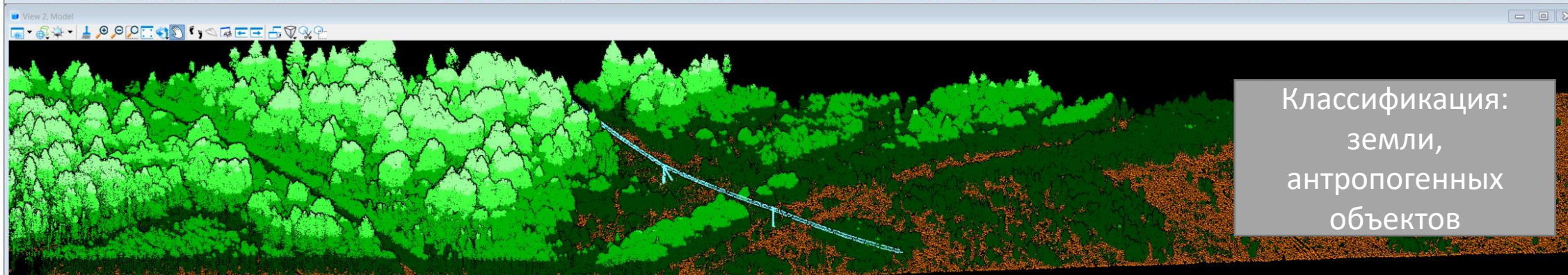
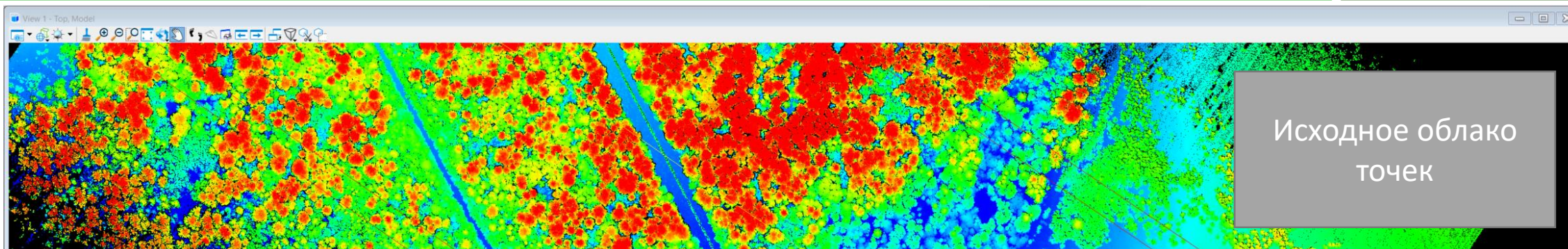
Практическая часть. Объекты исследования



Практическая часть. Размещение ПП



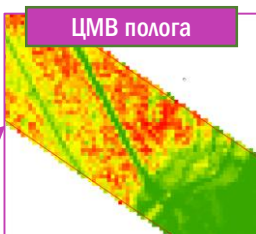
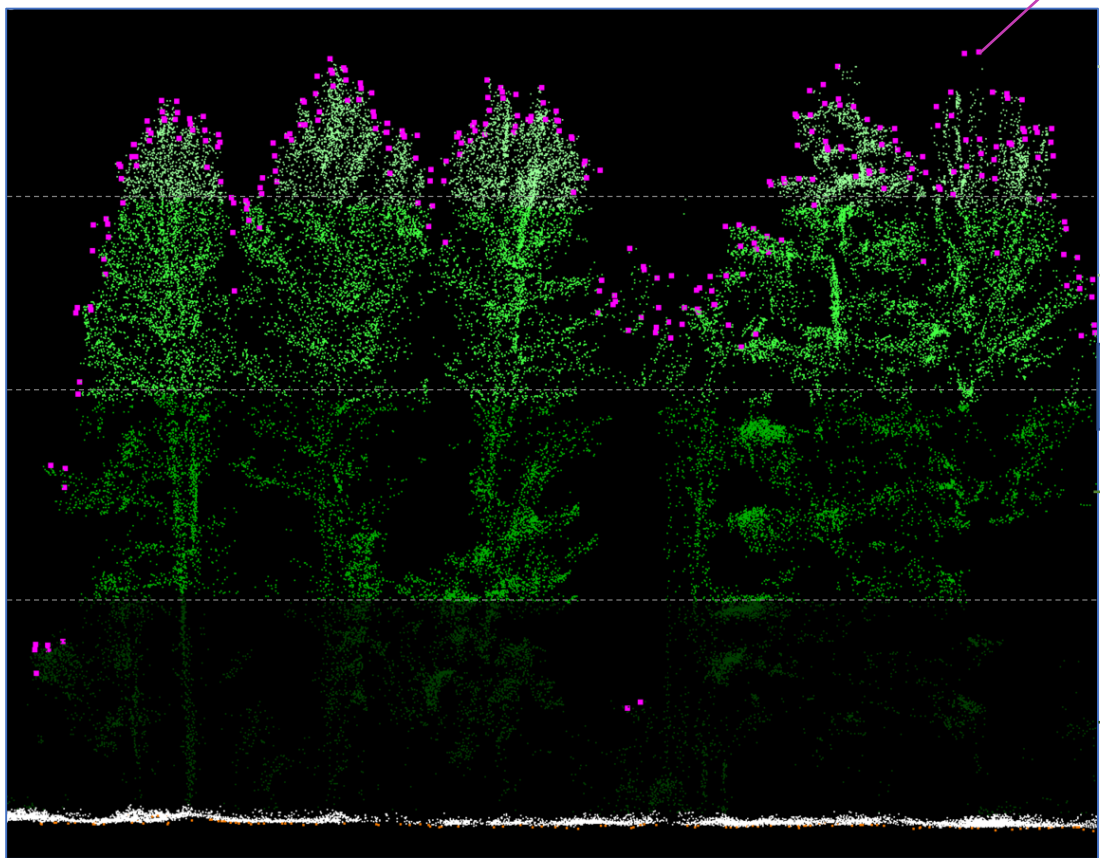
Практическая часть. Облако точек



