



Двадцать вторая международная конференции
«Современные проблемы дистанционного зондирования из космоса»

Москва
2024

Пространственно-временной анализ естественного постпирогенного лесовосстановления на основе мультимасштабных данных ДЗЗ

Петров Олег Григорьевич, студент 1 курса магистерской программы ПДПГ, ФГГТ НИУ ВШЭ
Медведев Андрей Александрович, зав. лаб. ИГ РАН, к.г.н.



12.08.2002 – Landsat 7



08.07.2018 – Landsat 8



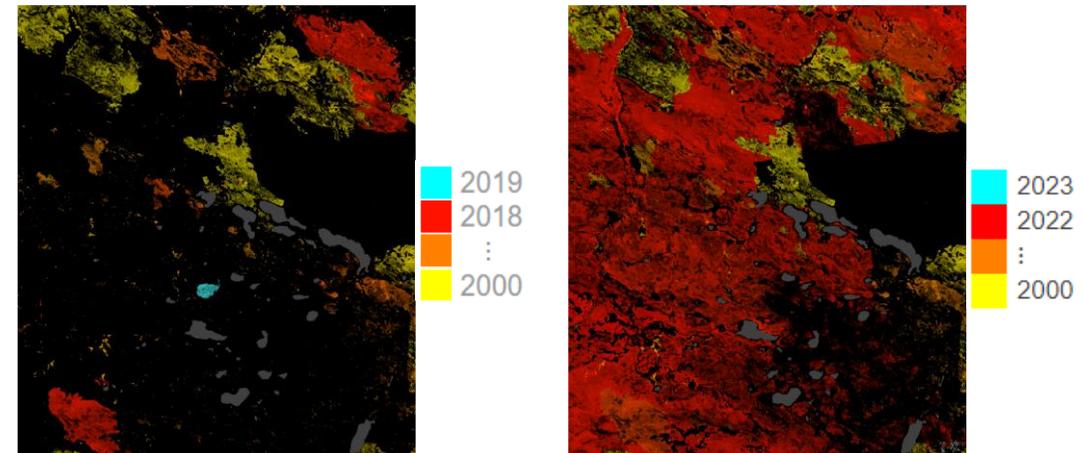
Лесовосстановление после лесных пожаров

Условия перевода категорий лесных земель

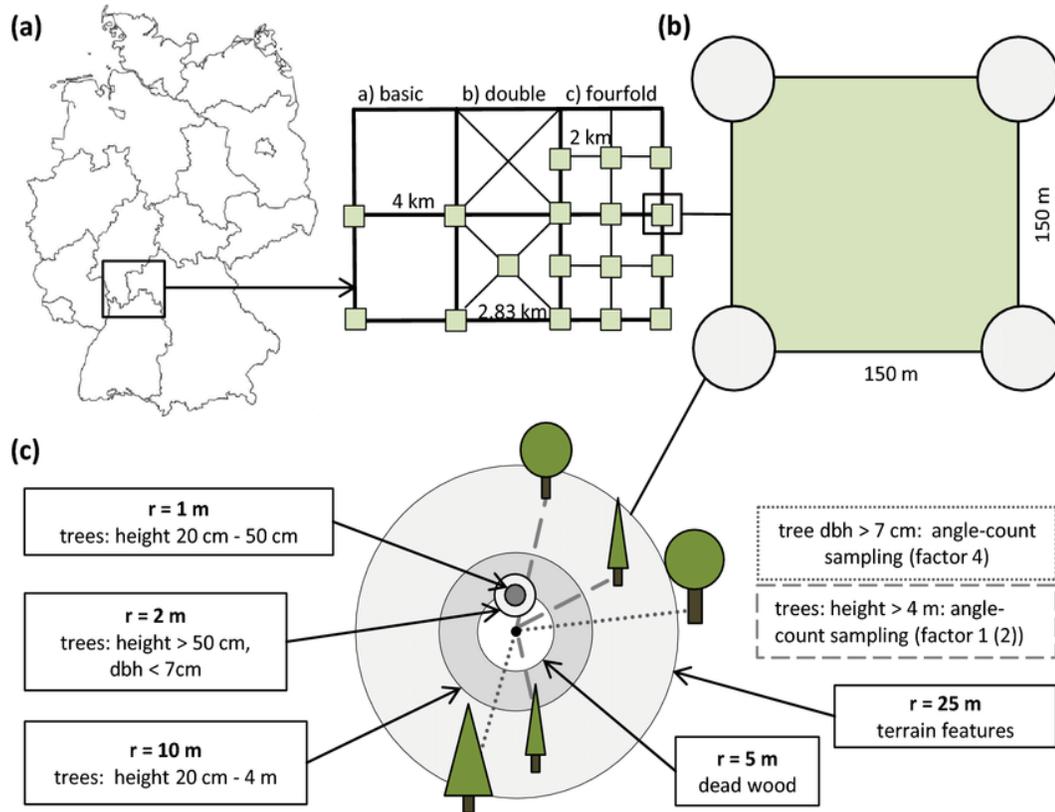
Отнесение лесных земель к гарям	Обратный перевод в категорию земель, занятых лесами
Наличие погибшей древесной растительности вследствие пирогенного воздействия (Лесоустроительная инструкция..., 2022)	Количество подроста и молодняка (Правила лесовосстановления..., 2023 (2021))



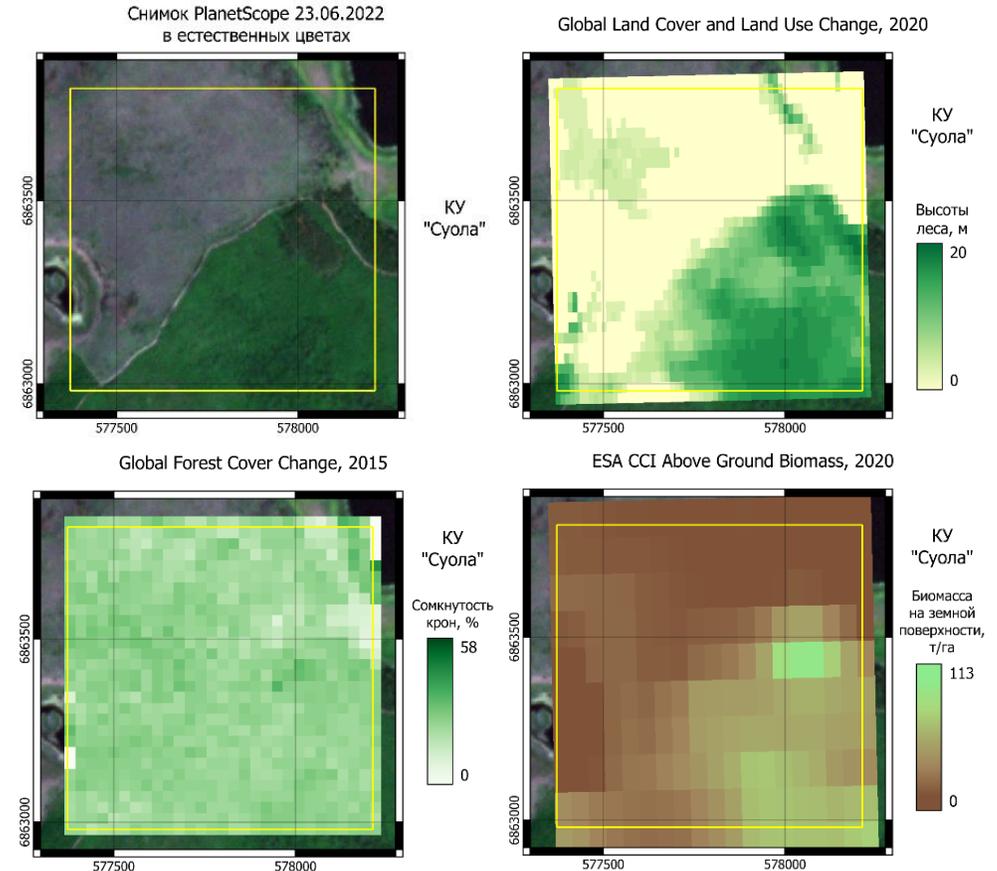
Распределение лесных пожаров по низовым и верховым (Лесной план РС(Я), 2021 (2019))



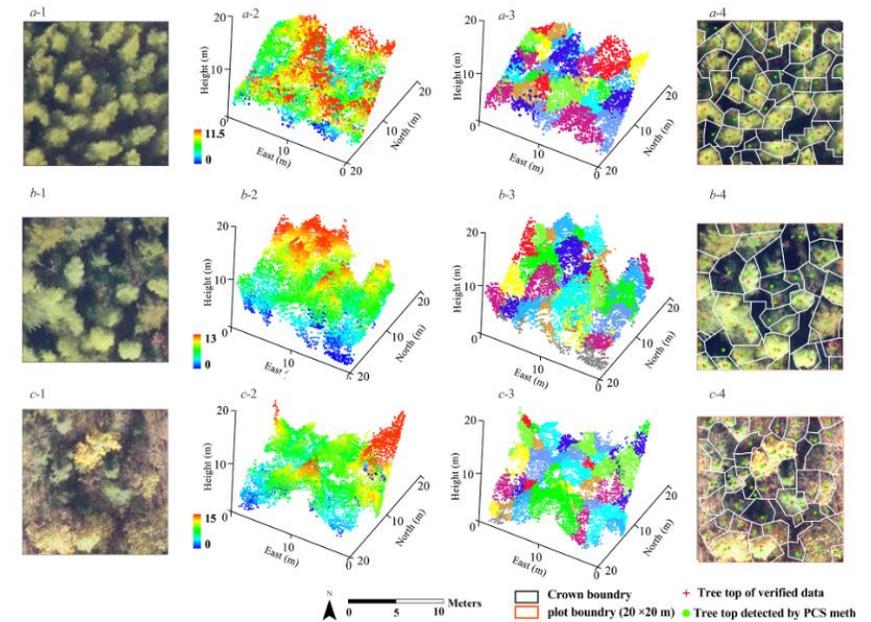
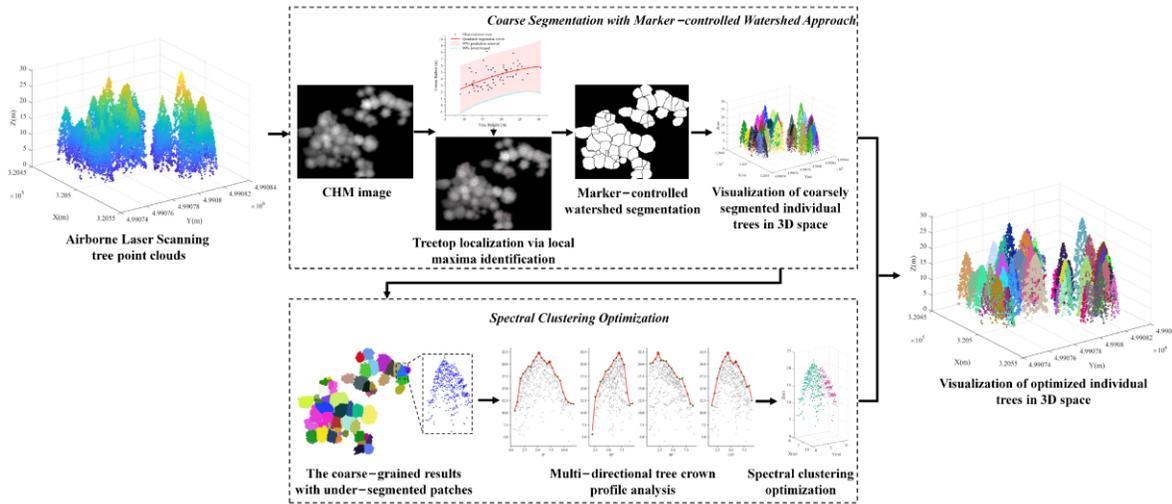
Ограничения набора данных по потерям леса Global Forest Change (Hansen et al., 2013)



Метод пробных площадок на примере национальной инвентаризации лесов Германии (Bindewald et al., 2021)

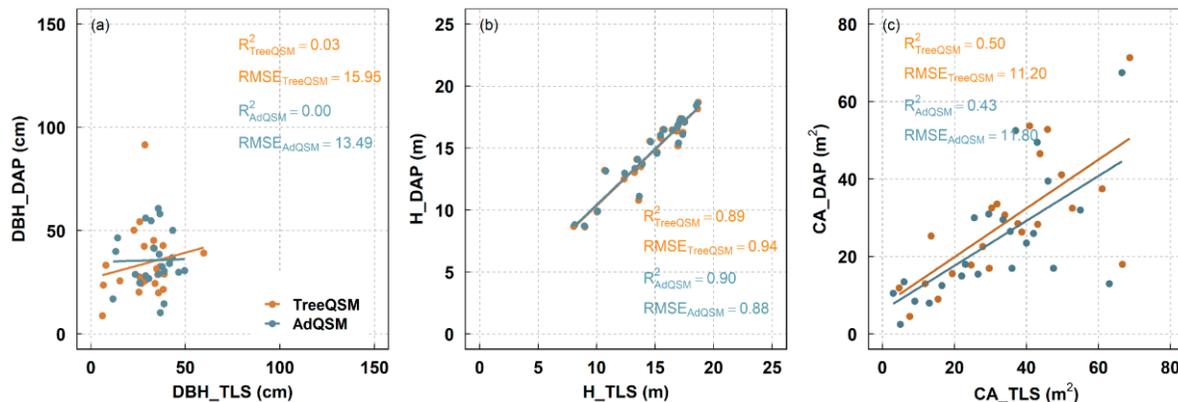


Наборы данных космического мониторинга характеристик леса (Potapov et al., 2022; Sexton et al., 2013; ESA, 2023)



Сегментация деревьев по облакам точек воздушного лазерного сканирования с применением мультиспектральной информации (Liu et al., 2024)

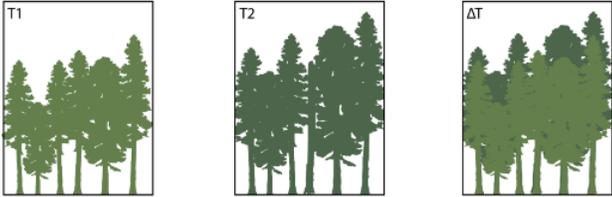
Сегментация деревьев по фотограмметрическим облакам точек лесов (Liu et al., 2021)



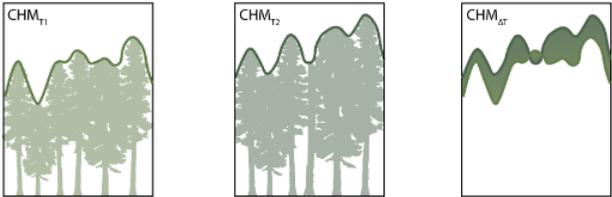
Сравнение характеристик древостоя (DBH – диаметр ствола на уровне груди, H – высота, СА – площадь крон), полученных по фотограмметрическим облакам точек и наземному лазерному сканированию (Gan et al., 2024)

Применение моделей хода роста

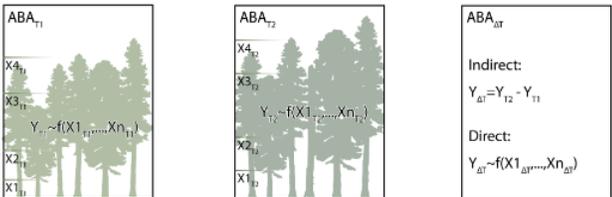
Forest stand at two points in time



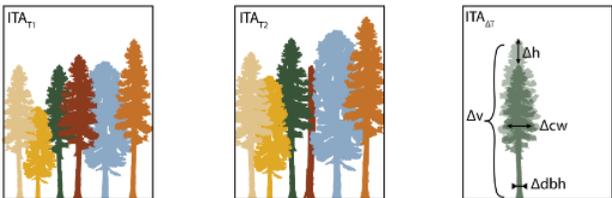
CHM differencing



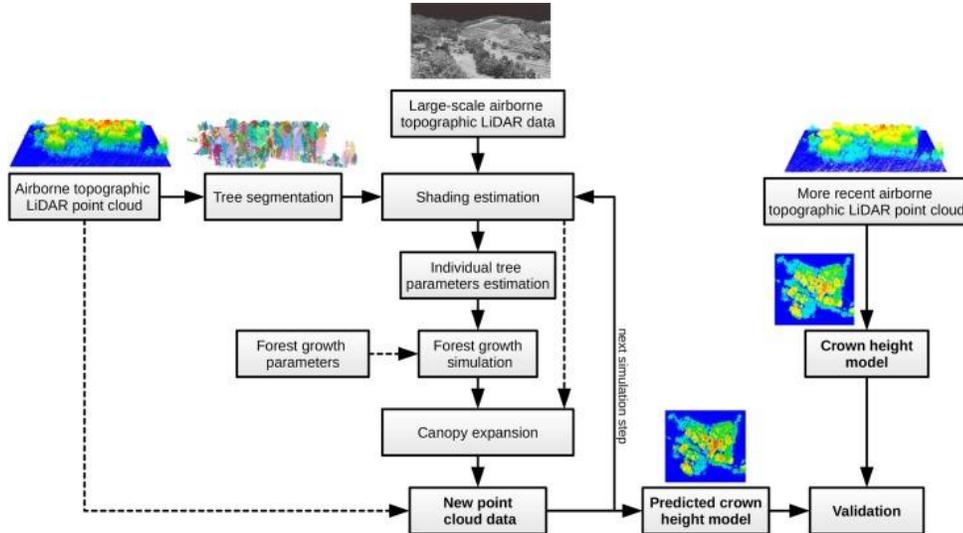
Area-based analysis



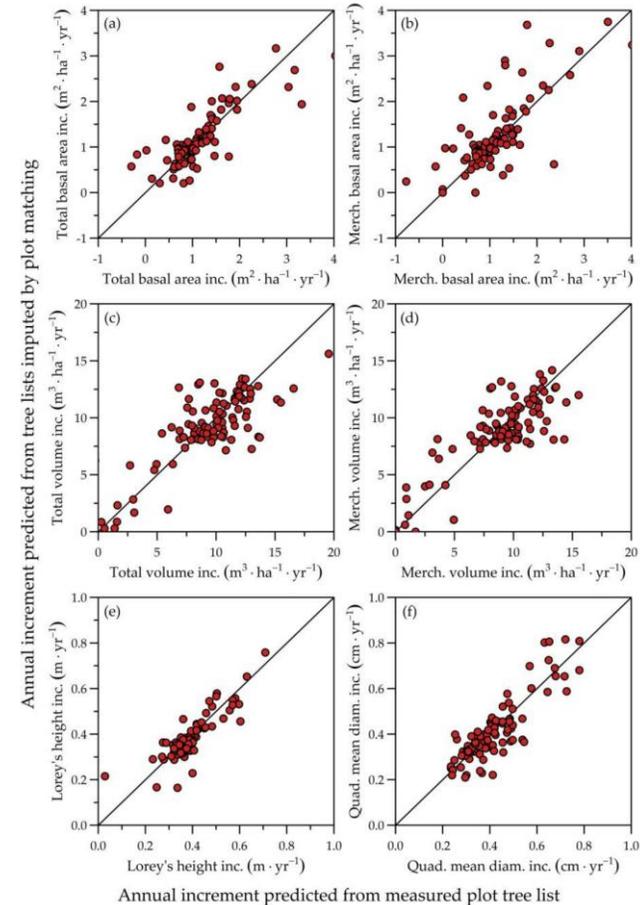
Individual tree-level analysis



Различные методы оценки
изменений таксационных показателей
лесов (Tompalski et al., 2021)



