

XVIII Международная научная Школа-конференция молодых ученых по фундаментальным проблемам дистанционного зондирования Земли из космоса

Показатели горизонтальной структуры лесов и их дистанционная оценка на основе оптических спутниковых данных

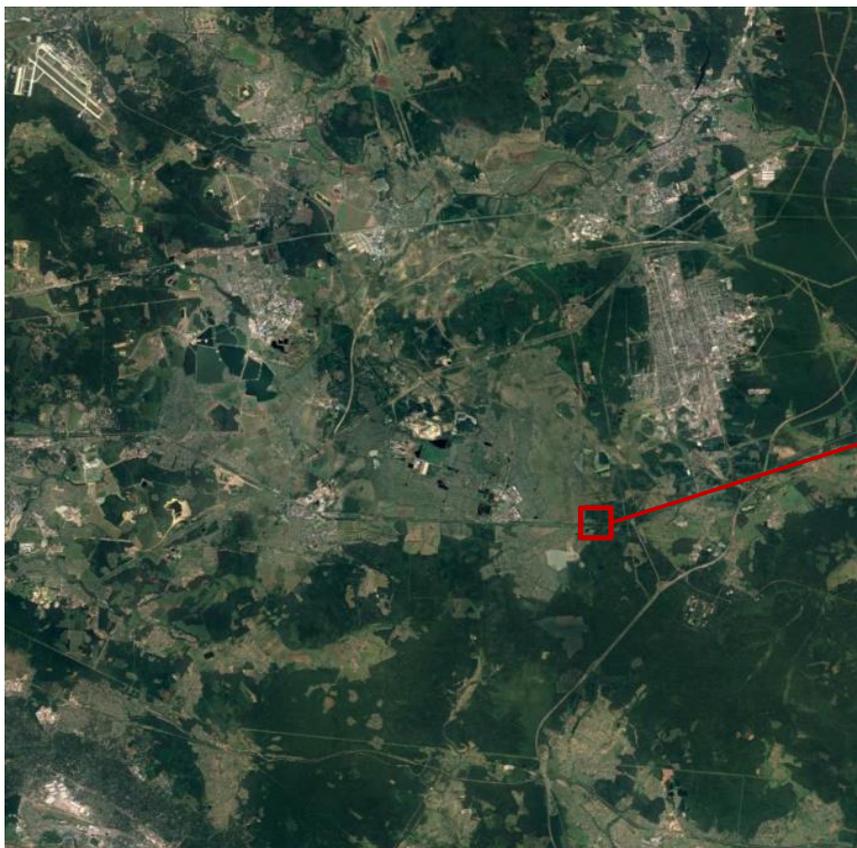
Ховратович Татьяна Сергеевна



ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
РАН

18 ноября 2022

Горизонтальная структура лесов



Фрагмент Московской области



55 ° 43' 29" N, 38 ° 23' 17" E

Определение: показателями горизонтальной структуры лесов понимаются характеристики, описывающие пространственную плотность проективного покрытия земной поверхности заданной территории элементами древесной растительности на различных уровнях структурной дифференциации, включая элементарные фракции деревьев (вегетативные органы, ветви и стволы), кроны и насаждения.

Показатели горизонтальной структуры лесов

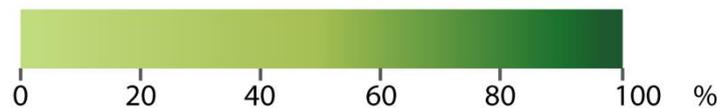
Название	Определение / обозначение		Область применимости
<i>Лесистость</i>	Отношение покрытой лесом площади к общей площади территории	L	Макро уровень (лесхоз, район, страна)
<i>Проективное покрытие древесного полога</i>	Отношение сумм площадей горизонтальных проекций крон деревьев к занимаемой площади	TC	Макро (лесхоз, район, страна) и локальный (выдел, насаждение) уровни
<i>Сомкнутость крон</i>	Отношение сумм площадей горизонтальных проекций крон деревьев с учетом их перекрытия и без учета просветов внутри крон к занимаемой площади	fTC	Локальный уровень (выдел, насаждение)
<i>Относительная полнота</i>	Отношению абсолютной полноты древостоя* к показателю абсолютной полноты эталонного (нормального) древостоя для определённой породы, возраста и бонитета, взятого из соответствующих таблиц хода роста и продуктивности насаждений	RS	Локальный уровень (выдел, насаждение)

* Абсолютная полнота древостоя равна сумме поперечных сечений стволов на высоте 1,3 м в м² на 1 га

Карта лесистости территории



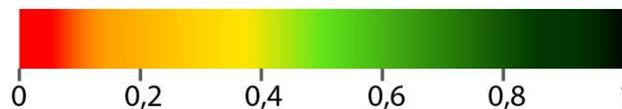
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ
ЛЕСИСТОСТЬ:



Карта сомкнутости лесов



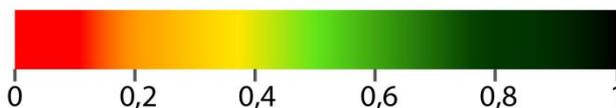
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ
СОМКНУТОСТЬ ЛЕСНОГО ПОЛОГА:



Карта относительной полноты лесов



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ
ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ПОЛНОТА ЛЕСОВ:



Использование показателей горизонтальной структуры лесов

– Определение земель покрытых лесом

«К лесным землям, покрытым лесной растительностью, относятся: i) земли, занятые лесными насаждениями естественного и искусственного происхождения с **полнотой 0,4 доли единицы и выше** в возрасте молодняков и с **полнотой 0,3 доли единицы и выше** в возрасте, превышающем возраст молодняков » (Лесостроительная инструкция, 2018):

– Лесоинвентаризация

▪ Составление таксационных описаний выделов или пробных площадей

«47.2. В сведениях о характеристиках лесотаксационных выделов приводится следующая информация: ... о) полнота лесного насаждения или приживаемость несомкнувшихся лесных культур;» (Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 5 августа 2022 г. № 510 "Об утверждении Лесостроительной инструкции»)