Практическая часть. Кластеризация



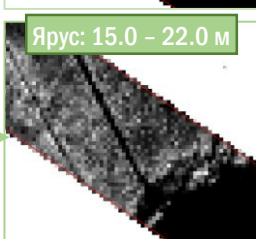
Облако точек
ПО: Microstation + Terrasolid



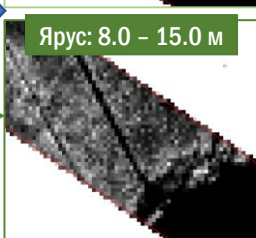
Канал 1



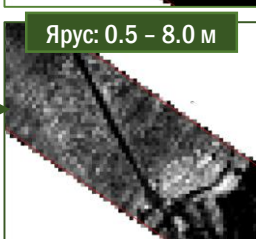
Канал 2



Канал 3



Канал 4

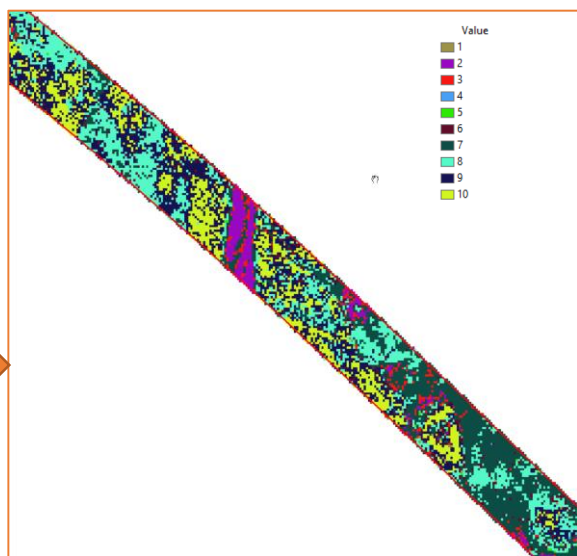


Канал 5

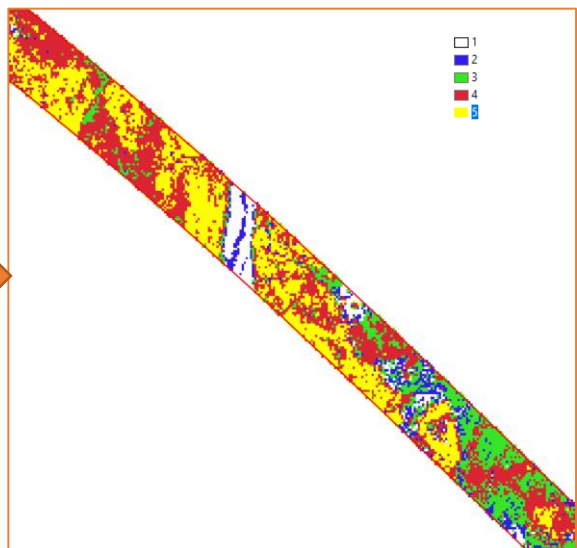
Экспорт
в ASC

Кластеризация (ArcGIS, Spatial Analyst – Iso Cluster)