Моделирование хода роста деревьев по
локальным моделям хода роста
(Kohék et al., 2022)



Моделирование хода роста показателей площади
сечения, запаса древесины и усредненной высоты
(англ. Lorey's height) по облакам точек лазерного
сканирования (Lamb et al., 2018)

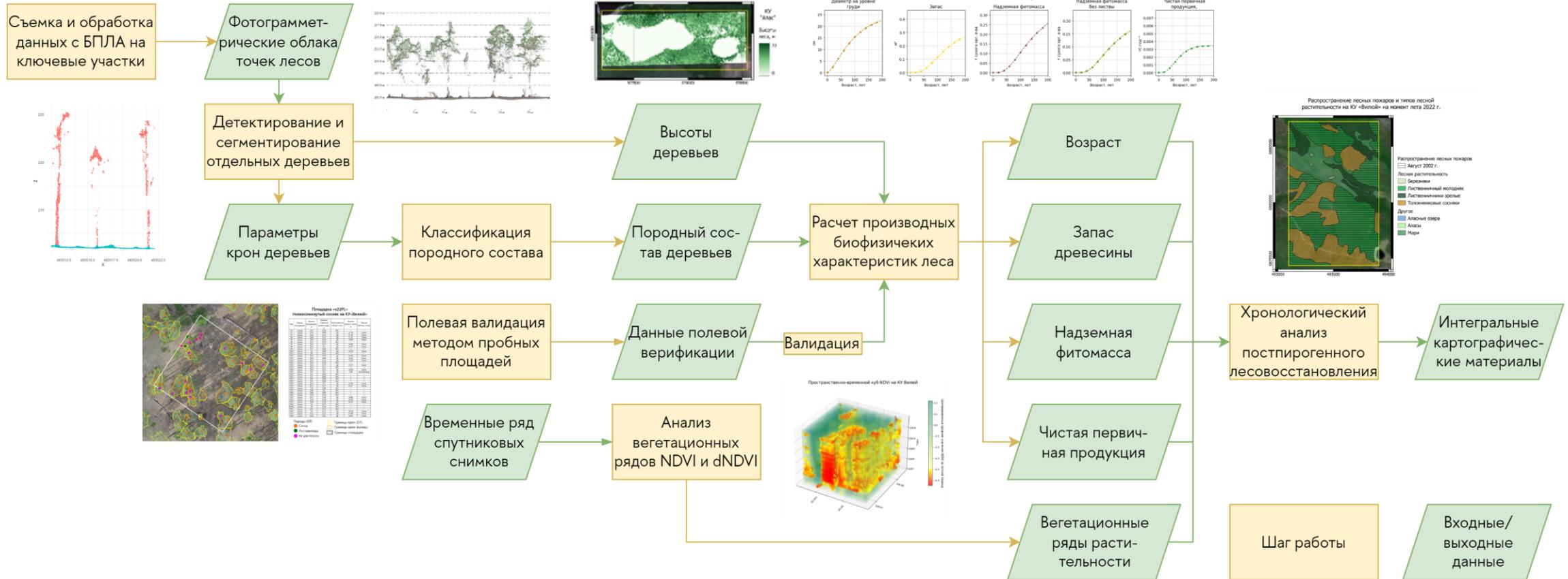


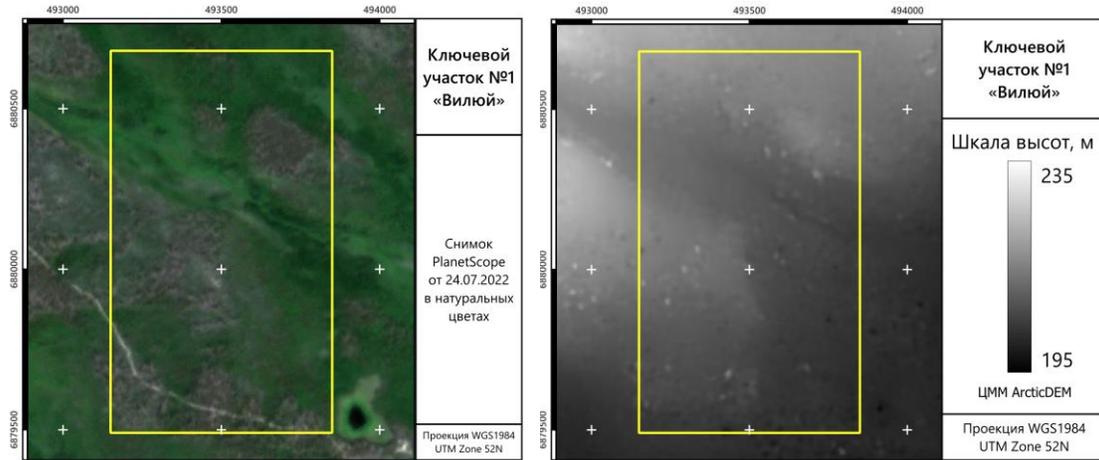
Цель

Пространственно-временной трехмерный анализ постпирогенного лесовосстановления на основе качественных и количественных характеристик лесного покрова участков лесов Центральной Якутии полученных по фотограмметрическим облакам точек и многолетним временным рядам космических снимков

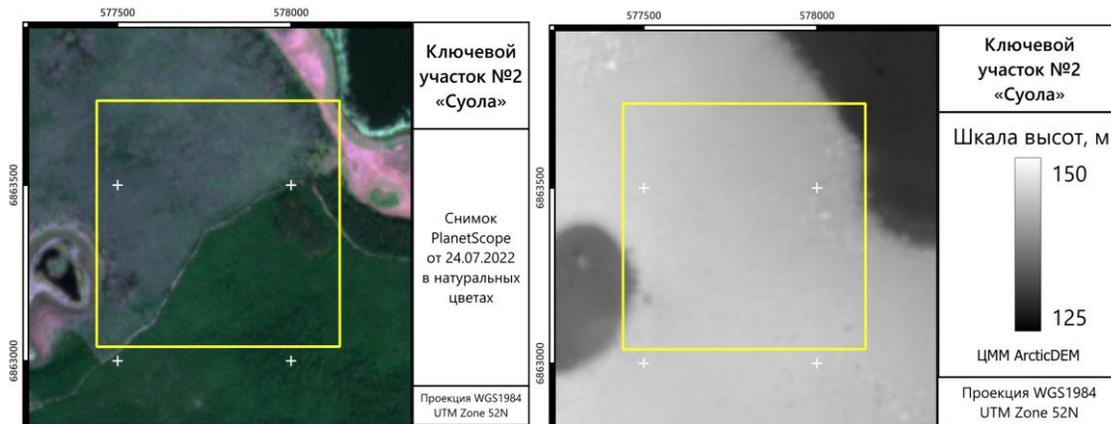
Задачи

- 1 Анализ литературы и обзор методов получения количественных и качественных характеристик леса на основе данных ДЗЗ
- 2 Провести полевую верификацию картометрических продуктов обработки трехмерных облаков точек методом пробных площадей
- 3 Вычислить производные тематические характеристики лесного покрова на основе картометрических продуктов обработки трехмерных фотограмметрических облаков точек на территорию ключевых участков
- 4 Произвести анализ вегетационных рядов растительности на территории ключевых участков по данным длинных мультивременных рядов спутниковых снимков на ключевые участки
- 5 Выполнить мультимасштабный анализ естественного пирогенного лесовосстановления на основе полученных количественных и качественных пространственно-временных характеристик леса

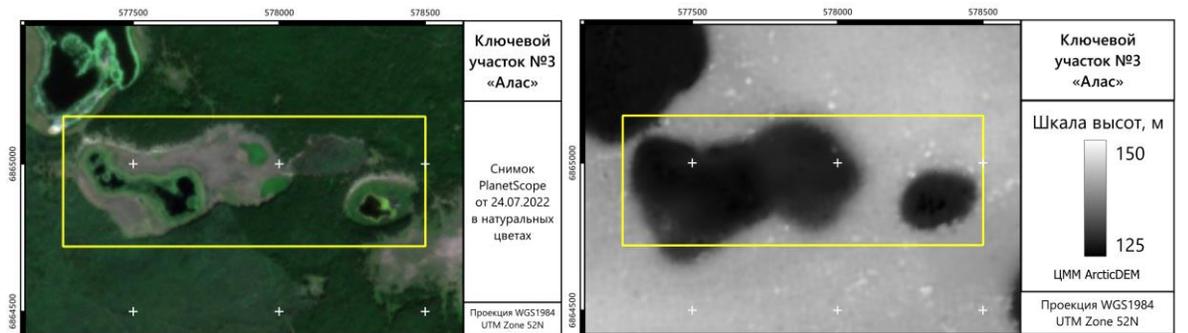




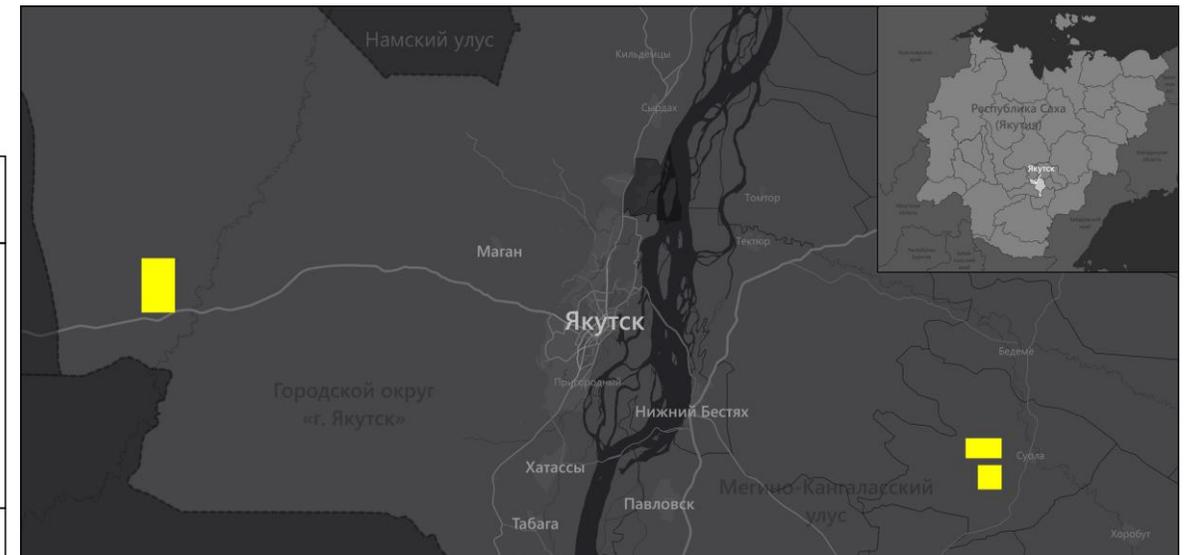
Ключевой участок «Виллюй»



Ключевой участок «Суола»



Ключевой участок «Алас»



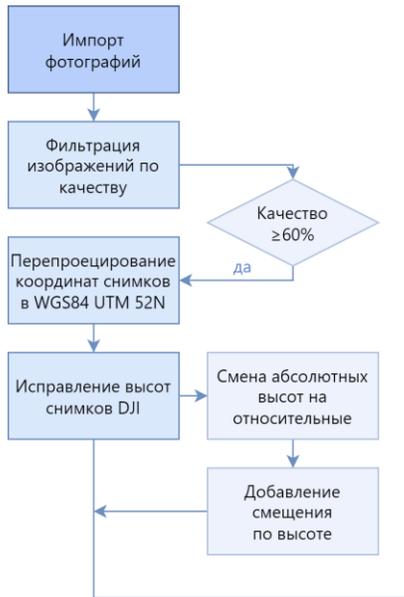
Расположение ключевых участков



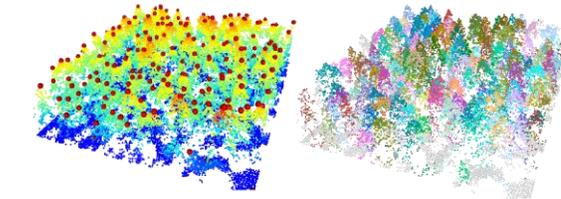
Съемка с БПЛА



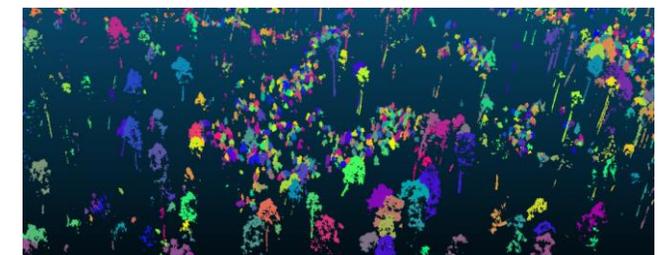
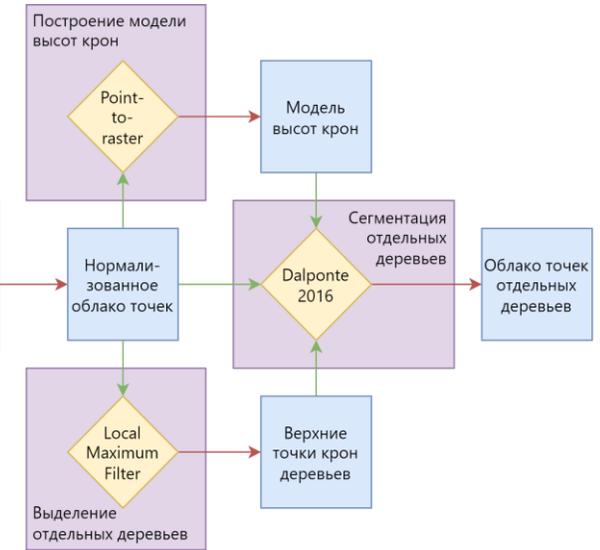
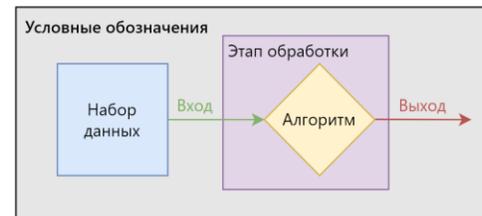
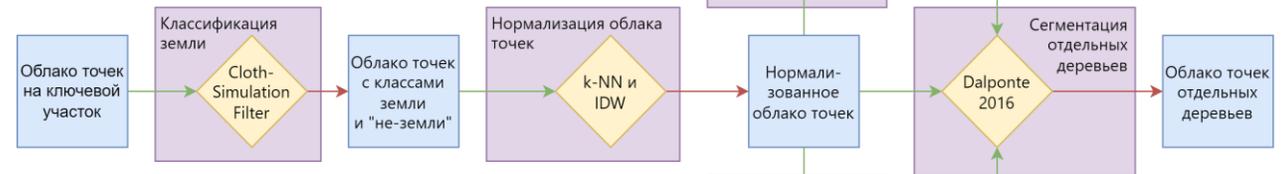
Набор снимков с БПЛА



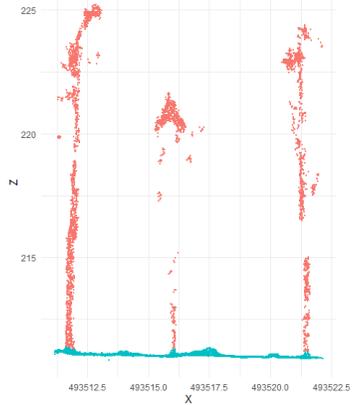
Фотограмметрические облака точек лесов



Детектирование и сегментирование отдельных деревьев (Roussel et. al., 2020)



Сегментированные облака точек леса



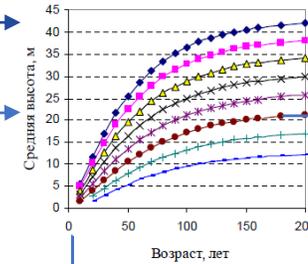
Облака точек отдельных деревьев

- Макс. высота
- Вертикальное распределение
- Распределение в плане (X, Y)
- Площадь кроны
- Яркостный показатель

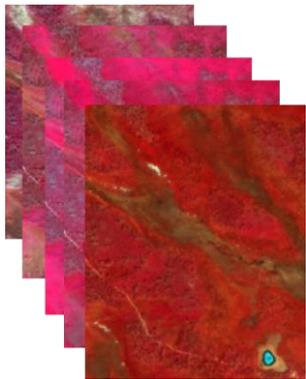
Классификация породного состава (CatBoost) (Prokhorenkova et al., 2019)

Породный состав

Модели хода роста (Shvidenko et al., 2008)



Возраст



Мультивременные ряды космических снимков (1997–2023)

Вычисление индекса NDVI и dNDVI

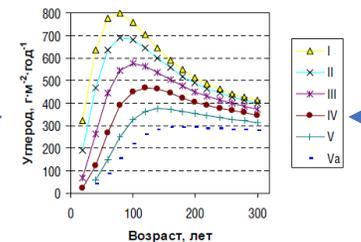
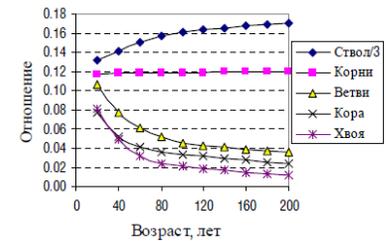
Биофизические параметры

- Диаметр на уровне груди
- Запас древесины

Экологические параметры

- Надземная фитомасса
- Чистая первичная продукция

Модели биологической продуктивности



Использованные модели хода роста и биологической продуктивности

Древесная порода	Номер модели хода роста (Shvidenko et al., 2008)	Модели оценки фитомассы и биологической продуктивности (Shvidenko et al., 2008)
Лиственница	4.2.5. Ход роста модальных лиственничных древостоев Центральной и Северной Якутии (экорегiónы редкостойной, северной и средней тайги)	Лиственничные насаждения в целом
Сосна	2.2.8. Ход роста модальных сосновых древостоев в автоморфных типах леса таежных экорегiónов Сибири	Сосновые насаждения Сибири, северная и средняя тайга
Береза	8.2.1. Ход роста модальных березовых древостоев Сибири (экорегiónы средней и южной тайги)	Березовые насаждения Сибири

Коэффициенты уравнений моделей хода роста и биологической продуктивности

Региональные таблицы хода роста модальных лиственничных древостоев. Коэффициенты уравнений.