▪ Выделение ярусов древостоя

«Выделение ярусов в лесных насаждениях производится при следующих условиях:

а) полнота каждого яруса должна быть не менее 0,3 доли единицы; б) разница в средних высотах ярусов должна составлять не менее 20%.» (Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 5 августа 2022 г. № 510 "Об утверждении Лесостроительной инструкции»)

▪ Определения запаса древостоя по таблицам хода роста насаждений

– Лесохозяйственные мероприятия

– Проектирование рубок ухода за лесом

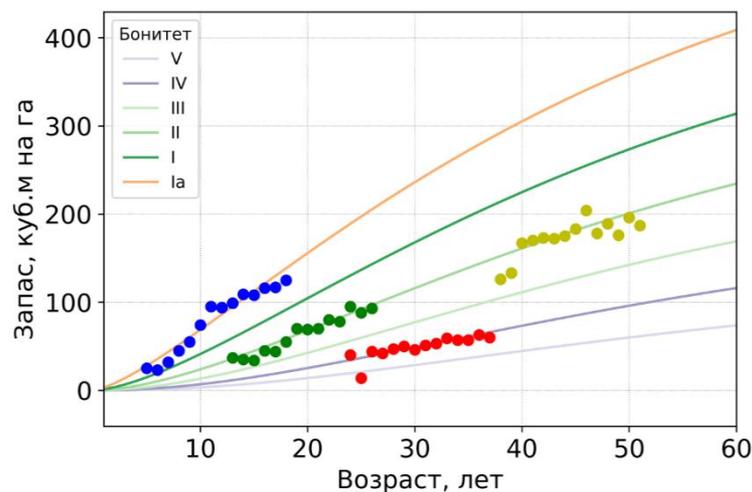
– Определение допустимой степени изреживания древостоев при постепенных, выборочных рубках главного пользования и выборочных санитарных рубках

– Статистические данные о административных единицах РФ

- Ежегодные доклады об состоянии окружающей среды
- Открытые данные Росстата

Задачи дистанционного мониторинга с использованием показателей их горизонтальной структуры

- Выявление и оценка изменений в лесах под воздействием деструктивных факторов (пожары, вырубки, болезни и др.);
- Мониторинг процессов восстановления лесов на вырубках и гарях;
- Оценка залесенности/закустаренности заброшенных сельскохозяйственных земель;
- Оценка биофизических характеристик лесов: площадь листовой поверхности (LAI), фитомасса и др.;
- Мониторинг климатогенной динамики лесов (смещение границы тайга-тундра и др.);
- Мониторинг бюджета углерода лесов и исследования глобального углеродного цикла.



Источники данных о показателях ГСЛ



vs.
?



Наземные измерения

Дистанционные измерения

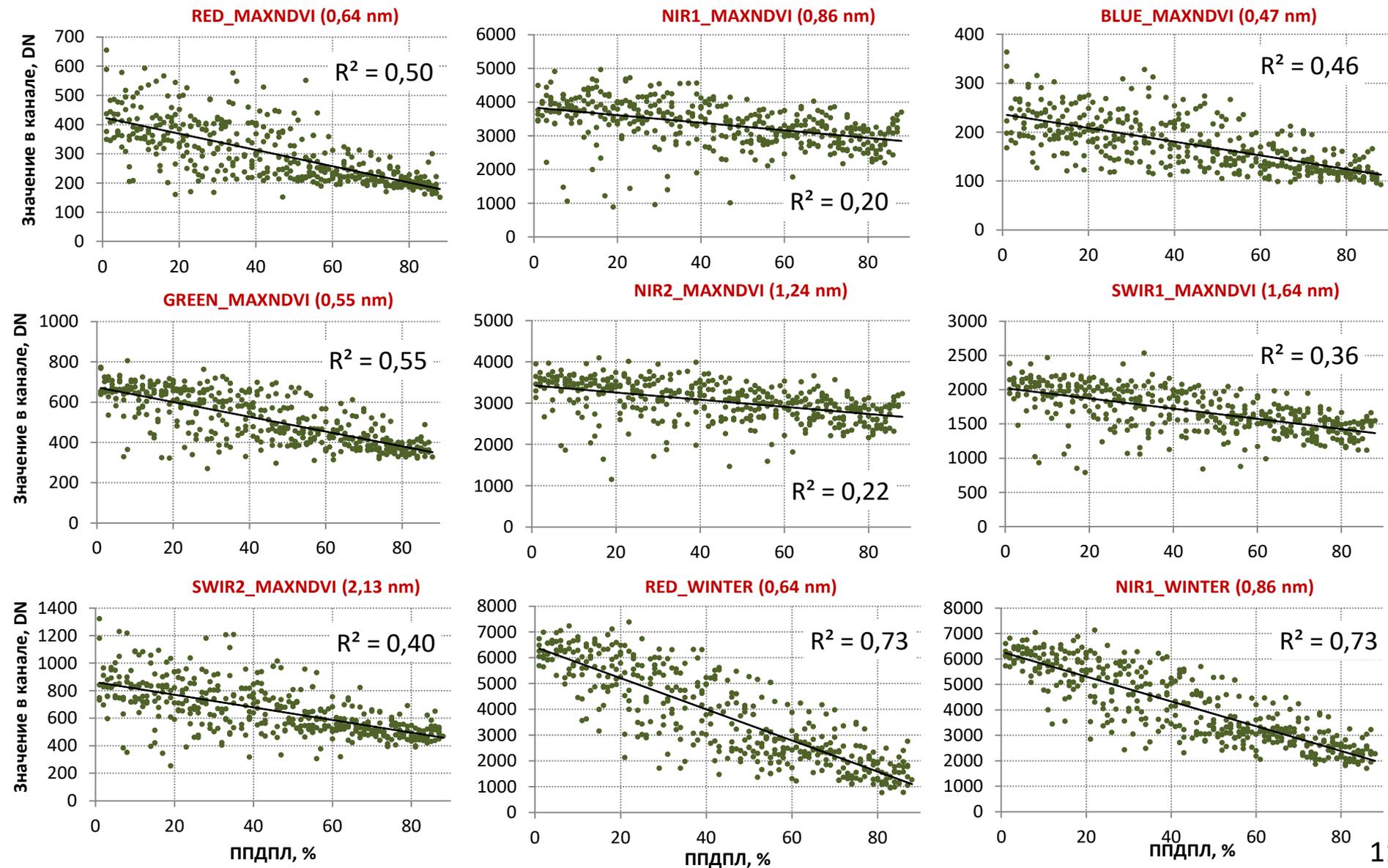
Высокая	<i>Точность измерения</i>	Дополнительная погрешность, вносимая при моделировании
Отсутствует	<i>Автономность измерения</i>	Высокая степень
Низкая	<i>Регулярность измерения</i>	Высокая (определяется периодичностью съемки)
Локальная область	<i>Пространственный охват</i>	Протяженная территория