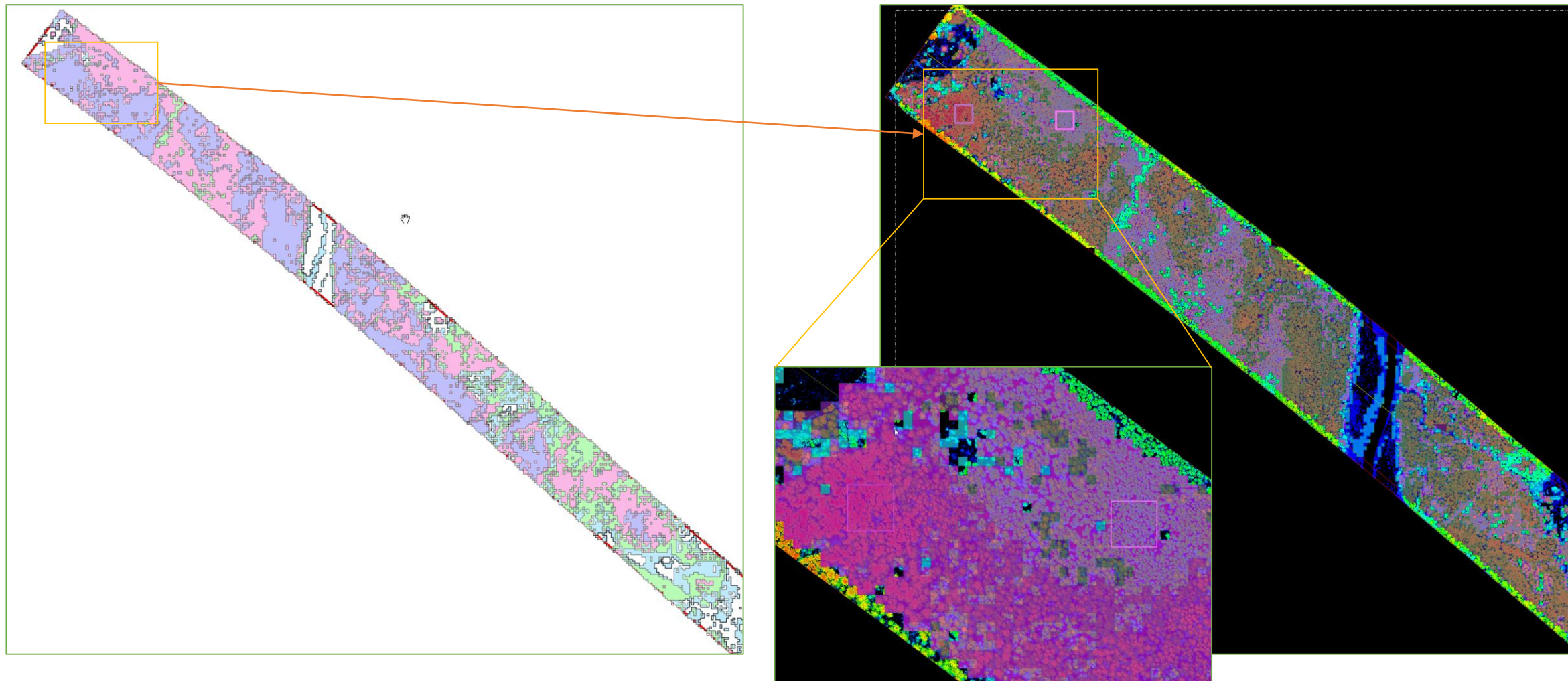
10 (9+1)
кластеров



5 (4+1)
кластеров



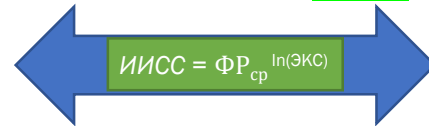
Практическая часть. Кластеризация



Практическая часть. Расчет индекса структурной сложности

ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ИНДЕКС СТРУКТУРНОЙ СЛОЖНОСТИ (ИИСС) , ИИСС = f(ЭКС, ФР)