Показатель	Коэффициенты									Примечание
	C11	C12	C13	C21	C22	C23	C31	C32	C33	
4.2.5. Ход роста модальных лиственничных древостоев Центральной и Северной Якутии (экорегiónы редкостойной северной и средней тайги)										
H	8.3460E+1	-1.7540E+1	1.1000E+0	-1.6241E-1	6.3109E-2	-5.3778E-3	-1.2415E+1	4.9224E+0	-4.1666E-1	
D	-3.0801E+1	2.5247E+1	-2.6467E+0	8.3196E-2	-2.6698E-2	2.5043E-3	1.7306E+1	-5.9466E+0	5.5628E-1	
BA	1.2472E+1	4.5002E+0	-4.9512E-1	3.3705E-2	-4.4550E-3	8.4600E-4	-9.4132E+0	3.2783E+0	-2.4422E-1	
GS	-1.7749E+2	1.3966E+2	-1.4268E+1	9.1135E-2	-1.8400E-2	1.4890E-3	-3.6887E+1	1.3109E+1	-1.0626E+0	
TV	5.3312E+2	-5.7921E+1	3.0079E-1	4.8839E-2	-6.6856E-3	6.6345E-4	5.3540E+0	-4.0008E-1	2.5920E-2	

$X_i = c_1 [1 - \exp(-c_2 A)]^{c_3}$ Формулы моделей хода роста

$$c_1 = c_{13} SI^2 + c_{12} SI + c_{11}$$

$$c_2 = c_{23} SI^2 + c_{22} SI + c_{21}$$

$$c_3 = c_{33} SI^2 + c_{32} SI + c_{31}$$

Коэффициенты моделей фитомассы

Фракции фитомассы	Коэффициенты					
	C0	C1	C2	C3	C4	C5
Лиственничные насаждения в целом (уравнение 2)						
ствол	3.3870E-1	7.6600E-2	3.6400E-2	-8.2500E-2	-6.0000E-4	5.0800E-2
в т.ч. кора	3.1100E-2	-2.8900E-2	6.1920E-1	3.6000E-3	-4.0000E-4	-1.4440E-1
ветви	5.1970E-1	-9.1320E-1	7.9810E-1	-2.4850E-1	5.1000E-3	-3.4370E-1
хвоя	8.1200E-2	-9.5760E-1	7.6980E-1	-5.7580E-1	4.3000E-3	5.3050E-1
корни	4.5000E-2	-2.1490E-1	8.3420E-1	-6.6640E-1	9.0000E-4	4.9610E-1

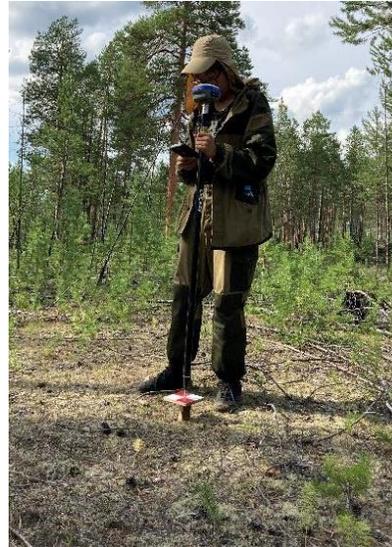
$$R_{fr} = \frac{M_{fr}}{GS} = C_0 \cdot SI^{C_1} \cdot A^{(C_2 + C_3 \cdot RS + C_4 \cdot RS^2)}$$

$$R_{fr} = \frac{M_{fr}}{GS} = C_0 \cdot A^{C_1} \cdot SI^{C_2} \cdot RS^{C_3} \cdot EXP(C_4 \cdot A + C_5 \cdot RS)$$

Формулы моделей биологической продуктивности



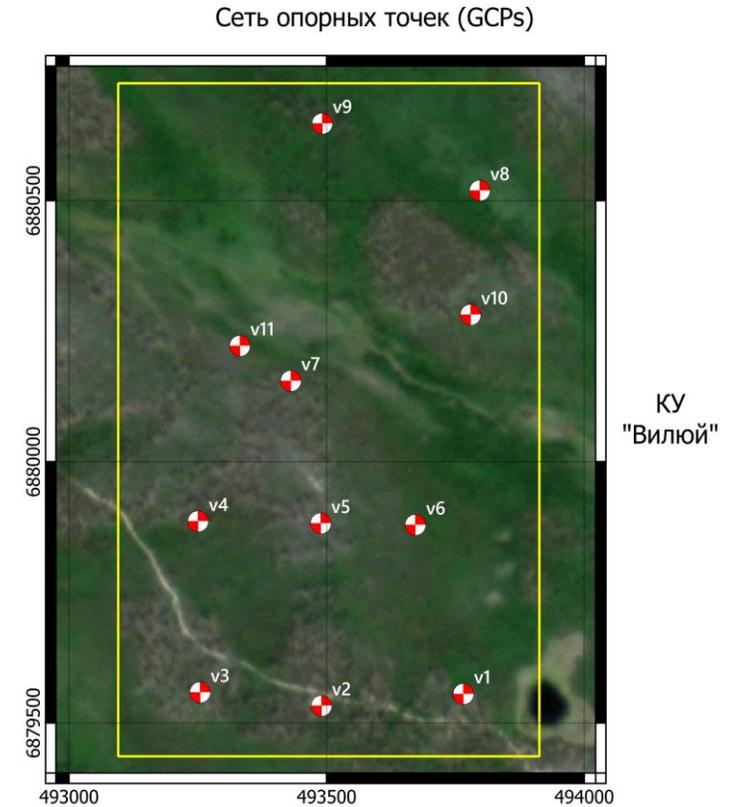
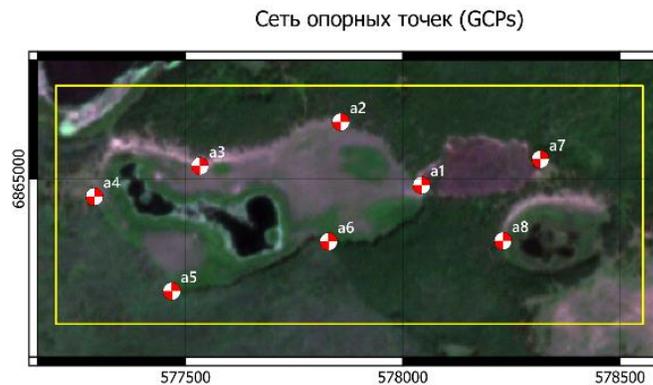
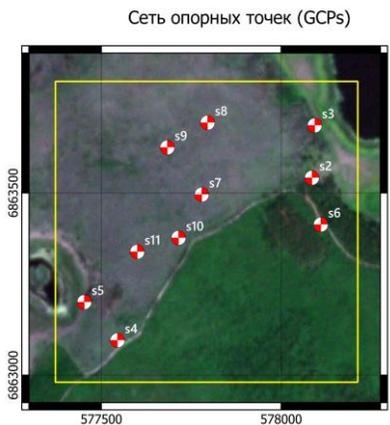
Сеть опорных точек



Установка сети
опорных точек



Проверка сети
опорных точек





Верификация высот деревьев на
ключевом участке «Виллюй»



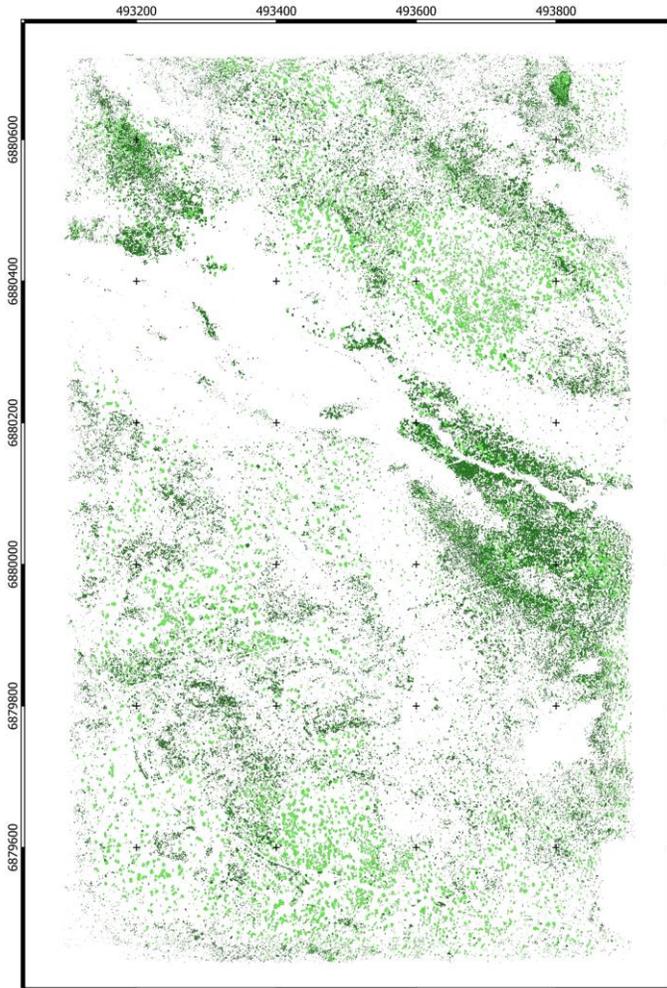
Верификация высот деревьев на
ключевом участке «Суола»



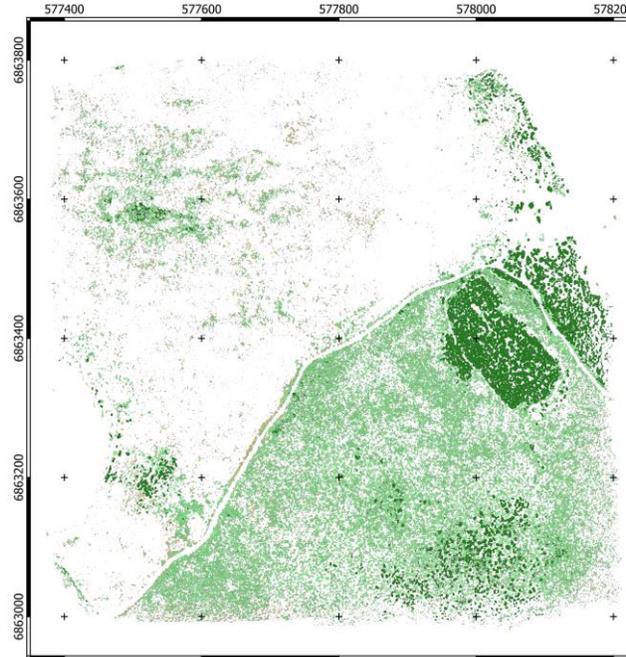
Границы пробных площадок



Лазерный дальномер



КУ «Вилюй»

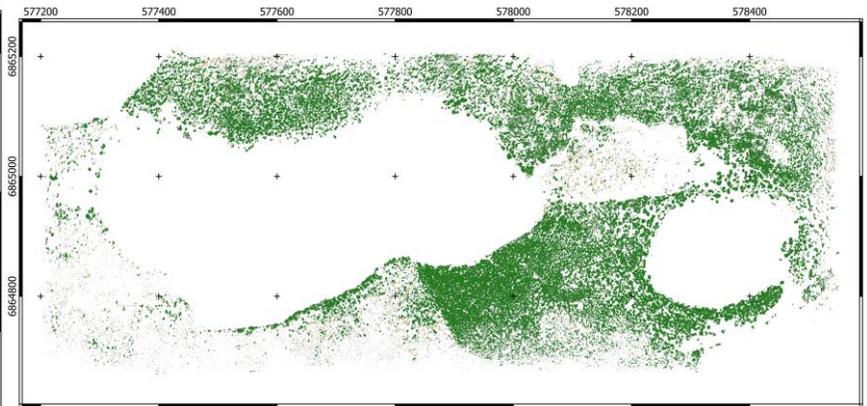


КУ «Суола»

- Сосна
- Лиственница
- Береза

Метрики качества
классификации КУ «Вилюй»

	Точность (Precision)	Полнота (Recall)	Оценка F1 (F1 Score)	Количество объектов
Сосна	0.31	0.76	0.44	154
Листв.	0.68	0.55	0.61	567
Береза	0	0	0	115
Общ. точность (accuracy)			0.52	836



КУ «Алас»

- Лиственница
- Береза
- Гарь

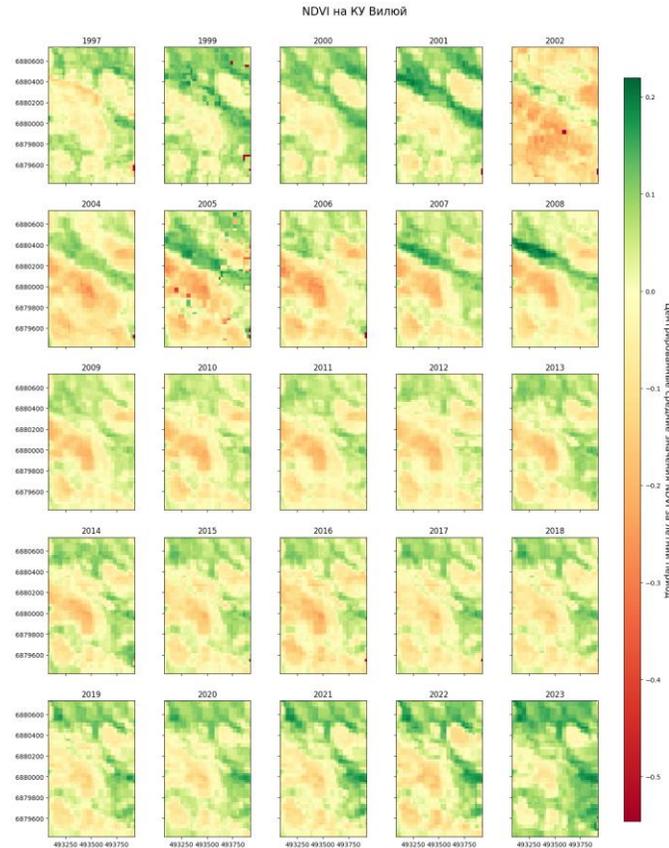
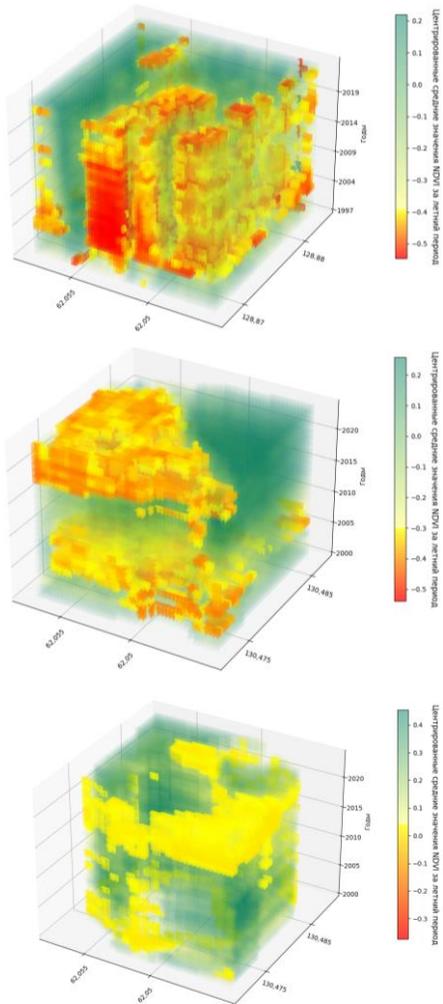
Метрики качества классификации КУ «Суола»

	Точность (Precision)	Полнота (Recall)	Оценка F1 (F1 Score)	Количество объектов
Листв.	0.90	0.97	0.94	358
Сосна	0.99	0.82	0.90	2561
Сухостой	0.40	0.91	0.56	318
Общ. точность (accuracy)			0.85	3237

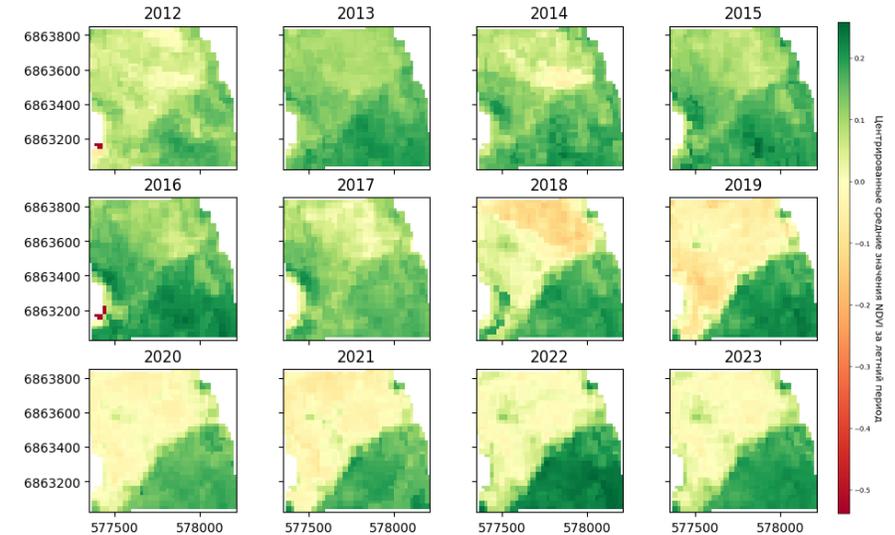
Метрики качества классификации КУ «Алас»

	Точность (Precision)	Полнота (Recall)	Оценка F1 (F1 Score)	Количество объектов
Лиственница	0.96	0.9	0.93	1331
Сухостой	0.62	0.82	0.71	257
Общ. точность (accuracy)			0.89	1588