Возможности оптических спутниковых систем при оценке показателей ГСЛ

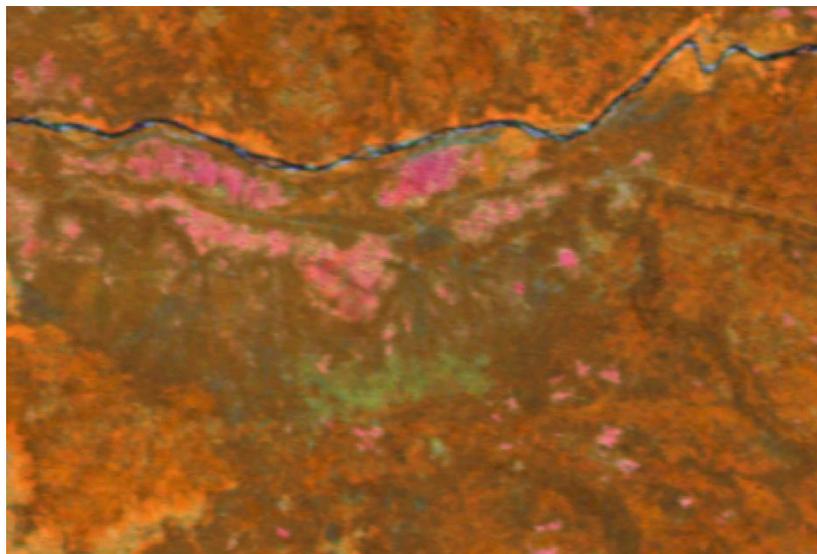
Детальность съёмки	Сенсор	Спектральный диапазон съёмки	Пространственное разрешение, м	Радиометрическое разрешение (бит)	Временное разрешение, сут.	Время съёмки
Среднее разрешение (100 – 1000 м)	AVHRR	R, NIR, SWIR	1000	10	1	1979 – н.в.
	MODIS	R, NIR B, G, SWIR	250 500	12	1	1999 – н.в.
Высокое Разрешение (5 – 100 м)	Proba -V	B, R, NIR, SWIR	100	8	1-2	2013 – н.в.
	Landsat (MSS, ETM+, OLI)	Pan Vis, NIR SWIR	15 30 30 – 60	8	16	1984 – н.в.
	Sentinel-2	Vis NIR SWIR	10 10 – 20 20 – 60	12	5	2015 – н.в.
	SPOT (HRVIR)	Pan Vis, NIR, SWIR	1,5 5 – 20	8	26	1986 – н.в.
Сверхвысокое разрешение (< 5 м)	Ikonos	Pan Vis, NIR	1 4	11	3 – 5	1999 – н.в.
	QuickBird	Pan Vis, NIR	0,6 2,4	11	1 – 3.5	2001 – н.в.
	WorldView	Pan, Vis, NIR, SWIR	0,3 – 3,7 м	11	1.7 – 5.9	2007 – н.в.

Pan – панхроматический, Vis – видимый, NIR – ближний инфракрасный, SWIR – средний инфракрасный диапазоны электромагнитного спектра; B – голубой, G – зелёный, R – красный диапазоны видимого спектра

Зависимость значений спектральных каналов MODIS и проективного покрытия полого леса



Сравнение оценки проективного покрытия полога леса по разным наборам спектральных каналов



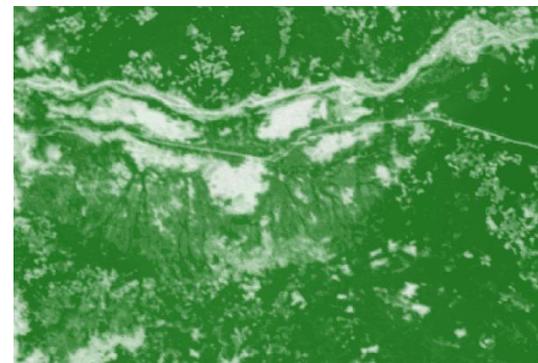
Фрагмент данных MODIS, 2021

Синтез каналов
 0.86 1.64 0.65 мкм

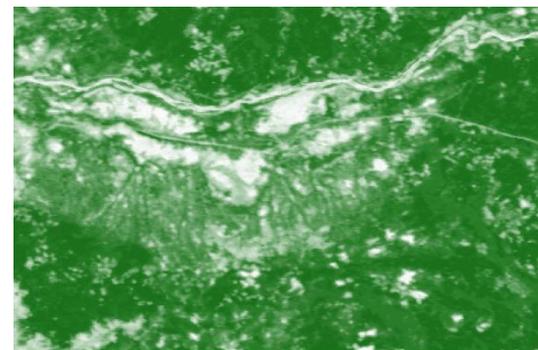
№	Признаки	R ² (OOB)
1.	b1, b2_WINTER	0.849
2.	b1-b7_MAXNDVI	0.871
3	b1, b2_WINTER + b1-b7_MAXNDVI	0.879

Результат оценки проективного покрытия

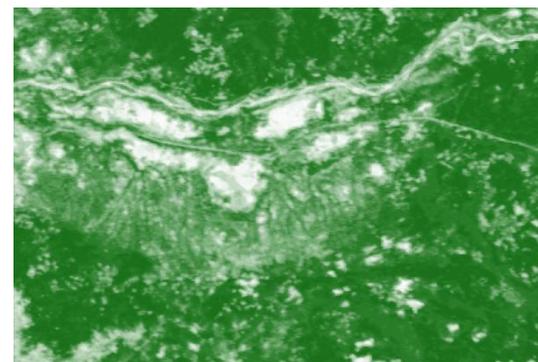
1.