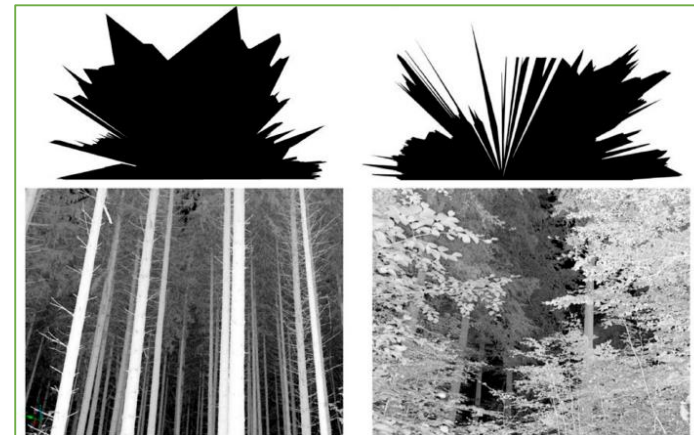
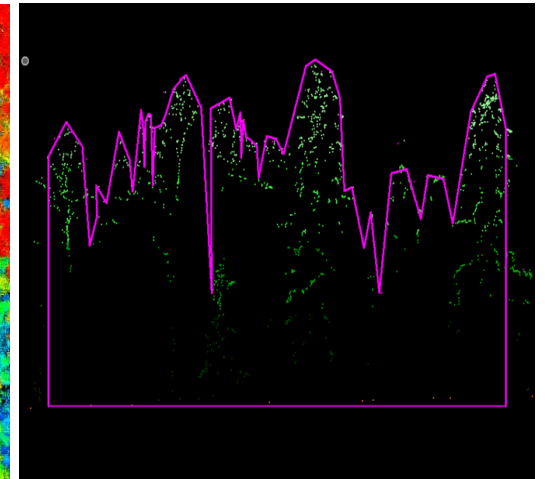
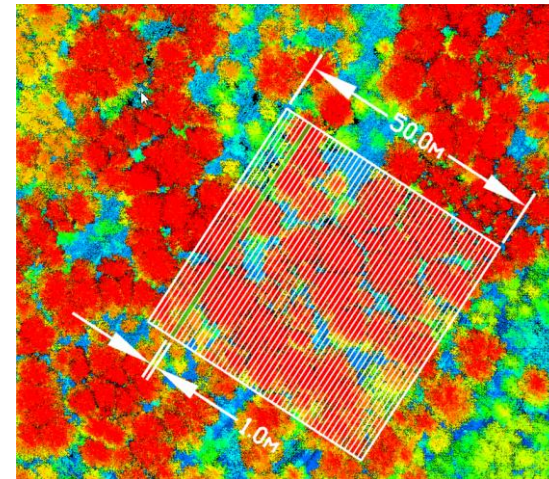
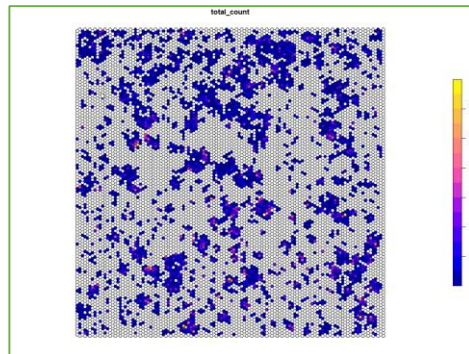
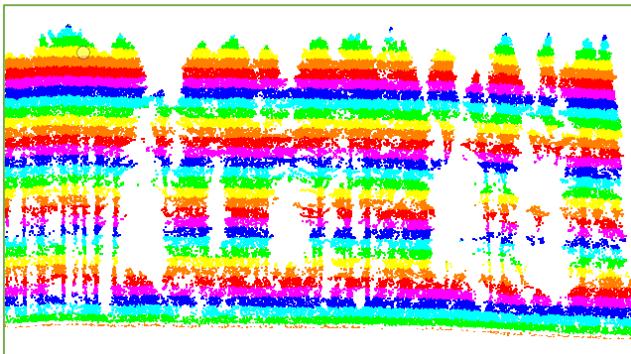
Эффективное количество слоёв (ЭКС)



Фрактальная размерность (ФР)
(в разработке)

Эффективное количество слоёв описывает вертикальную структуру с учётом высоты насаждений (количество ярусов толщиной 1 м.) и их соответствующей занятости компонентами деревьев (стволовой древесиной и листвой) по отношению к общей занимаемой площади.