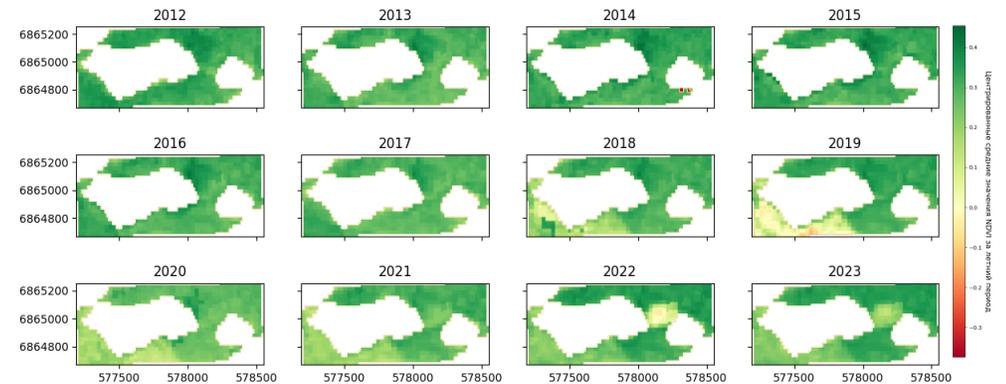
Landsat 4-5, 7, 8-9 (30 м) – Landsat Analysis Ready Data (GLAD ARD) (Hansen et al., 2020)



Ряды NDVI на КУ «Вилую»



Ряды NDVI на КУ «Суола» (2012–2023)



Ряды NDVI на КУ «Алас» (2012–2023)

Пространственно-временные кубы NDVI («Вилую», «Суола» и «Алас»)

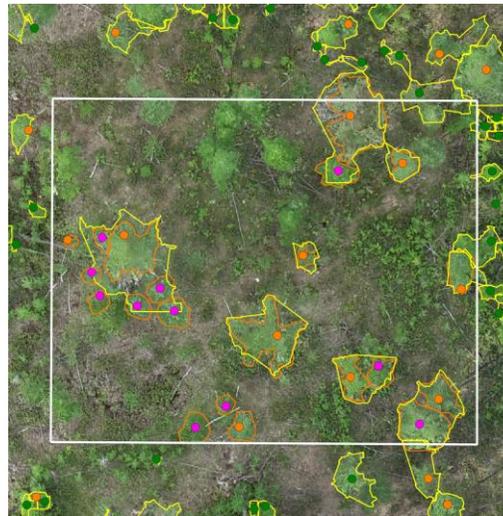


Площадка «v22PL»
Низкосомкнутый сосняк на КУ«Виллой»

Код	Порода (валидация)	Высота (валидация), м	Диаметр ствола на уровне груди, м	Расположено на облатке точек	Высота (облатка точек), м	Порода (облатка точек)
R1	Сосна	13.7	0.19	Нет	—	—
R2	Сосна	11.4	0.09	Да	12.76	Сосна
R3	Сосна	12.4	0.15	Да	11.93	Сосна
R4	Сосна	10.6	0.15	Да	11.51	Сосна
R5	Сосна	13.9	0.26	Да	13.89	Сосна
R6	Сосна	11.1	0.19	Нет	—	—
R7	Сосна	14.2	0.21	Да	14.44	Сосна
R8	Сосна	12.6	0.2	Да	12.47	Сосна
R9	Сосна	9.7	0.04	Нет	—	—
R10	Сосна	12	0.09	Да	12.34	Сосна
R11	Сосна	10	0.12	Нет	—	—
R12	Сосна	11.5	0.19	Да	12.45	Сосна
R13	Сосна	12.8	0.09	Нет	—	—
R14	Сосна	12.3	0.19	Да	12.50	Сосна
R15	Сосна	12.6	0.19	Нет	—	—
R16	Сосна	12.5	0.17	Да	12.97	Сосна
R17	Сосна	11.9	0.17	Нет	—	—
R18	Сосна	10.5	0.15	Нет	10.45	Сосна
R19	Сосна	6.6	0.1	Да	2.99	Лиственница
R20	Сосна	2.6	0.03	Нет	—	—
R21	Сосна	2.1	0.02	Нет	—	—
R22	Сосна	17.4	0.2	Нет	—	—
R23	Сосна	4.2	0.04	Нет	—	—
R24	Сосна	12.4	0.2	Нет	12.68	Сосна
R25	Сосна	13.3	0.17	Нет	13.27	Сосна
R26	Сосна	14.8	0.09	Нет	—	—
R27	Сосна	14.8	0.2	Нет	—	—
R28	Сосна	10.4	0.05	Нет	—	—
R29	Сосна	12.1	0.1	Нет	—	—
R30	Сосна	14.7	0.14	Да	14.86	Сосна
R31	Сосна	11.9	0.24	Нет	12.95	Сосна
R32	Сосна	13.8	0.19	Да	14.11	Сосна
R33	Сосна	7.1	0.17	Нет	—	—
R34	Сосна	10	0.16	Нет	—	—
R35	Сосна	8.4	0.13	Нет	—	—
R36	Сосна	14	0.17	Да	14.19	Сосна
R37	Сосна	10.1	0.17	Да	12.48	Сосна
R38	Сосна	11.8	0.16	Да	14.64	Сосна

Породы (OT)
● Сосна
● Лиственница
● Не распознан

Границы крон (OT)
 Границы крон (валид.)
 Границы площадки

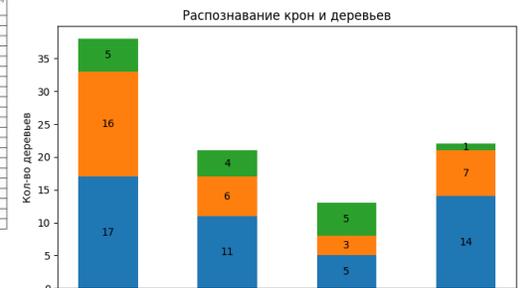


Площадка «v22MM»
Среднесомкнутый смешанный лес на КУ«Виллой»

Код	Порода (валидация)	Высота (валидация), м	Диаметр ствола на уровне груди, м	Расположено на облатке точек	Высота (облатка точек), м	Порода (облатка точек)
R1	Сосна	6.5	0.09	Да	3.54	Сосна
R2	Сосна	12.9	0.26	Да	13.58	Сосна
R3	Сосна	6.2	0.11	Нет	—	—
R4	Сосна	8.3	0.13	Нет	—	—
R5	Сосна	16.5	0.12	Нет	—	—
R6	Сосна	10	0.09	Да	9.74	Сосна
R7	Сосна	7.8	0.09	Нет	—	—
R8	Сосна	7.7	0.09	Нет	—	—
L1	Лиственница	11.8	0.24	Нет	—	—
L2	Лиственница	13.8	0.2	Да	13.27	Сосна
L3	Лиственница	14.7	0.21	Да	14.84	Сосна
L4	Лиственница	10.9	0.16	Нет	—	—
L5	Лиственница	16.3	0.3	Нет	16.85	Сосна
L6	Лиственница	6.5	0.11	Нет	—	—
L7	Лиственница	17.2	0.3	Да	16.75	Сосна
L8	Лиственница	12.6	0.22	Да	12.53	Сосна
L9	Лиственница	10.1	0.15	Да	9.519	Сосна
B1	Береза	5.7	0.04	Нет	—	—
B2	Береза	4	0.02	Нет	—	—
B3	Береза	7.5	0.11	Нет	—	—
B4	Береза	4.5	0.08	Да	3.93	Сосна

Породы (OT)
● Сосна
● Лиственница
● Не распознан

Границы крон (OT)
 Границы крон (валид.)
 Границы площадки



Площадка «v22ML»
Низкосомкнутый смешанный лес на КУ«Виллой»

Код	Порода (валидация)	Высота (валидация), м	Диаметр ствола на уровне груди, м	Расположено на облатке точек	Высота (облатка точек), м	Порода (облатка точек)
R1	Сосна	15.8	0.3	Да	16.58	Сосна
R2	Сосна	13.3	0.25	Да	13.79	Сосна
R3	Сосна	13.5	0.28	Да	13.81	Сосна
R4	Сосна	3	0.02	Нет	—	—
R5	Сосна	3.5	0.03	Нет	—	—
R6	Сосна	13.9	0.24	Да	14.11	Лиственница
L1	Лиственница	9.5	0.12	Нет	—	—
L2	Лиственница	9	0.11	Да	8.01	Сосна
L3	Лиственница	11.5	0.115	Да	9.81	Сосна
L4	Лиственница	10.7	0.23	Да	11.24	Лиственница
L5	Лиственница	5.5	0.04	Да	4.84	Лиственница
L6	Лиственница	6	0.04	Нет	—	—
L7	Лиственница	3.9	0.03	Нет	—	—
L8	Лиственница	12.6	0.224	Да	12.53	Сосна
L9	Лиственница	10.3	0.15	Да	9.52	Сосна
B1	Береза	5.7	0.04	Нет	—	—
B2	Береза	4	0.02	Нет	—	—
B3	Береза	7.5	0.11	Нет	—	—
B4	Береза	4.5	0.08	Да	3.93	Сосна

Породы (OT)
● Сосна
● Лиственница
● Не распознан

Границы крон (OT)
 Границы крон (валид.)
 Границы площадки

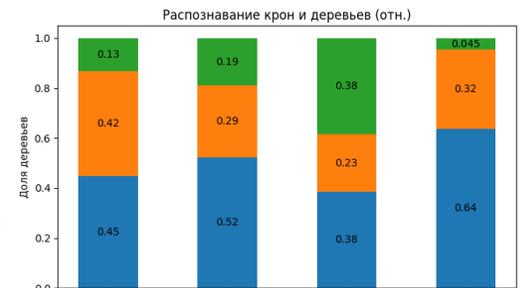


Площадка «s22LL»
Низкосомкнутый лиственничник на КУ«Суола»

Код	Порода (валидация)	Высота (валидация), м	Диаметр ствола на уровне груди, м	Расположено на облатке точек	Высота (облатка точек), м	Порода (облатка точек)
L1	Лиственница	14.5	0.29	Нет	—	—
L2	Лиственница	10.5	0.12	Нет	10.17	Лиственница
L3	Лиственница	8.9	0.12	Нет	—	—
L4	Лиственница	10.4	0.13	Да	12.16	Лиственница
L5	Лиственница	10.3	0.13	Нет	—	—
L6	Лиственница	10.4	0.13	Нет	—	—
L7	Лиственница	11	0.05	Да	3.98	Береза
L8	Лиственница	1.6	0.03	Нет	—	—
L9	Лиственница	3.8	0.07	Да	4.05	Береза
L10	Лиственница	9.5	0.16	Нет	8.85	Лиственница
L11	Лиственница	3.4	0.05	Нет	—	—
L12	Лиственница	4.4	0.07	Нет	—	—
L13	Лиственница	7.4	0.09	Нет	—	—
L14	Лиственница	10.4	0.13	Нет	—	—
L15	Лиственница	8	0.09	Да	7.27	Береза
L16	Лиственница	8	0.07	Нет	—	—
L17	Лиственница	6	0.07	Да	6.09	Береза
L18	Лиственница	3.5	0.05	Нет	—	—
L19	Лиственница	3.6	0.06	Нет	—	—
L20	Лиственница	4.5	0.07	Нет	—	—
L21	Лиственница	3.7	0.06	Да	4.85	Береза
L22	Лиственница	6.7	0.08	Нет	—	—

Породы (OT)
● Сосна
● Лиственница
● Береза
● Не распознан

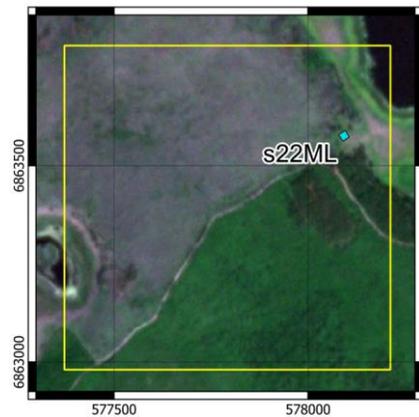
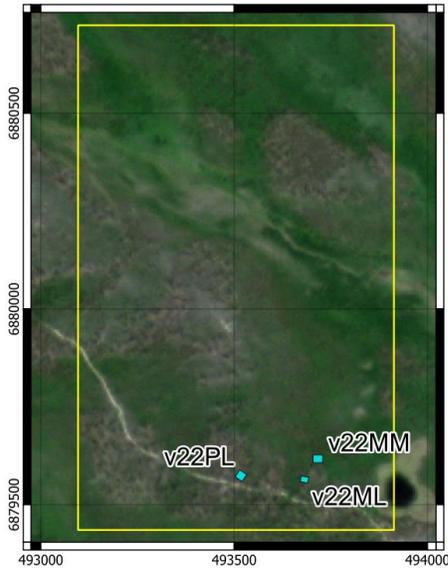
Границы крон (OT)
 Границы крон (валид.)
 Границы площадки



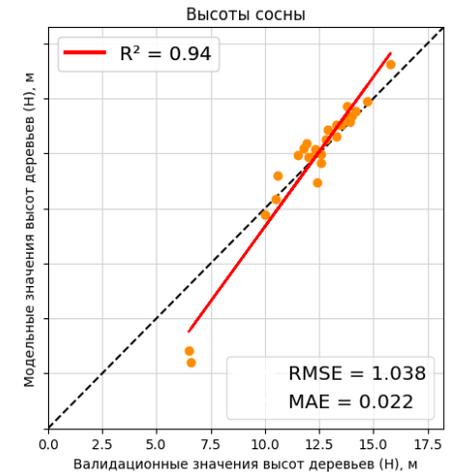
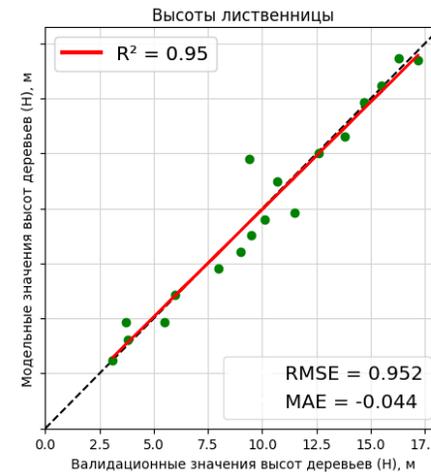
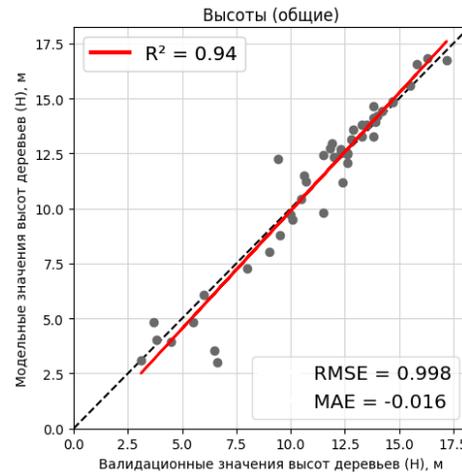
■ Распознаны в т.ч. кроны
■ Распознаны только деревья
■ Не распознаны



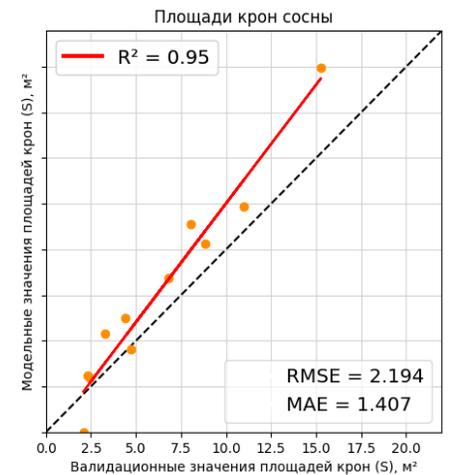
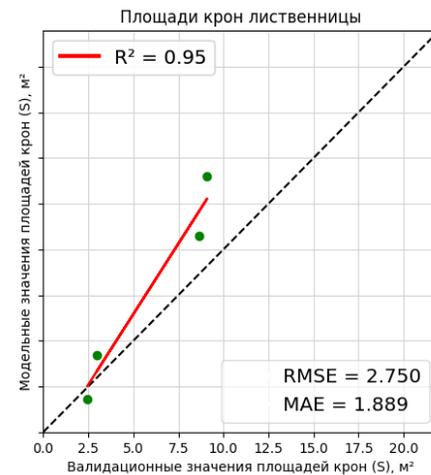
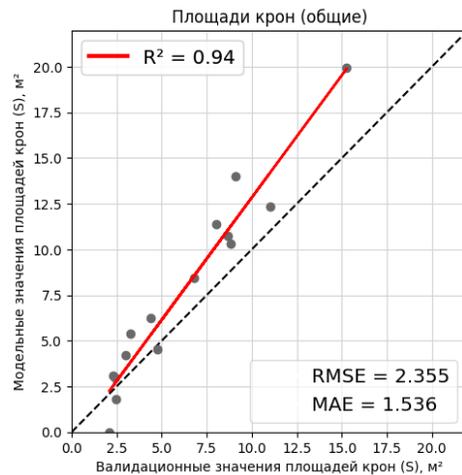
Верификация структурных параметров древостоя по полевым данным