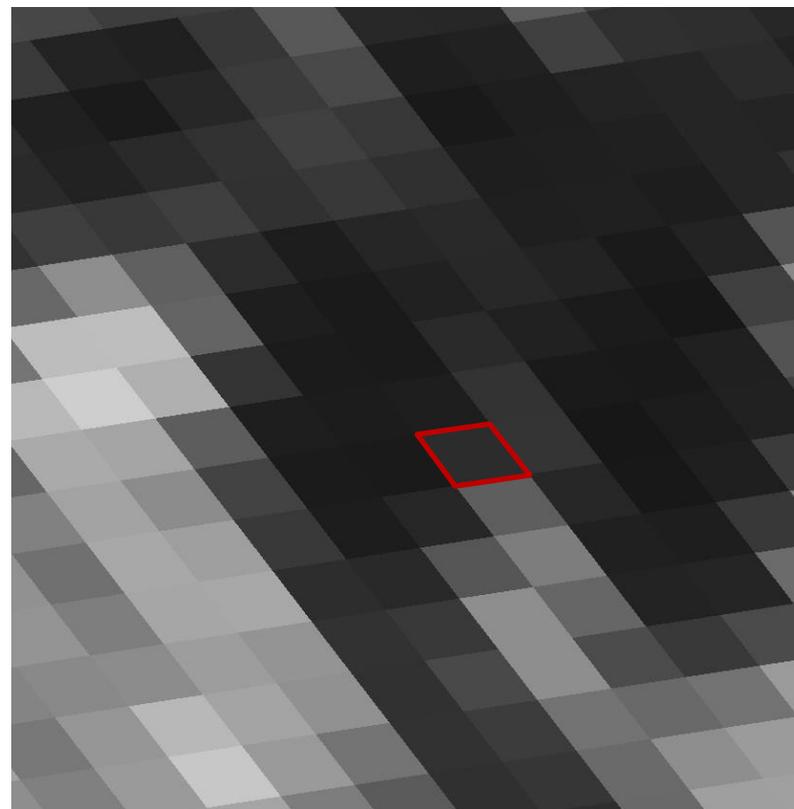
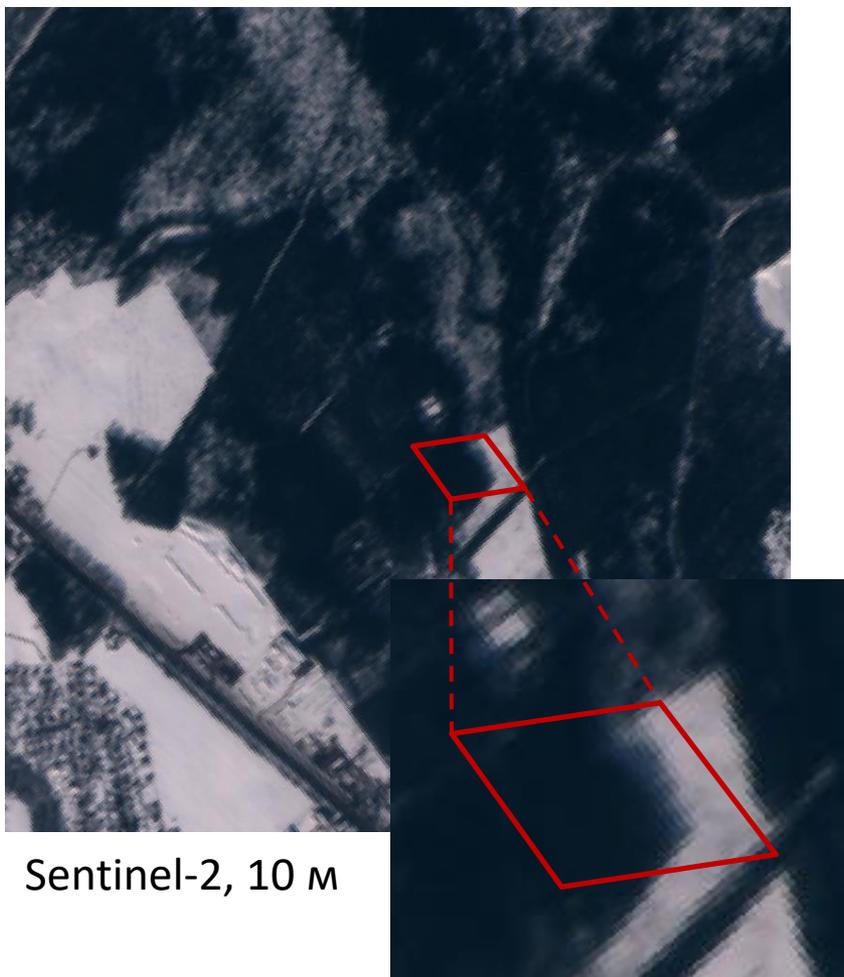
2.



3.