Значение индекса увеличивается при увеличении высоты древостоя и более равномерно заполненными слоями.



$$\text{ФР} = \frac{2 * \ln(0.25 * P)}{\ln(A)}$$

Фрактальная размерность одного сечения

$$\text{ФР}_{\text{cp}} = \sum_{i=1}^{50} \text{ФР} / 50$$

Среднее значение на ПП

$$\text{ЭКС} = 1 / \sum_{i=1}^{N_{\text{top}}} p_i^2$$

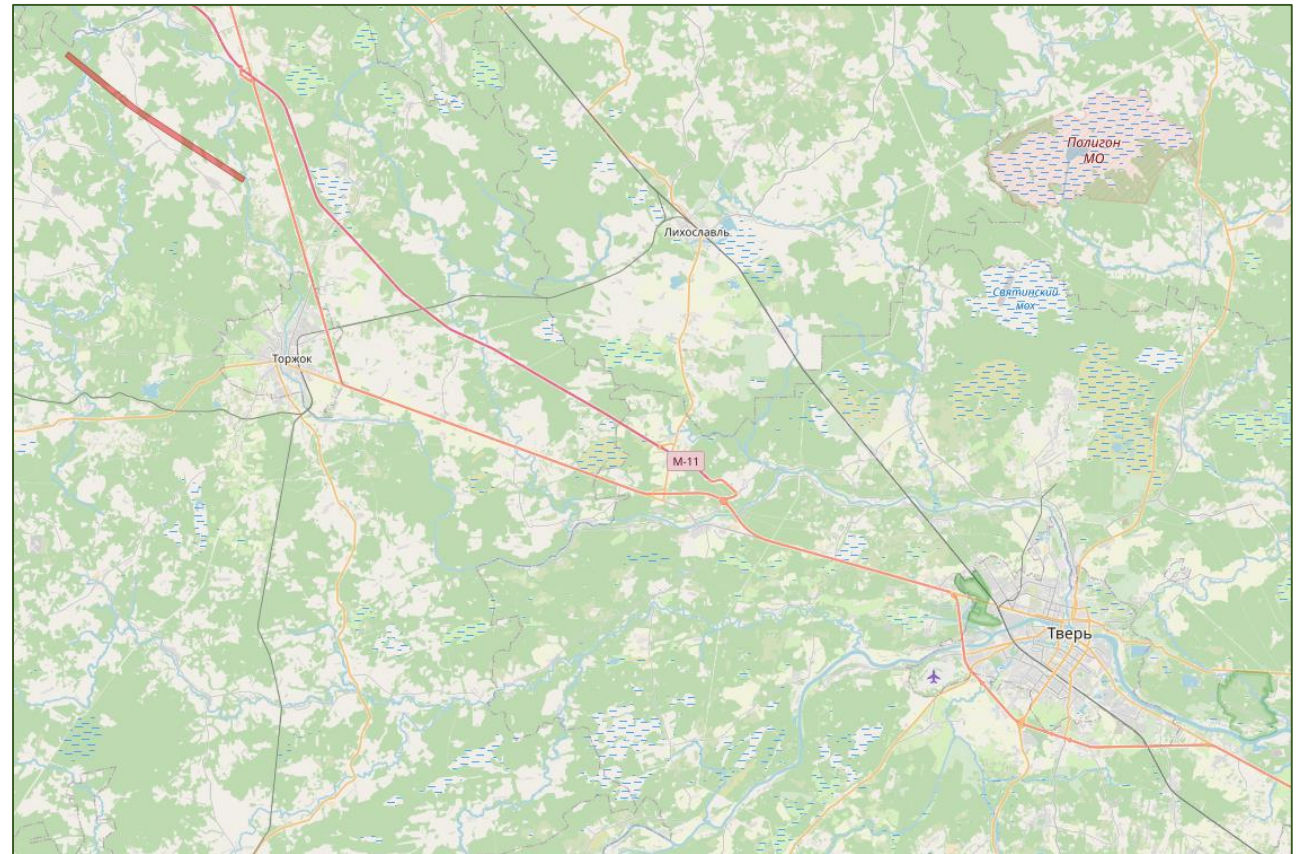
N – количество слоёв
p_i – отношение заполненных вокселей в i слое к сумме заполненных вокселей во всех N слоях

План на полевой сезон 2023



Полевые работы на объекте исследования в Тверская область:

- Изучение состава и структуры лесной растительности на одной из ПП 50x50 м.
- Определение таксационных характеристик – полевой контроль камеральных измерений:
 - Породный состав;
 - Уточнение генезиса межкрупных пространств (окон);
 - Диаметров и высот деревьев;
 - Описание напочвенного покрова.



1. Публикации:

- Обзорная публикация по **структурному разнообразию** в журнале «Лесоведение» (ВАК, Scopus);
- Публикация результатов исследования по объекту в Тверской области («Геодезия и картография», ВАК, Scopus).

2. Участие в конференциях:

- «Пространственные данные 2023» (МИИГАиК) – устный доклад;
-

Благодарность:

1. Лукиной Н.В.
2. Гераськиной А.П.
3. Горнову А.В.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕЙ!