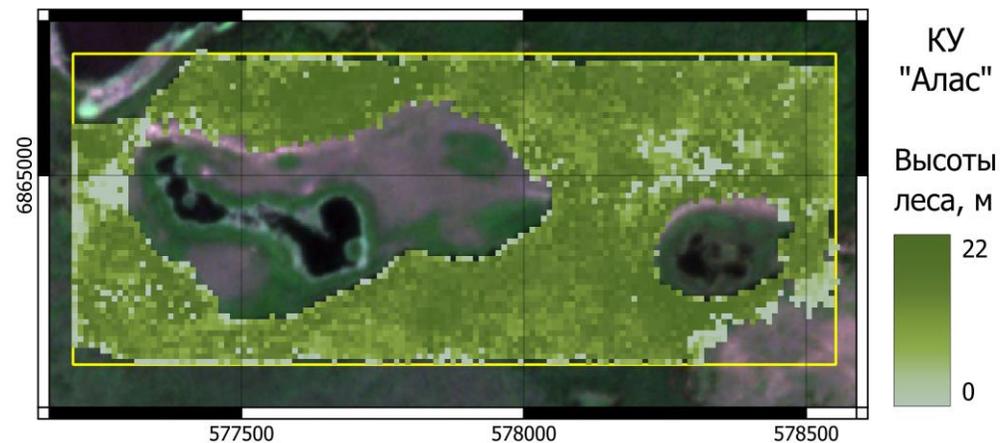
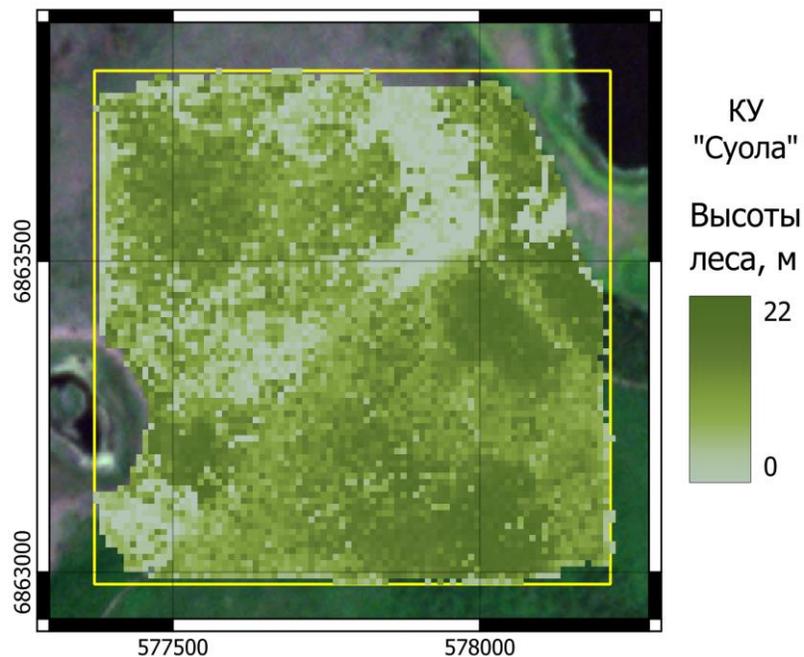
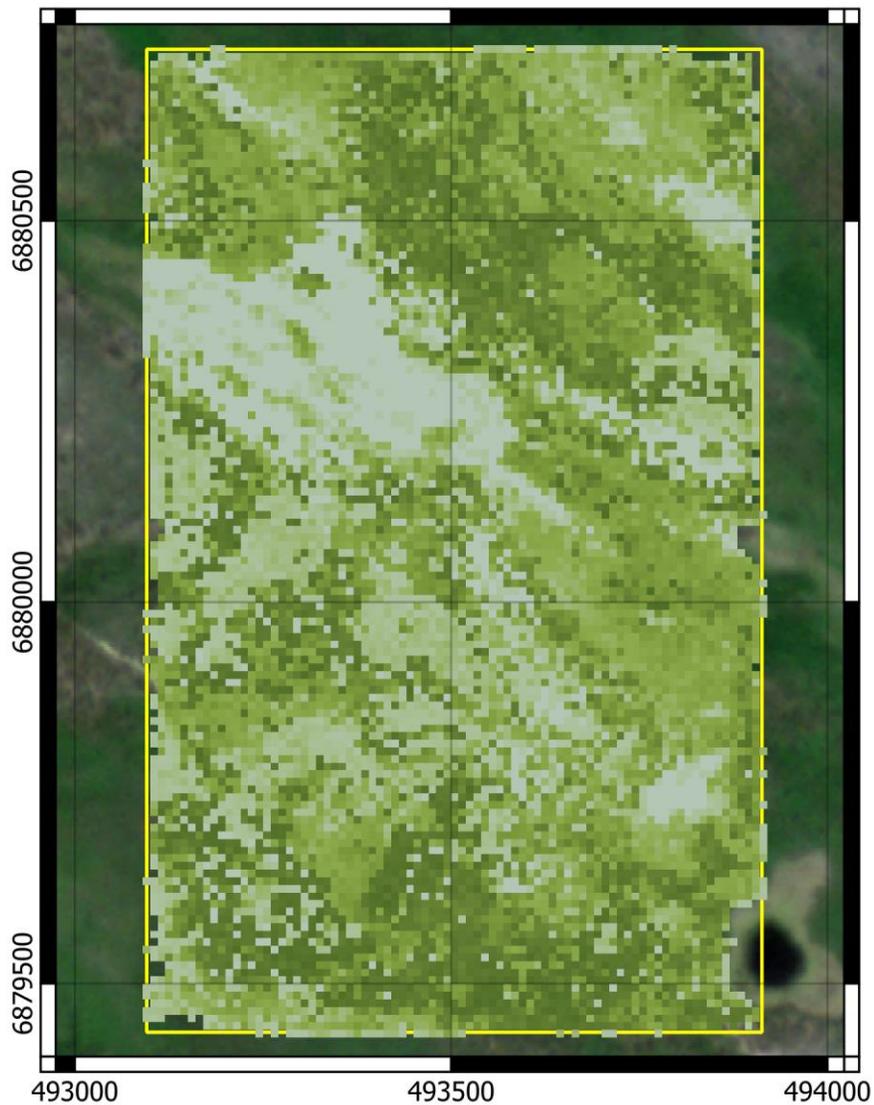
Пробные площадки (КУ «Вилюй» и «Суола»)



Сравнение высот деревьев с полевыми данными

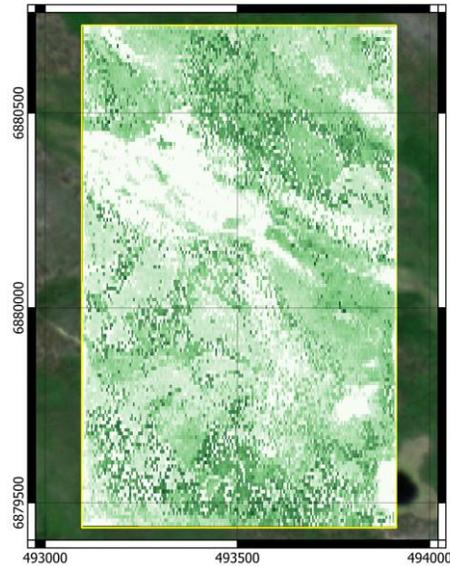


Сравнение площадей крон с уточненными полевыми данными

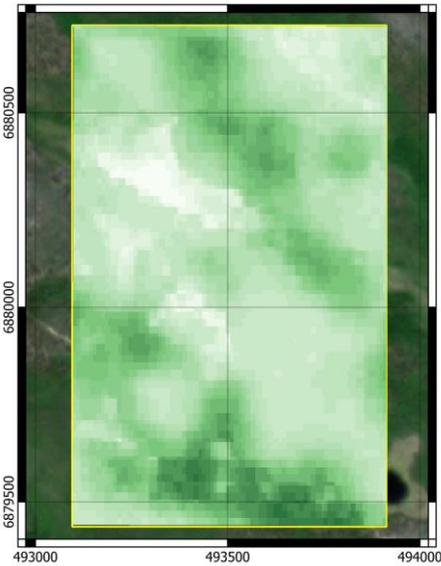




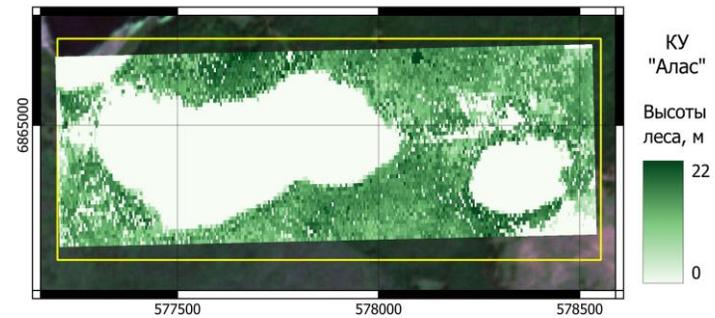
ETH Global Canopy Height 10m
2020 v.1 (Lang et al., 2021)



Результаты моделирования

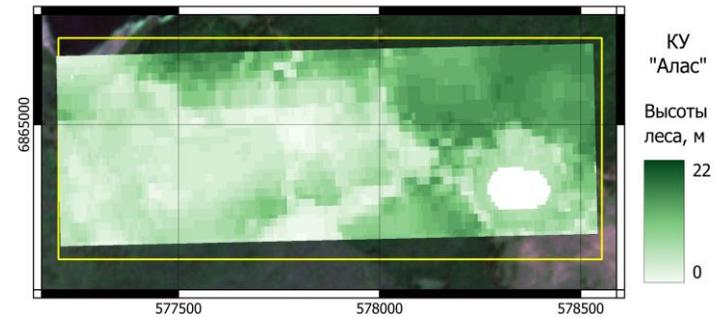
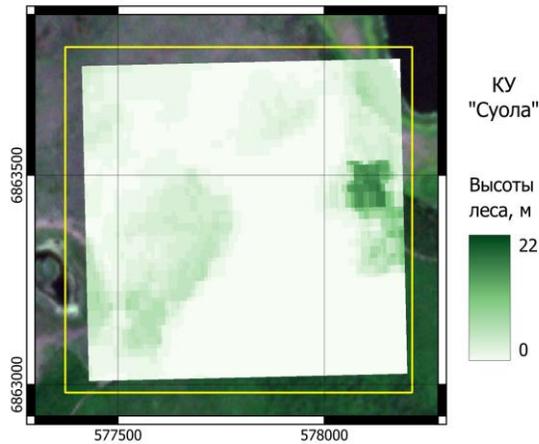
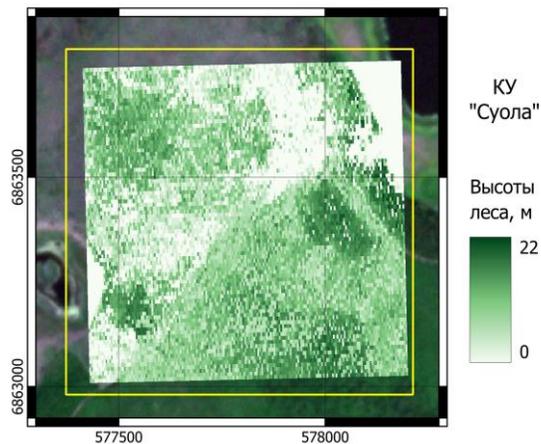


Набор данных ETH GCH



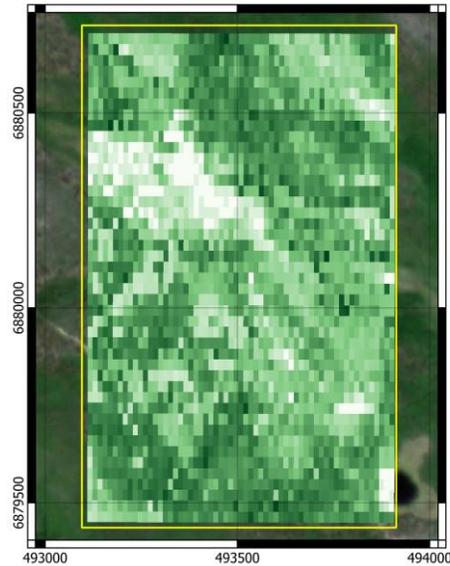
Результаты моделирования

Набор данных ETH GCH



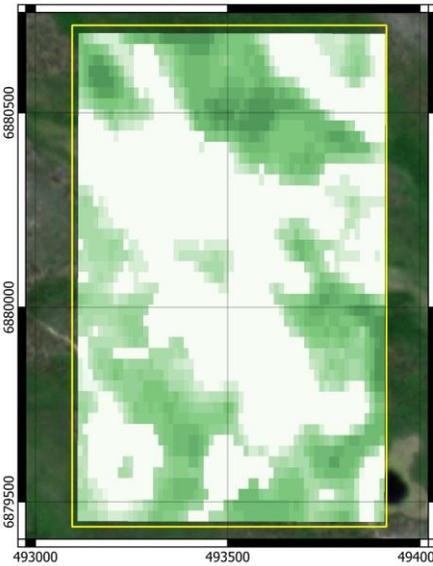


Global Land Cover and Land Use
Change (Potapov et al., 2022)



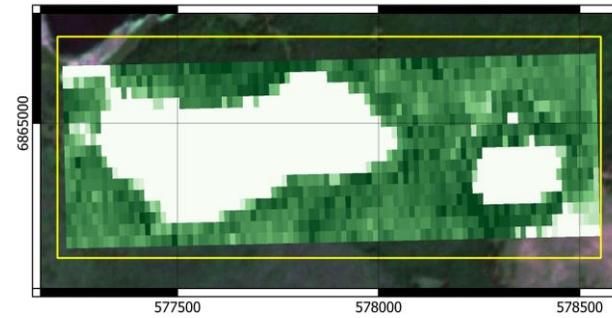
КУ
"Вилюй"

Высоты
леса, м
22
0



КУ
"Вилюй"

Высоты
леса, м
22
0



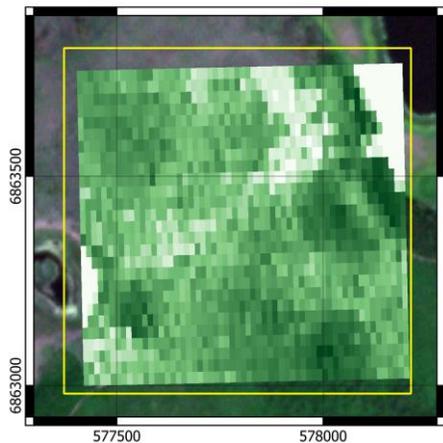
КУ
"Алас"

Высоты
леса, м
22
0

Результаты моделирования

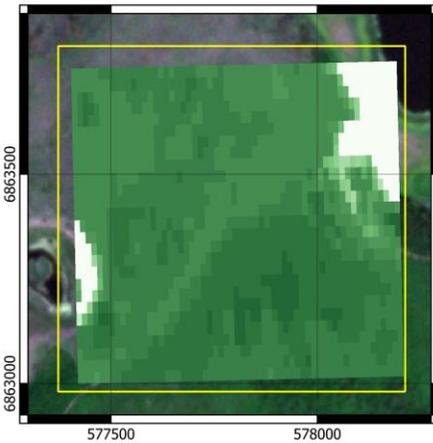
Набор данных GLCLUC

Набор данных GLCLUC



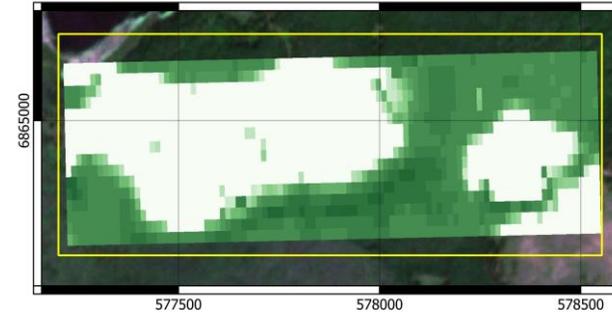
КУ
"Суола"

Высоты
леса, м
22
0



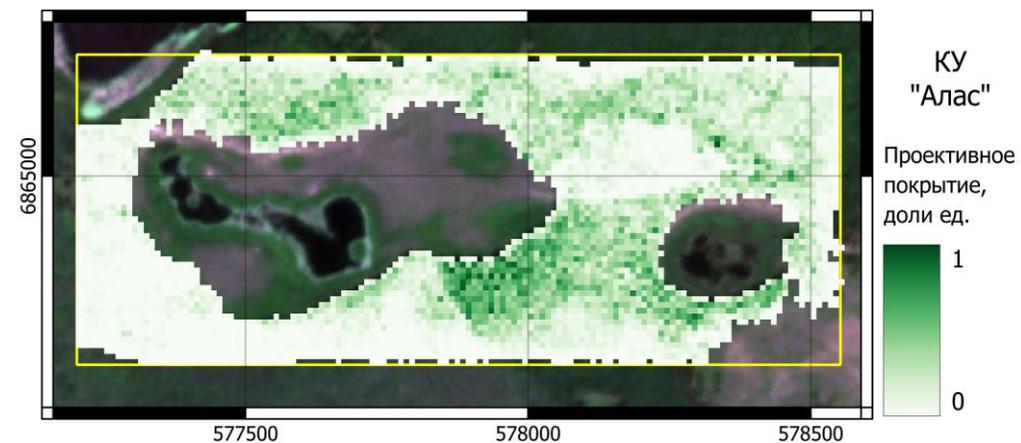
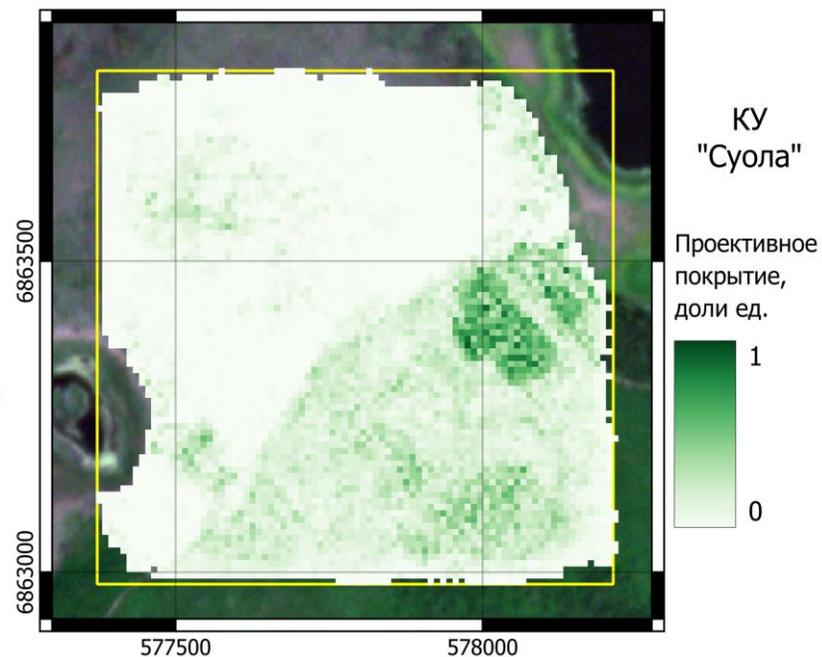
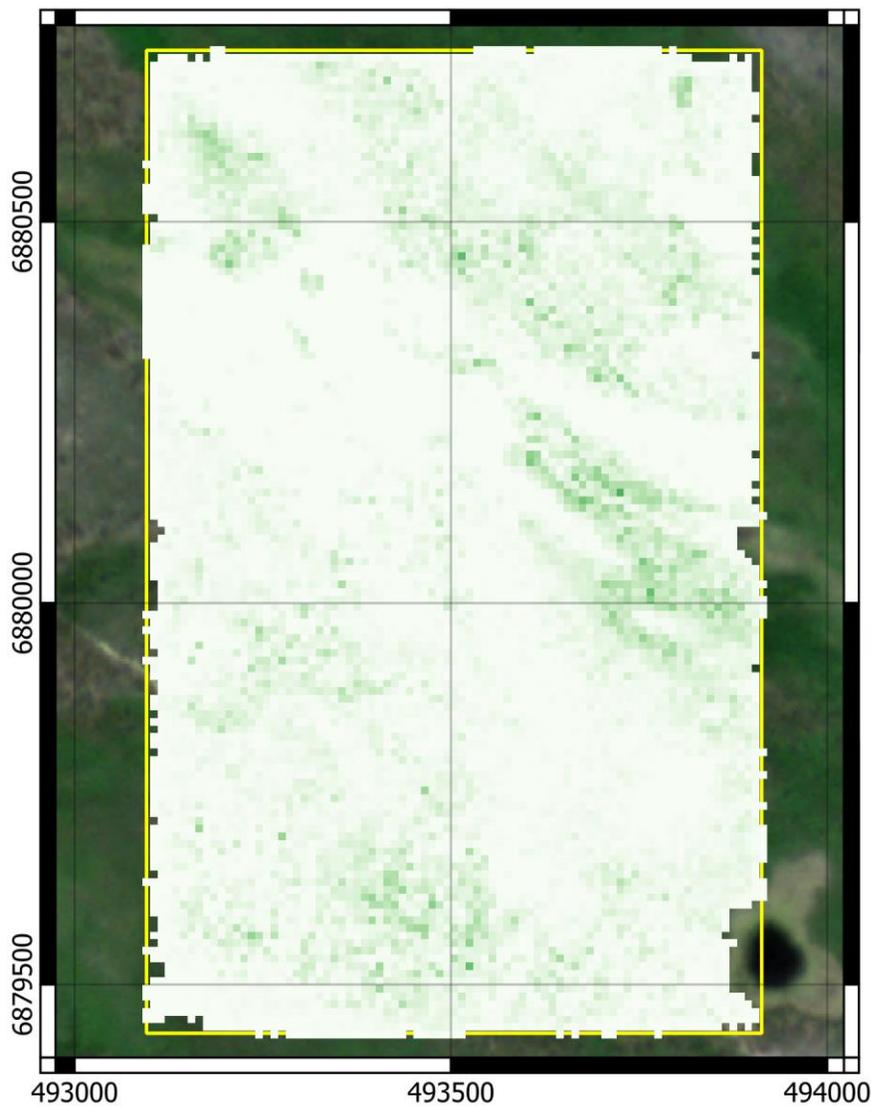
КУ
"Суола"