Особенности оценки показателей горизонтальной структуры по спутниковым данным



Наименьшая единица оценки -
пиксель спутниковых данных



Необходимо корректировать значение
показателя, учитывая площадь, занимаемую
лесом в пикселе

Особенности оценки показателей ГСЛ по спутниковым данным разного разрешения

Фрагмент Московской области, Sentinel-2



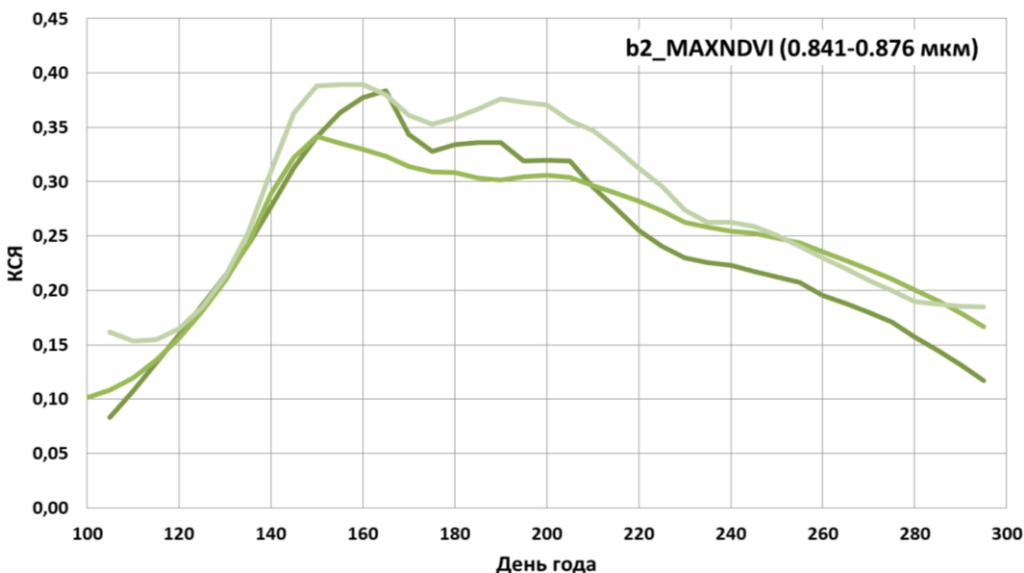
июнь



сентябрь



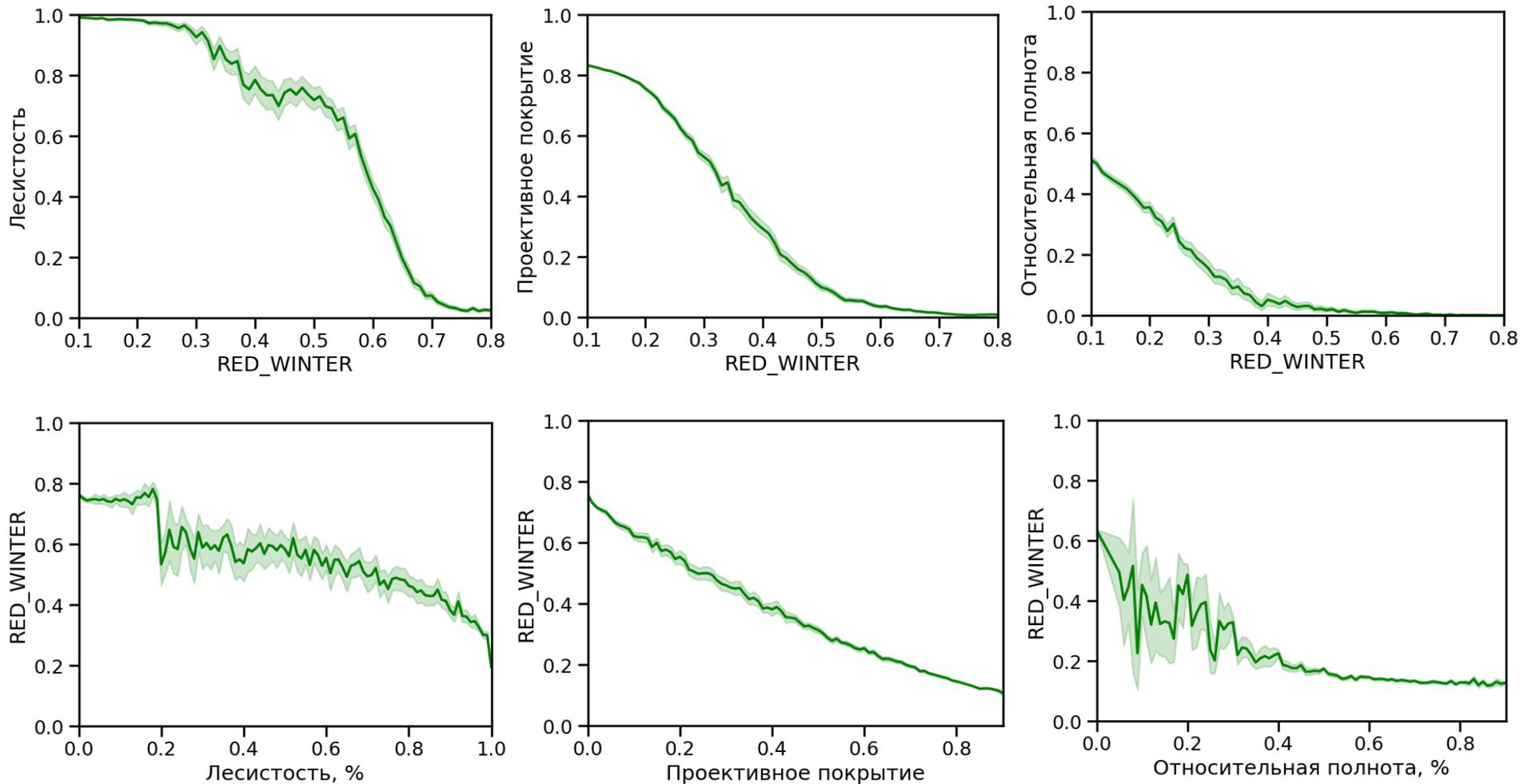
декабрь



— Смешанный лес - сосна — Лиственный лес - береза — Темнохвойный лес

- Изменение в значении показателя = изменение физических свойств наблюдаемого объекта => процесс, происходящий в лесу
- Для проективного покрытия древесного полога характерна сезонная динамика связанная с фенологической динамикой характеристик