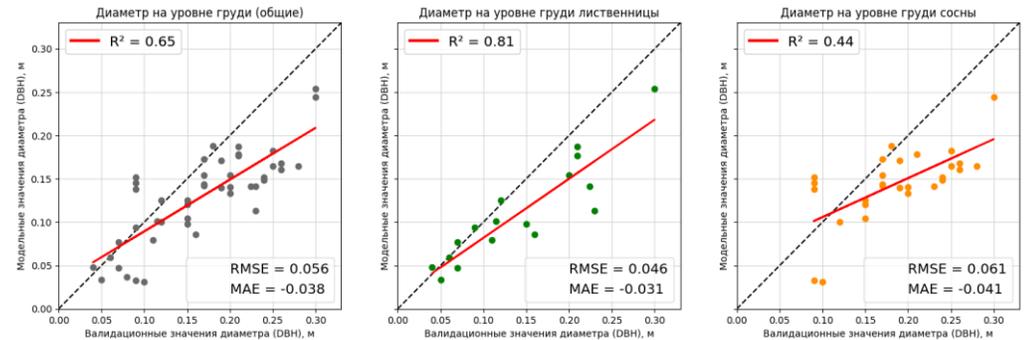
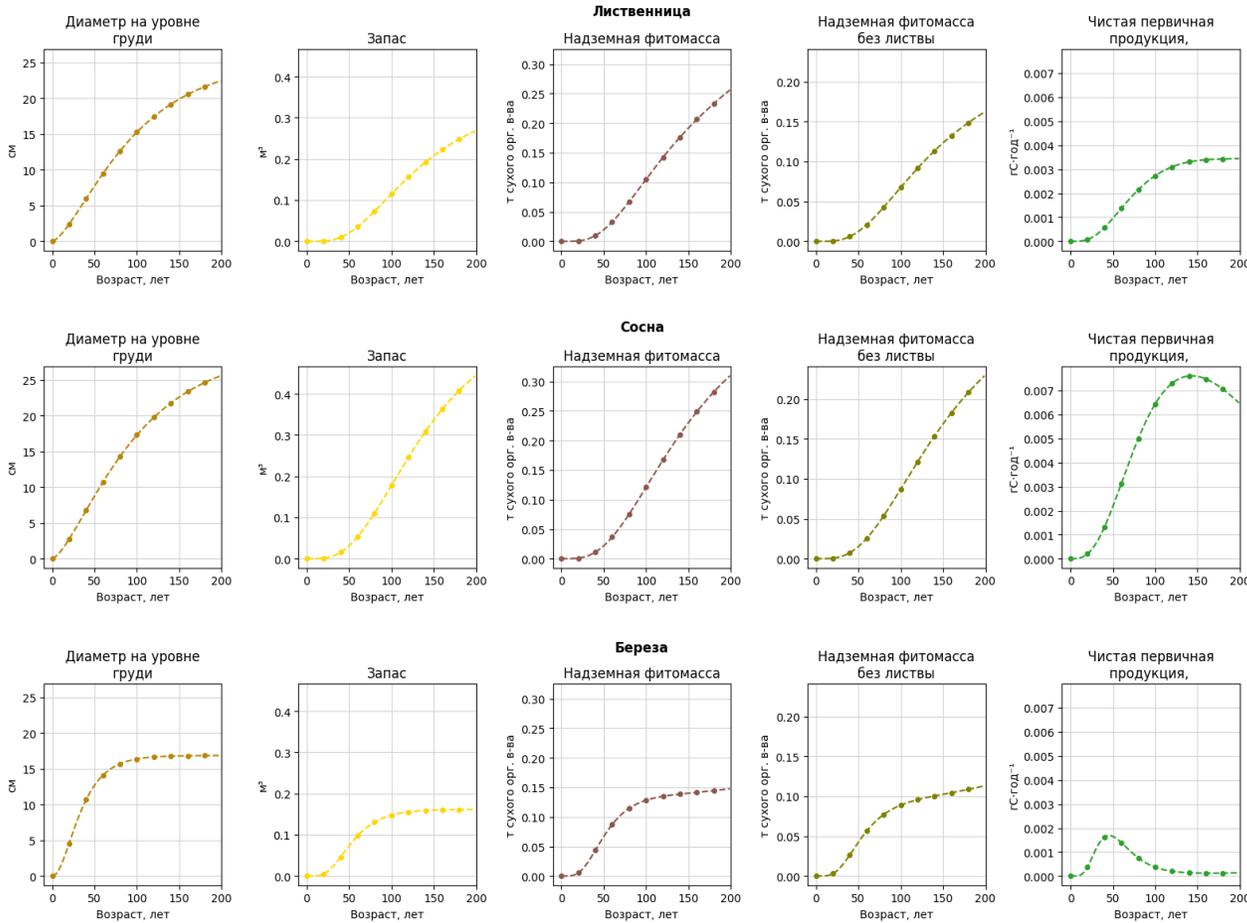
Высоты
леса, м
22
0



КУ
"Алас"

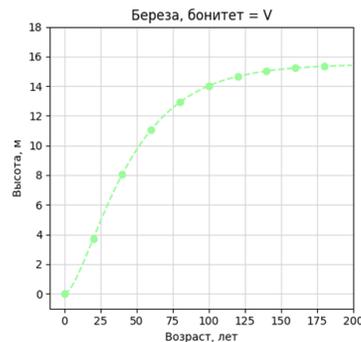
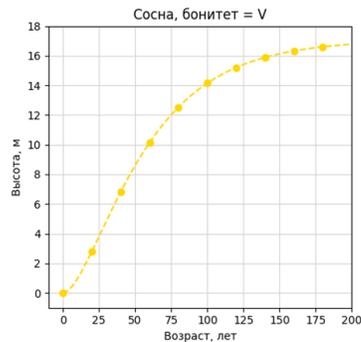
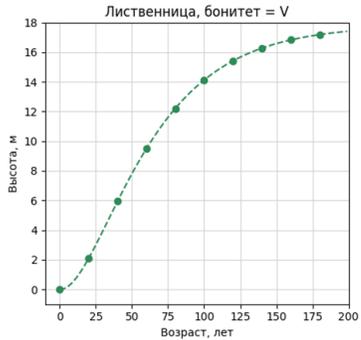
Высоты
леса, м
22
0





Сравнение валидационных значений
диаметра на уровне груди и полученных по
модели хода роста

Модели хода роста и биологической
продуктивности по породному составу

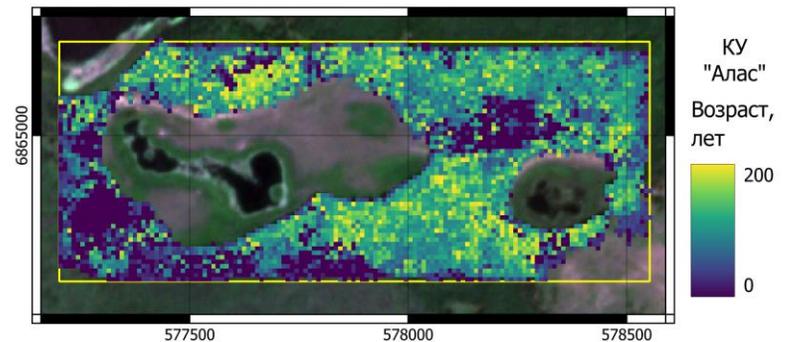
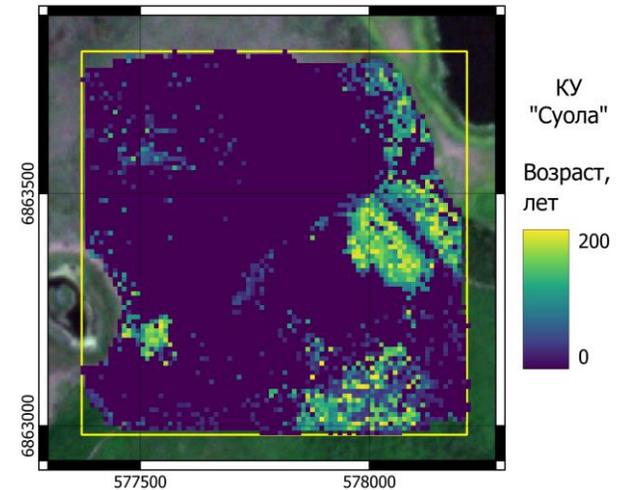
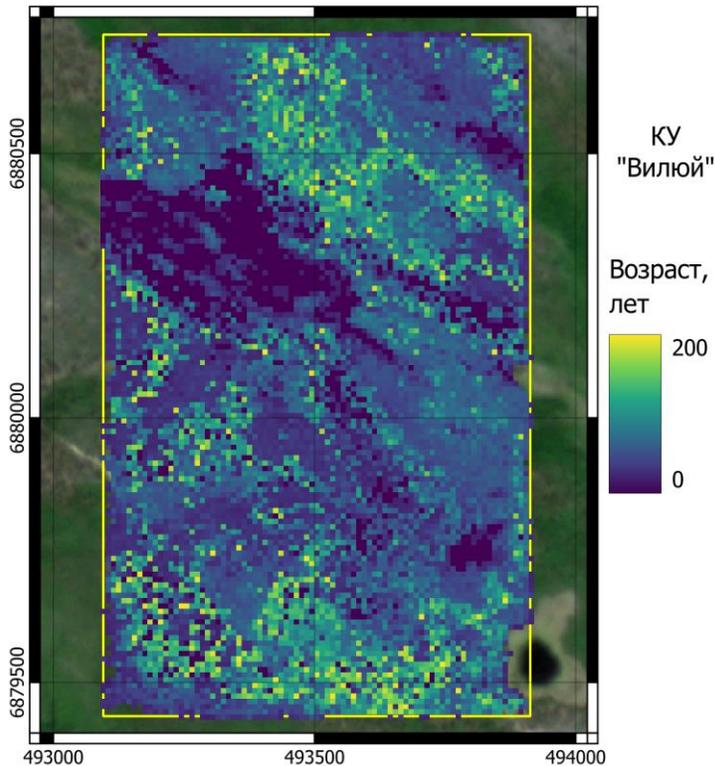


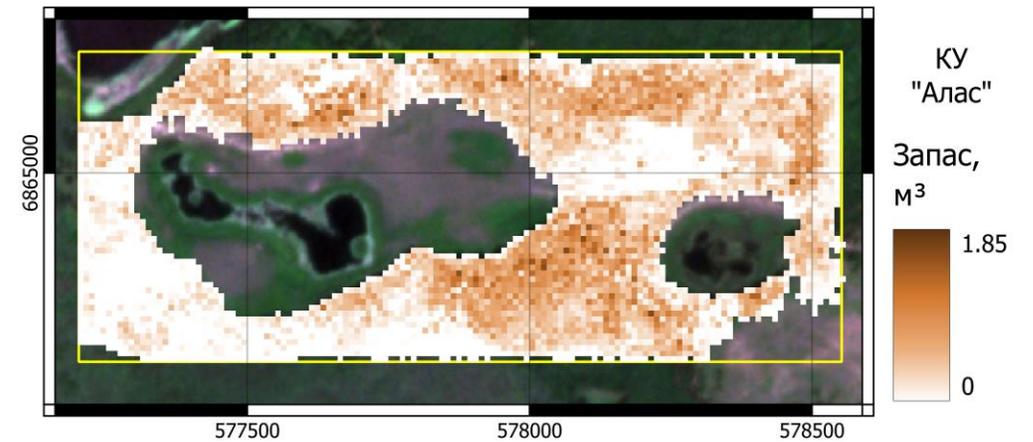
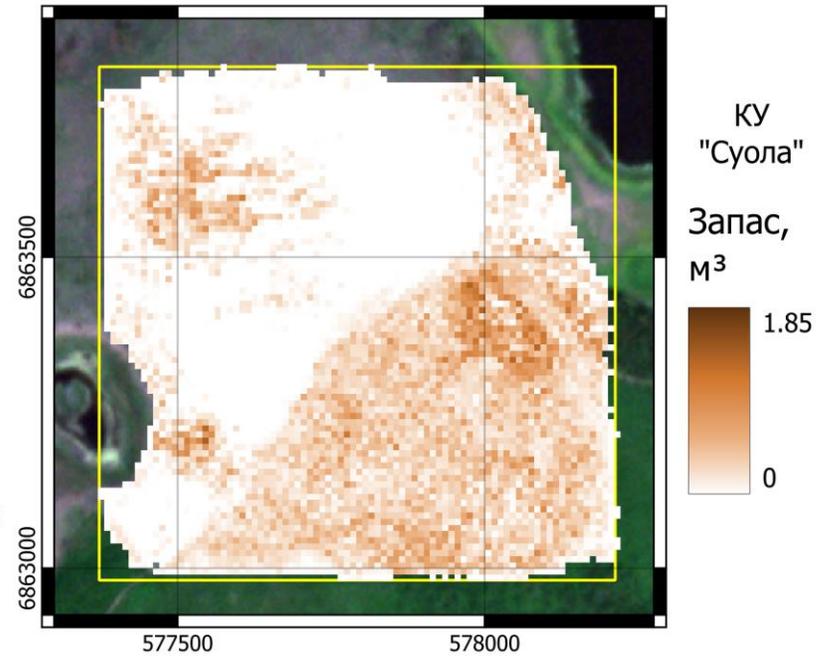
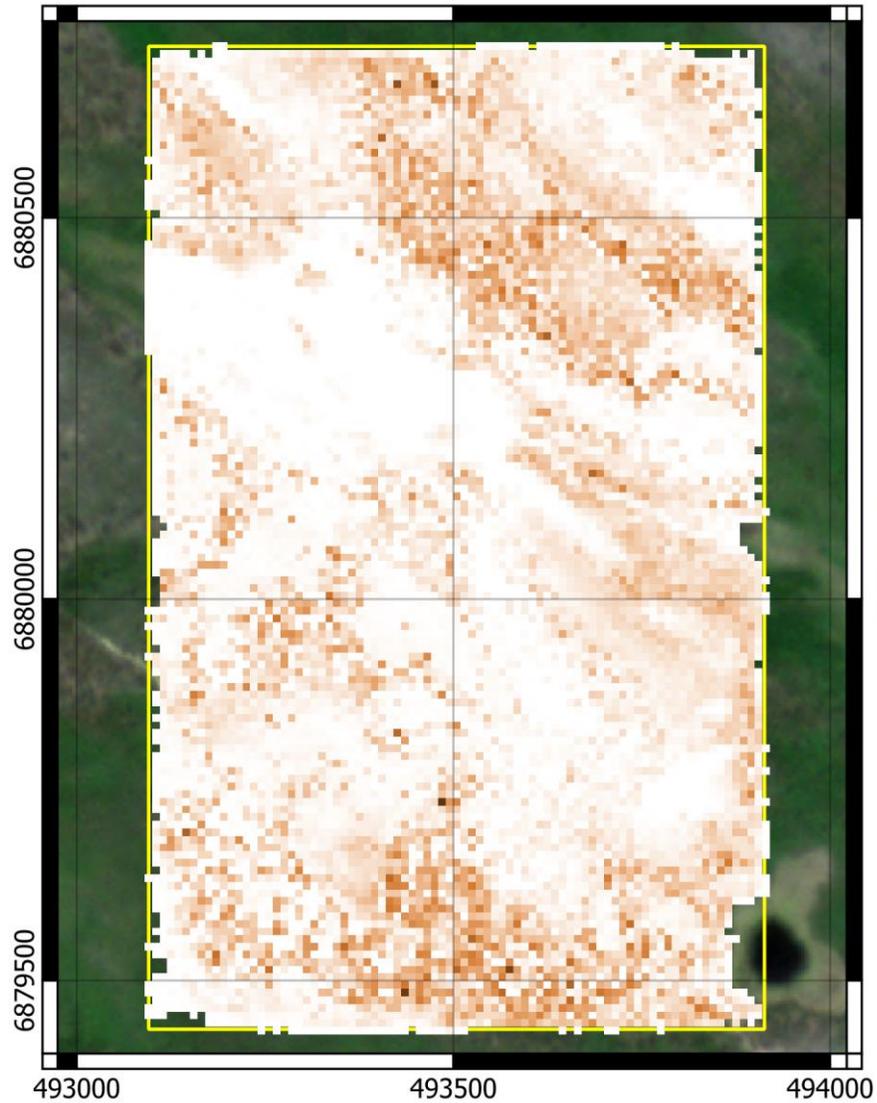
$$X_i = c_1 [1 - \exp(-c_2 A)]^{c_3}$$

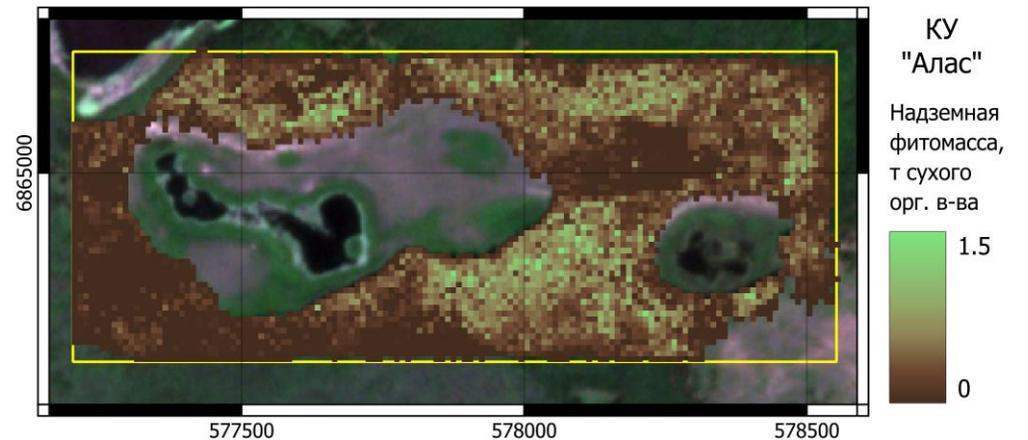
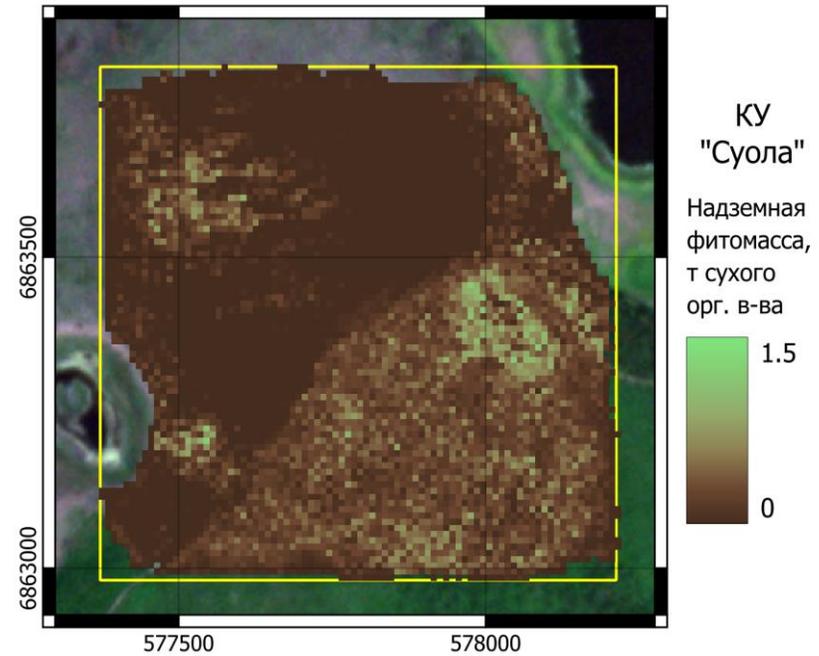
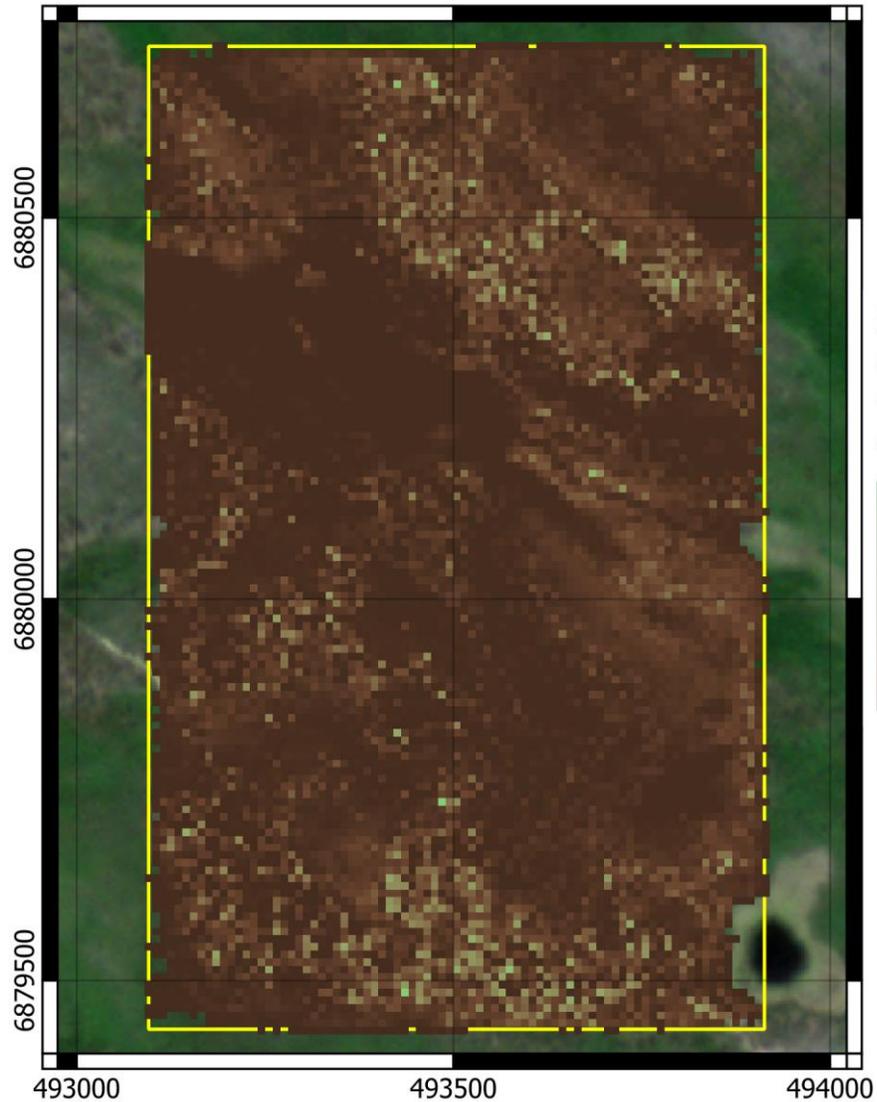
$$A = \frac{\ln \left[1 - \left(\frac{H_i}{c_1} \right)^{\frac{1}{c_3}} \right]}{-c_2}$$

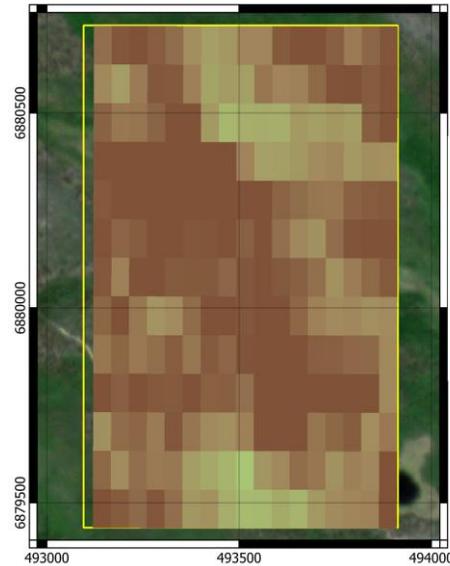
Обратная функция возраста от высоты

Функция роста Берталанфи (Дракина-Вуевского), использованная для выравнивания хода роста по региональным таблицам хода роста модальных (реально существующих) древостоев

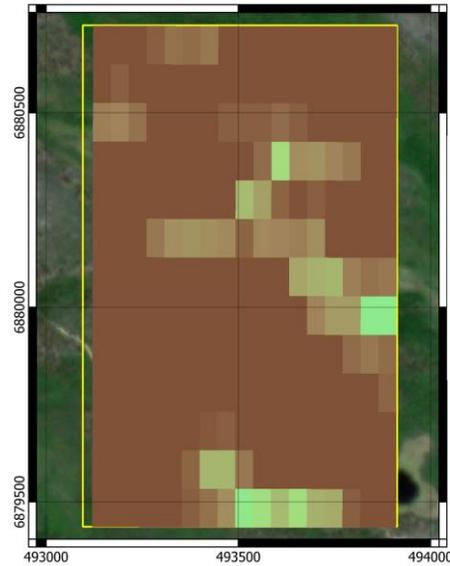








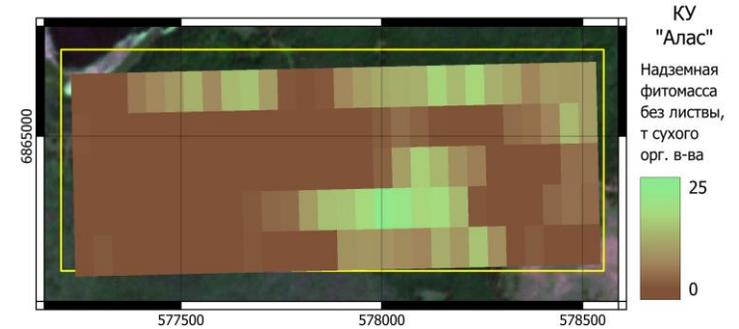
КУ
"Вилюй"
Надземная
фитомасса
без листьев,
т сухого
орг. в-ва
40
0



КУ
"Вилюй"
Надземная
фитомасса
без листьев,
т сухого
орг. в-ва
40
0

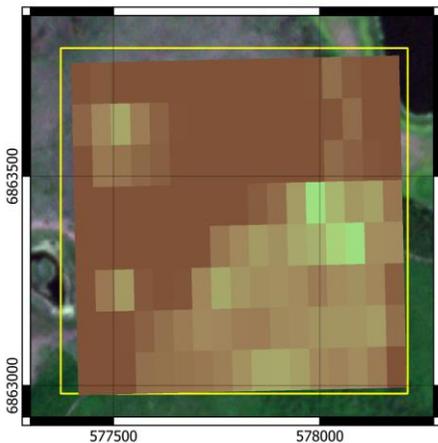
ESA Climat Change Initiative Above Ground Biomass (ESA, 2023)

Результаты моделирования

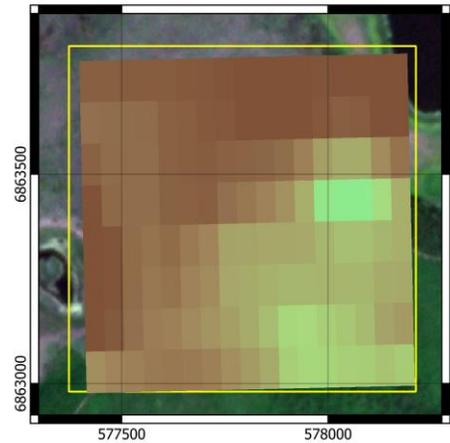


КУ
"Алас"
Надземная
фитомасса
без листьев,
т сухого
орг. в-ва
25
0

Результаты моделирования Набор данных ESA CCI AGB

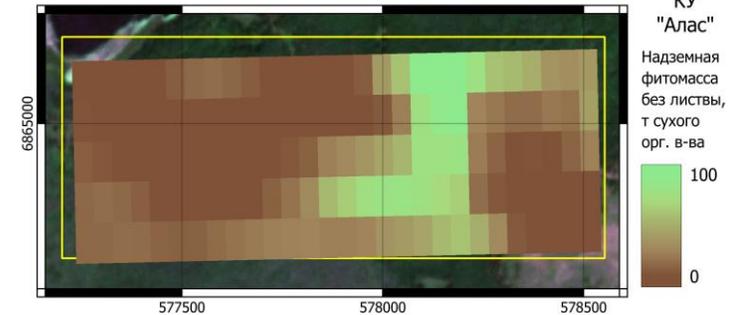


КУ
"Суола"
Надземная
фитомасса
без листьев,
т сухого
орг. в-ва
25
0

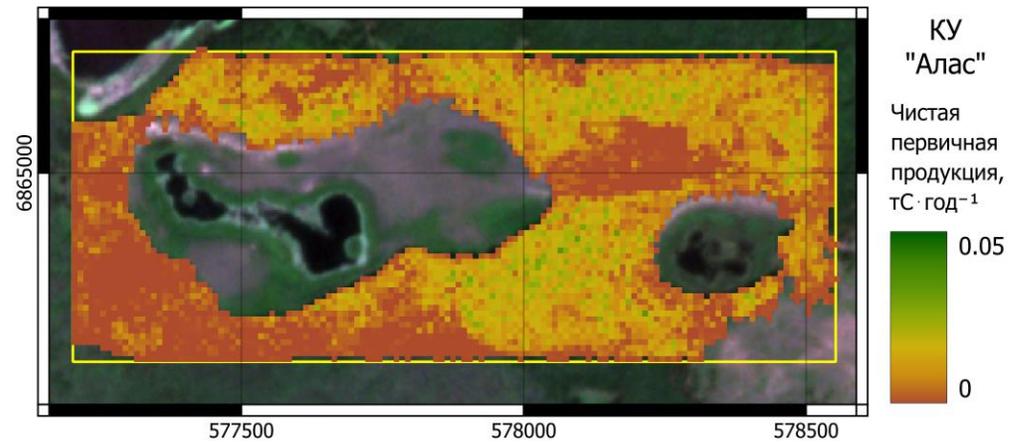
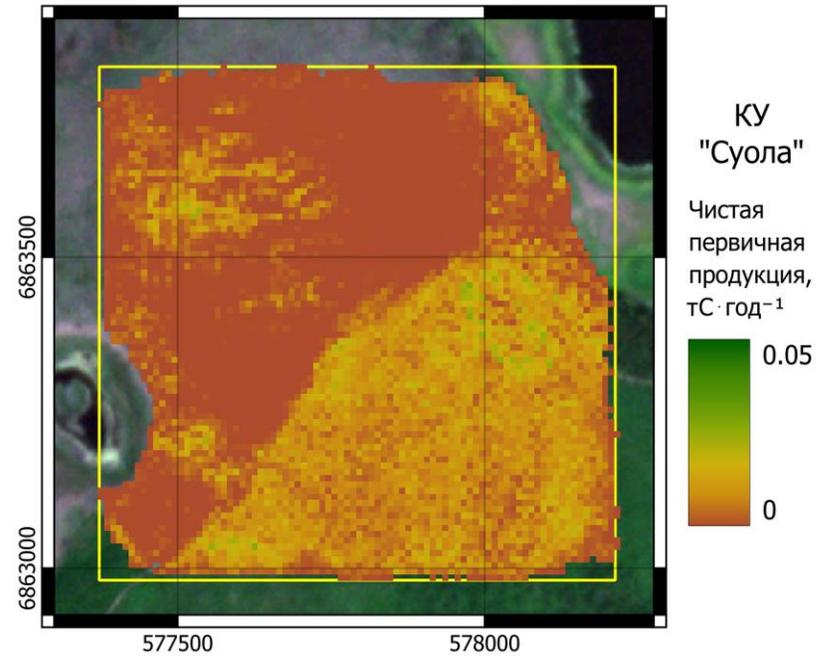
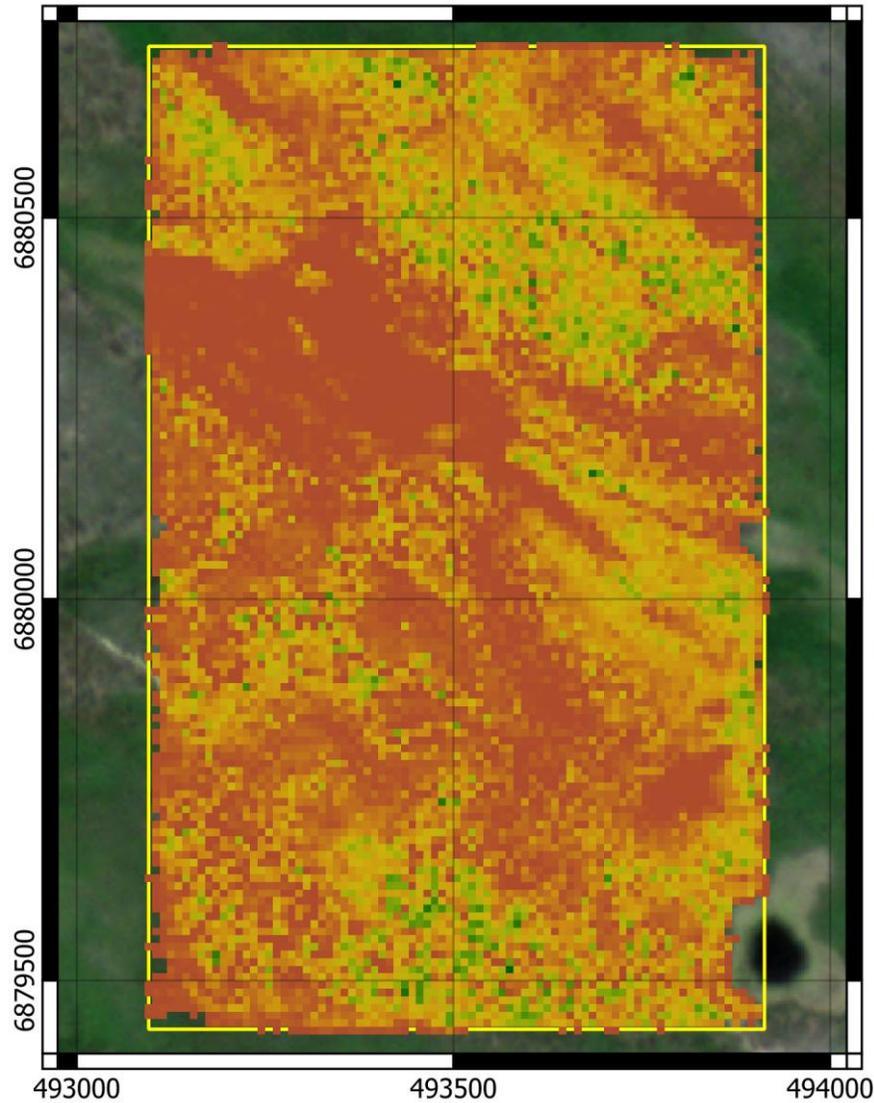