Зависимость показателей горизонтальной структуры лесов от КСЯ



Выборка из ~99 тыс. пикселей

Связь между лесистостью, проективным покрытием и сомкнутостью леса

Проективное покрытие древесного полога леса	$TC \stackrel{\text{def}}{=} \frac{\sum_{i=1}^n S_{\text{кр}}^i}{S}$
Лесистость	$L \stackrel{\text{def}}{=} \frac{S_{\text{лес}}}{S}$
Сомкнутость	$fTC \stackrel{\text{def}}{=} \frac{\sum_{i=1}^n (S_{\text{кр}}^i + S_{\text{внтркр}}^i)}{S_{\text{лес}}}$

Взаимосвязь показателей выражается соотношением : $TC = \frac{fTC}{1 + \mu} L$

где $S_{\text{лес}} = S_{\text{межкр}} + \sum_{i=1}^n (S_{\text{кр}}^i + S_{\text{внтркр}}^i)$,

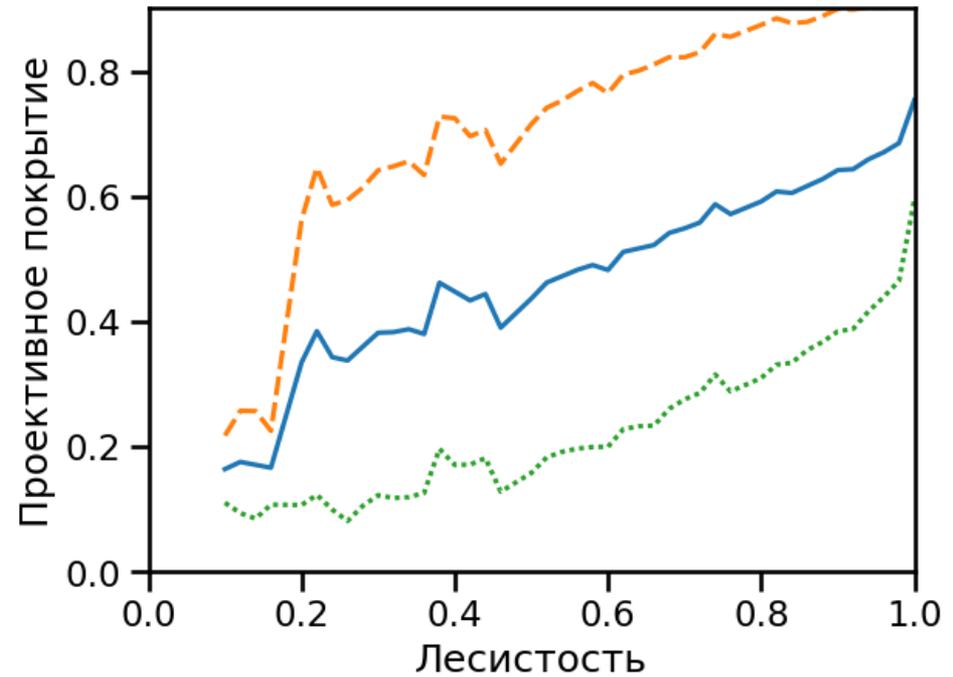
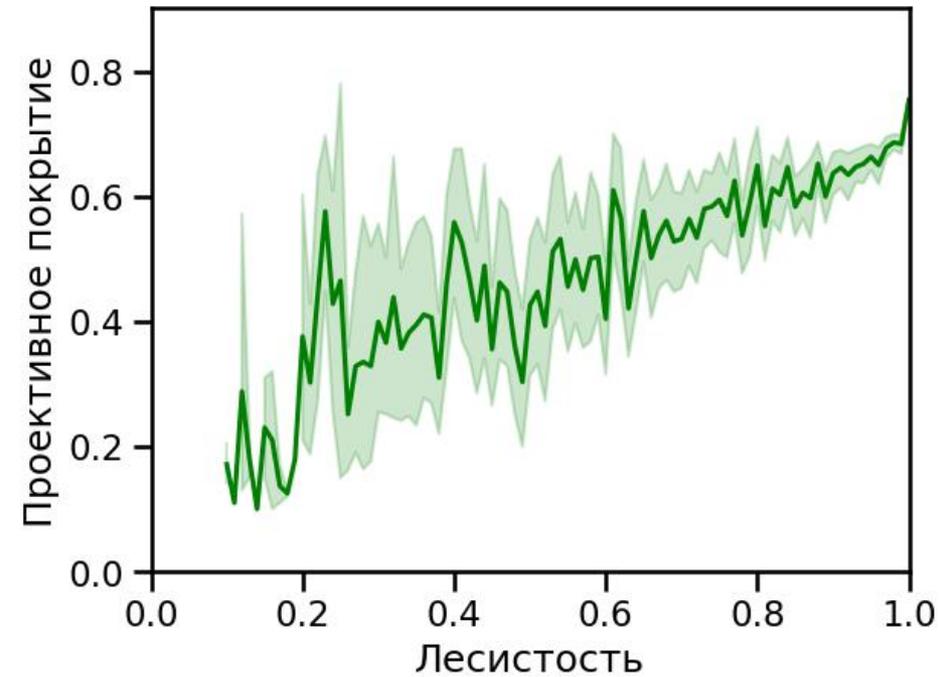
$S_{\text{межкр}}$ – площадь, не покрытая кронами деревьев (без учета просветов внутри крон),

$S_{\text{кр}}^i$ – площадь кроны i -го дерева без просветов внутри кроны,

$S_{\text{внтркр}}^i$ – площадь внутрикрупных просветов для кроны i -го дерева,

μ – величина, характеризующая светопроницаемость кроны для рассматриваемой породы, то есть $S_{\text{внтркр}}^i = \mu S_{\text{кр}}^i$.

Связь между лесистостью и проективным покрытием полога леса



- mean
- - - mean+sd
- ... mean-sd

Связь между относительной полнотой и сомкнутостью

<p>Относительная полнота</p>	$RS \stackrel{\text{def}}{=} \frac{\sum_{i=1}^n \pi d_i^2}{\sum_{j=1}^{n_{rs}^{opt}} \pi d_j^2} = \frac{n}{n_{rs}^{opt}} \left(\frac{\bar{d}}{d_{opt}} \right)^2,$
----------------------------------	---

Характеризует пространственную плотность относительно максимально полного насаждения

Характеризует условия произрастания, породу и возраст

где n_{rs}^{opt} – количество деревьев в нормальном насаждении, d_i – радиус ствола на высоте 1.3 м, \bar{d} – средний радиус ствола на высоте 1.3 м, а d_{opt} – средний радиус ствола нормального насаждения

Примеры локально смоделированных зависимостей между относительной полнотой и сомкнутостью :

для Устьюгском и Мостовском лесничеств Красноярского края*

для тестового участка в Северо-таежном лесном районе европейской части РФ**

Древесная порода	Уравнение связи	η	F	σ	$C_i \leq C \leq C_i$
Сосна	$P = -0,0043 + 2,0028C - 0,7439C^2$	0,838	4,27	0,077	$0,15 \leq C \leq 0,70$
Кедр	$P = 0,1094 + 1,2684C + 0,1218C^2$	0,686	3,47	0,089	$0,15 \leq C \leq 0,70$
Береза	$P = 0,2548 + 0,8554C + 0,1140C^2$	0,892	5,26	0,052	$0,15 \leq C \leq 0,80$

$$P = 0.4106 + 0.5239S_{рд}$$

$$R^2 = 0.35; F = 7, F_{0.05} = 4.96$$

где $S_{рд}$ – дешифровочная сомкнутость полога;

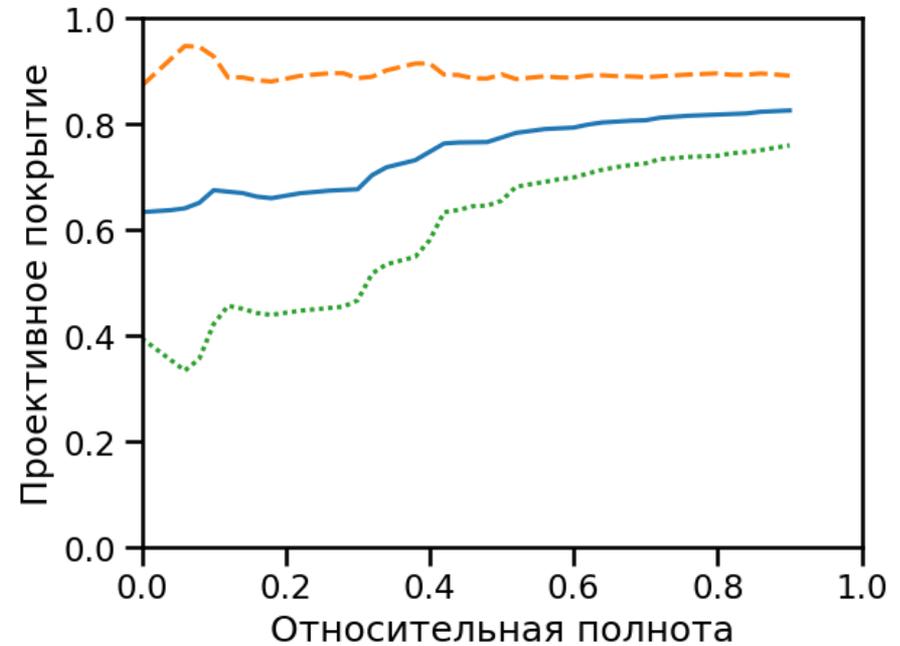
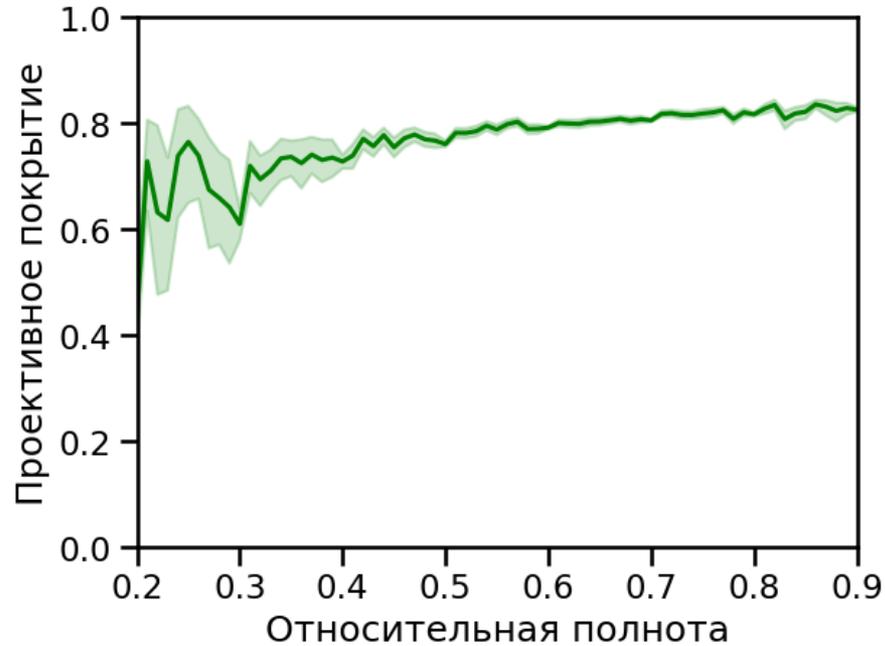
P – относительная полнота древостоя.

Примечание. P – относительная полнота; C – сомкнутость крон; η – множественное корреляционное отношение; F – критерий Фишера; σ – среднеквадратическая ошибка уравнения; $C_i \leq C \leq C_i$ – пределы действия уравнения по сомкнутости.

*Рыльский И.А. Подходы к определению таксационных показателей леса с использованием аэрокосмических показателей леса с использованием аэрокосмических снимков и лазерного сканирования // Материалы Международной конференции «ИнтерКарто. ИнтерГИС». 2018. Т.24 №2. С.216–240.

**Богданов А.П., Алешко Р.А., Ильинцев А.С. Выявление взаимосвязи диаметра крон деревьев с различными таксационными показателями в северо-таежном лесном районе. // Вопросы лесной науки. 2019. Т. 2. №4.

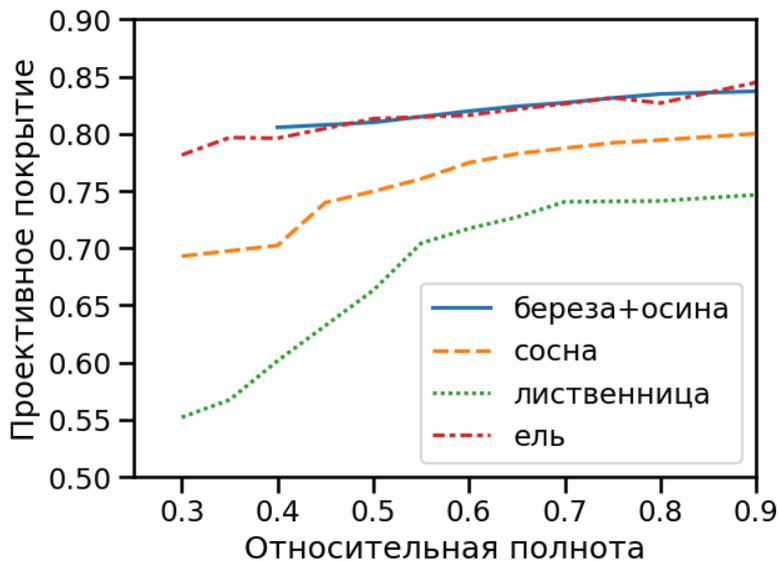
Связь между относительной полнотой и сомкнутостью



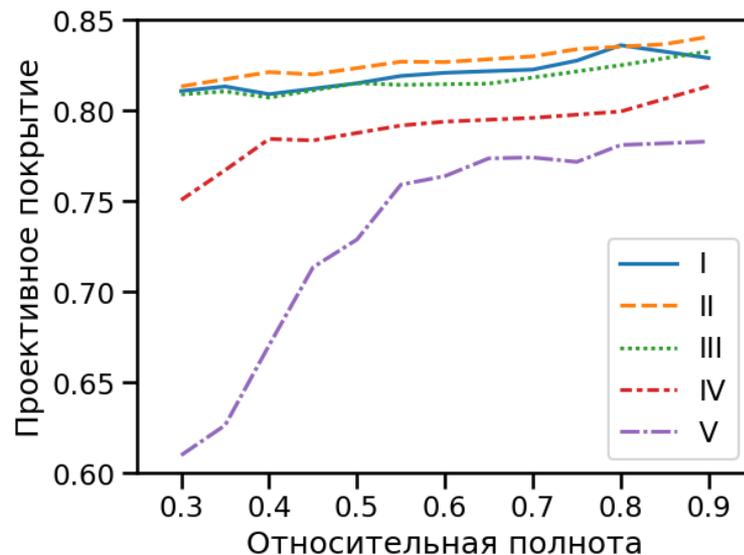
- mean
- - - mean+sd
- ... mean-sd

Влияние других факторов на соотношение между относительной полнотой и сомкнутостью

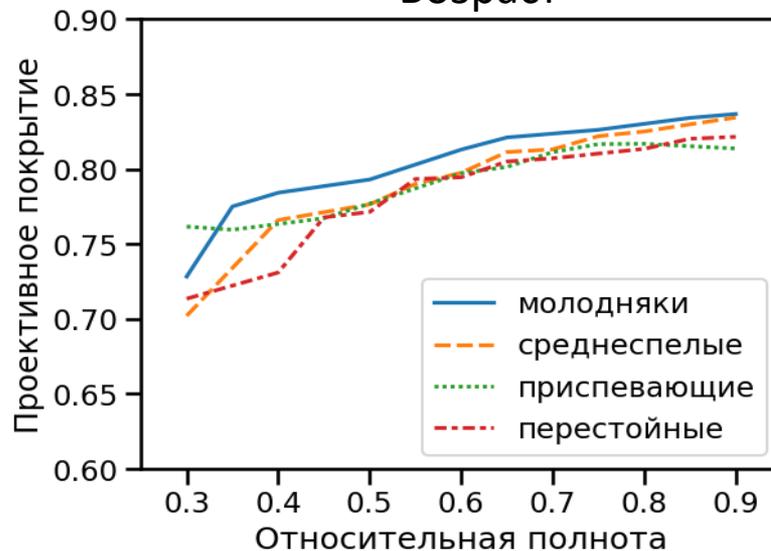
Типа леса



Условия произрастания



Возраст



Методы оценки показателей ГСЛ

1. Эмпирические

Пример: регрессии на основе спектральных каналов или индексов

2. Физические модели

Пример: метод спектральных смесей

Модель на основе NDVI:*

$$NDVI = fNDVI_v + (1 - f)NDVI_{nv},$$

где f – доля растительности в пикселе,

$NDVI_v$ – значение нормализованного разностного индекса растительности,

$NDVI_{nv}$ – значение нормализованного разностного индекса для непокрытых растительностью территорий

3. Методы машинного обучения

- Случайный лес**
- Нейронные сети***

*Gutman G., Ignatov, A. The Derivation of the Green Vegetation Fraction from NOAA/AVHRR Data for Use in Numerical Weather Prediction Models // International Journal of Remote Sensing. 1998. Vol. 19. № 8. pp. 1533–1543.

**Hansen M., DeFries R, Townshend J., Carroll M., Dimiceli C., Sohlberg R. Global percent tree cover at a spatial resolution of 500 meters: first results of the MODIS vegetation continuous fields algorithm // Earth Interact. 2003. Vol. 7. № 10. pp. 1–15.

***Boyd D., Foody G., Ripple W. Evaluation of approaches for forest cover estimation in the Pacific Northwest, USA, using remote sensing // Applied Geography. 2002. Vol. 22. № 4. pp. 375–392

Спасибо за внимание!