КУ
"Суола"
Надземная
фитомасса
без листьев,
т сухого
орг. в-ва
100
0

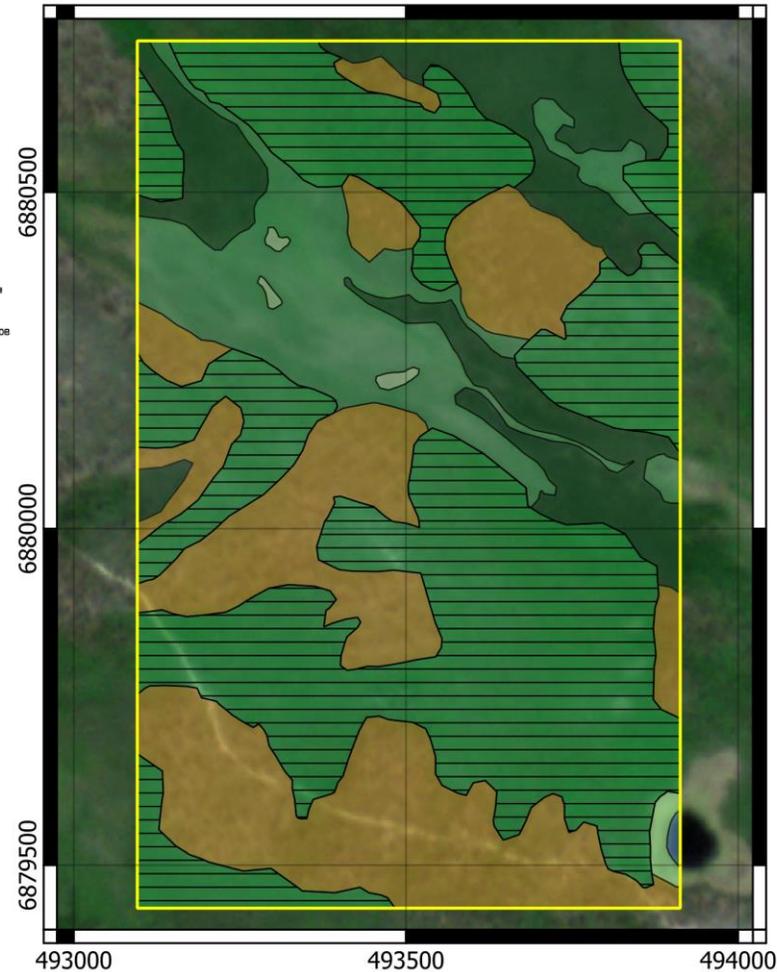
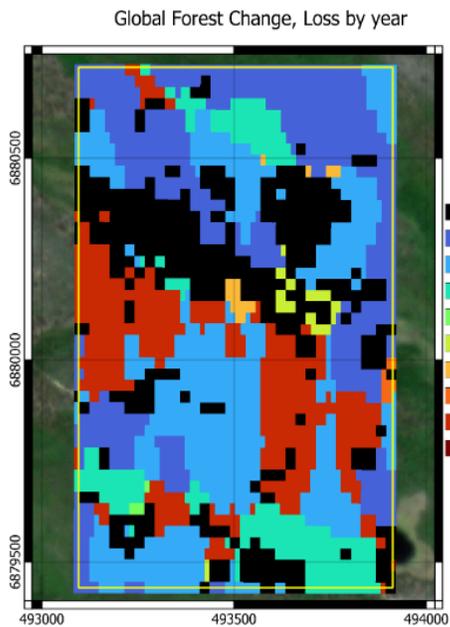
Набор данных ESA CCI AGB



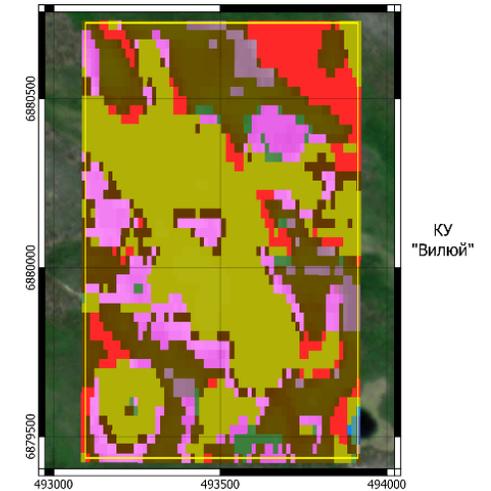
КУ
"Алас"
Надземная
фитомасса
без листьев,
т сухого
орг. в-ва
100
0



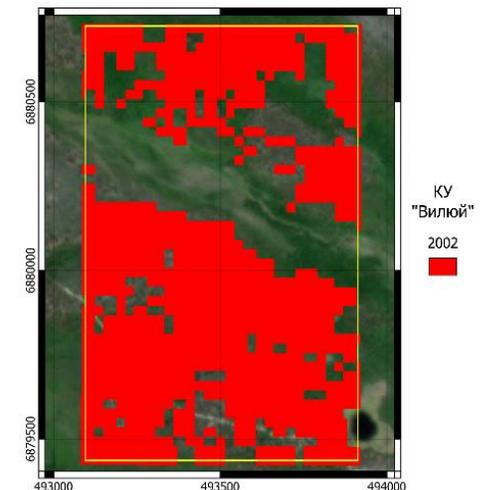
Распространение лесных пожаров и типов лесной растительности на КУ «Вилюй» на момент лета 2022 г.



Global Land Cover and Land Use Change, 2000-2020

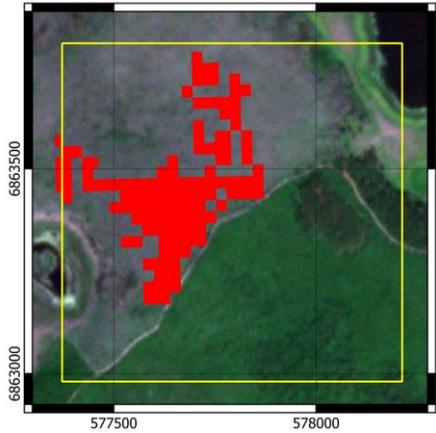


Global Annual Burn Area Map





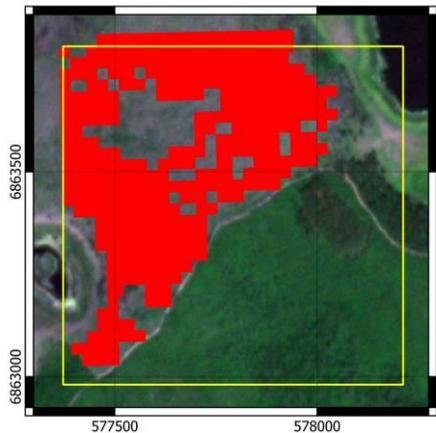
Global Annual Burn Area Map



КУ
"Суола"
2003



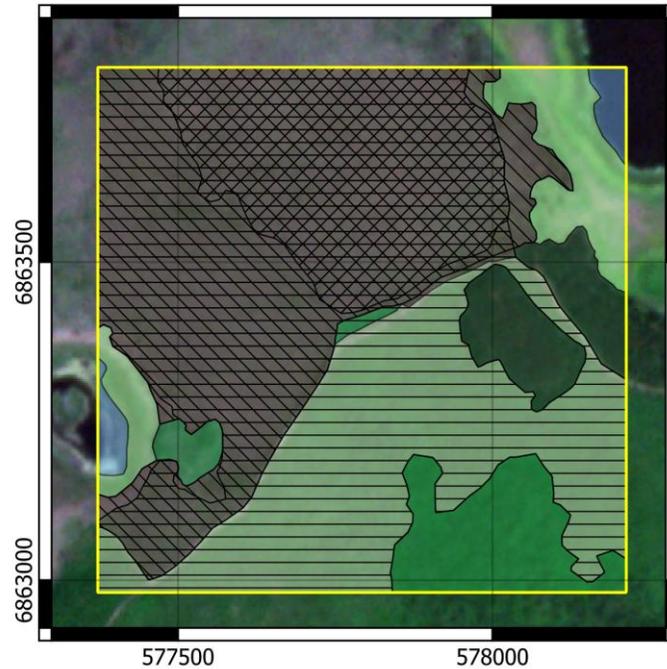
Global Annual Burn Area Map



КУ
"Суола"
2018



Распространение лесных пожаров и типов лесной растительности на КУ «Суола» на момент лета 2022 г.



Распространение лесных пожаров

- Июль 2018 г.
- Август 2002 г.
- Июнь 2002 г.

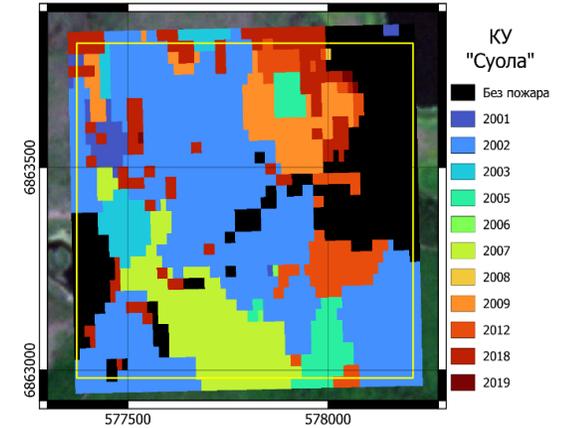
Лесная растительность

- Гари
- Березовый молодняк
- Лиственничный молодняк
- Лиственничники зрелые

Другое

- Аласные озера
- Аласы

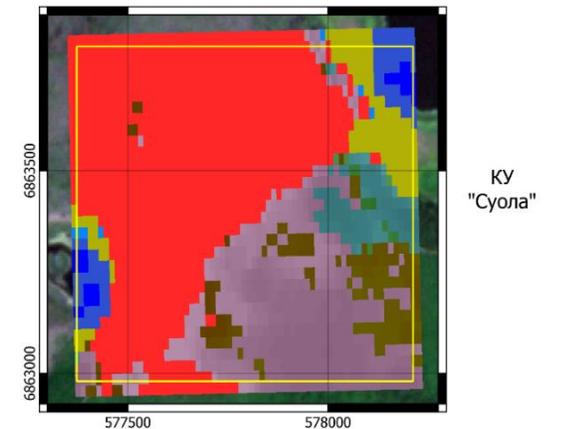
Global Forest Change, Loss by year



КУ
"Суола"

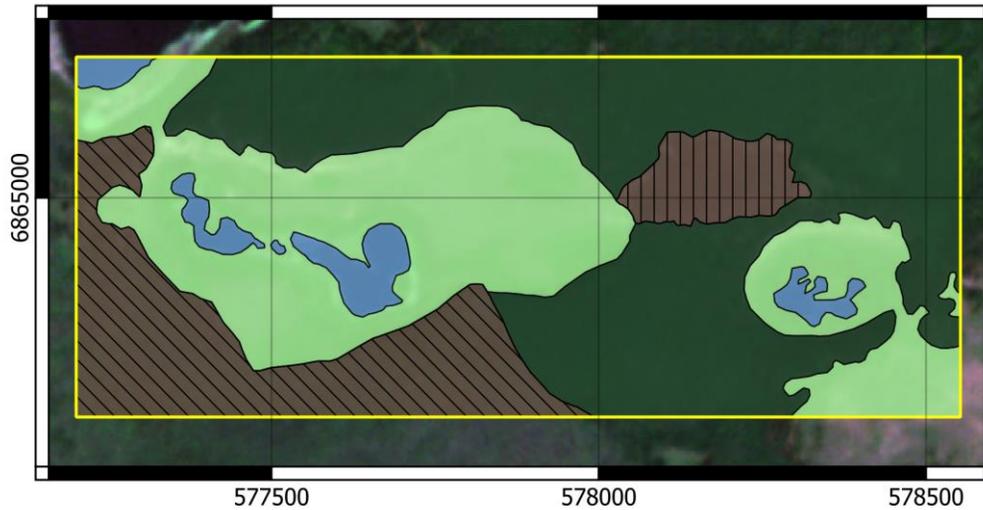
- Без пожара
- 2001
- 2002
- 2003
- 2005
- 2006
- 2007
- 2008
- 2009
- 2012
- 2018
- 2019

Global Land Cover and Land Use Change, 2000-2020



КУ
"Суола"

Распространение лесных пожаров и типов лесной растительности на КУ «Алас» на момент лета 2022 г.



Распространение лесных пожаров

▨ Август 2021 г.

▨ Июль 2018 г.

Лесная растительность

■ Гари

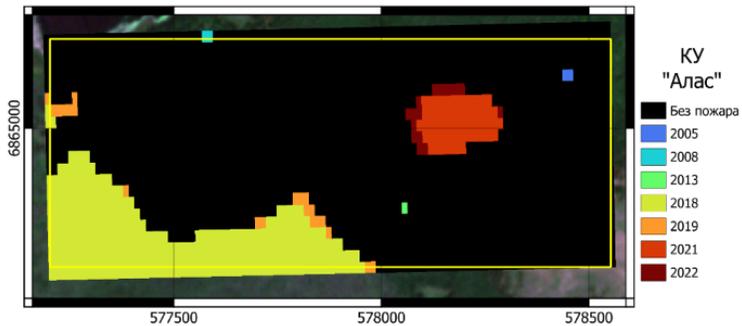
■ Листоенничники зрелые

Другое

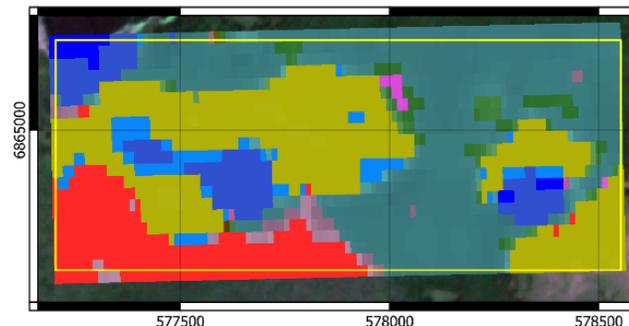
■ Аласные озера

■ Аласы

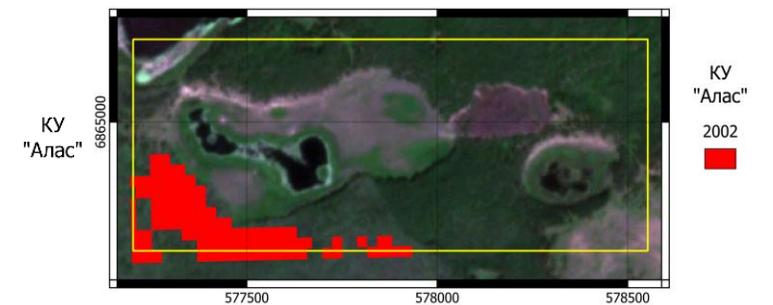
Global Forest Change, Loss by year



Global Land Cover and Land Use Change, 2000-2020



Global Annual Burn Area Map





Классифицированные по породному
составу облака точек деревьев

Мультивременные ряды NDVI

Структурные параметры древостоя

Высоты леса

Проективное
покрытие леса

Биофизические и экологические
параметры древостоя

Возраст деревьев

Чистая первичная
продукция

Запас
древесины

Надземная
фитомасса

Интегральные карты типов леса
и лесных пожаров



1

Сегментация фотограмметрических облаков точек

При низкой сомкнутости крон сегментация отдельных деревьев фотограмметрических облаков точек дает приемлемые результаты

3

Мультивременные ряды космических снимков

Использование мультивременных рядов индексов NDVI дает возможность подробного анализа изменений лесной растительности с точностью до одного года

2

Модели хода роста

Применение моделей хода роста и биологической продуктивности к сегментированным облакам точек деревьев для получения биофизических и экологических параметров леса является возможным

4

Анализ пространственно-временных характеристик лесовосстановления

Комплексное использование данных космического мониторинга и цифровой аэрофотограмметрии в контексте получения характеристик постпирогенного лесовосстановления позволяет выявить взаимосвязи между лесными пожарами и типами леса



Двадцать вторая международная конференции
«Современные проблемы дистанционного зондирования из космоса»

Москва
2024

Пространственно-временной анализ естественного постпирогенного лесовосстановления на основе мультимасштабных данных ДЗЗ

Петров Олег Григорьевич, студент 1 курса магистерской программы ПДПГ, ФГГТ НИУ ВШЭ
Медведев Андрей Александрович, зав. лаб. ИГ РАН, к.г.н.



1. Лесоустроительная инструкция: Об утверждении Лесоустроительной инструкции, Приказ Минприроды России (Министерства природных ресурсов и экологии РФ) (принят 5 августа 2022 года) // Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума "Кодекс" URL: <https://docs.cntd.ru/document/351878696> (дата обращения: 20.05.2024)
2. Об утверждении Лесного плана Республики Саха (Якутия) на период 2019 - 2028 г.г. (с изменениями на 7 июля 2021 года) // Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума "Кодекс" URL: <https://docs.cntd.ru/document/570766018> (дата обращения: 20.05.2024)
3. Правила лесовосстановления – Об утверждении Правил лесовосстановления, формы, состава, порядка согласования проекта лесовосстановления, оснований для отказа в его согласовании, а также требований к формату в электронной форме проекта лесовосстановления (с изменениями на 3 августа 2023 года) – Приказ Минприроды России (Министерства природных ресурсов и экологии РФ) (принят 29 декабря 2021 года) // Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума "Кодекс" URL: <https://docs.cntd.ru/document/728111110> (дата обращения: 20.05.2024)
4. Bindewald, A., Miocic, S., Wedler, A., & Bauhus, J. (2021). Forest inventory-based assessments of the invasion risk of *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco and *Quercus rubra* L. in Germany. *European Journal of Forest Research*, 140(4), 883–899. <https://doi.org/10.1007/s10342-021-01373-0>
5. ESA Biomass Climate Change Initiative (Biomass_cci): Global datasets of forest above-ground biomass for the years 2010, 2017, 2018, 2019 and 2020, v4. <https://dx.doi.org/10.5285/af60720c1e404a9e9d2c145d2b2ead4e>
6. Gan, Y., Wang, Q., & Song, G. (2024). Non-Destructive Estimation of Deciduous Forest Metrics: Comparisons between UAV-LiDAR, UAV-DAP, and Terrestrial LiDAR Leaf-Off Point Clouds Using Two QSMs. *Remote Sensing*, 16(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/rs16040697>
7. Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S. V., Goetz, S. J., Loveland, T. R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C. O., & Townshend, J. R. G. (2013). High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science*, 342(6160), 850–853.
8. Kohek, Š., Žalik, B., Strnad, D., Kolmanič, S., & Lukač, N. (2022). Simulation-driven 3D forest growth forecasting based on airborne topographic LiDAR data and shading. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 111, 102844. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102844>
9. Lamb, S. M., MacLean, D. A., Hennigar, C. R., & Pitt, D. G. (2018). Forecasting Forest Inventory Using Imputed Tree Lists for LiDAR Grid Cells and a Tree-List Growth Model. *Forests*, 9(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/f9040167>



10. Lang, N., Jetz, W., Schindler, K., & Wegner, J. D. (2022). A high-resolution canopy height model of the Earth (arXiv:2204.08322). arXiv. <http://arxiv.org/abs/2204.08322>
11. Liu, K., Wang, A., Zhang, S., Zhu, Z., Bi, Y., Wang, Y., & Du, X. (2021). Tree species diversity mapping using UAS-based digital aerial photogrammetry point clouds and multispectral imageries in a subtropical forest invaded by moso bamboo (*Phyllostachys edulis*). In *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* (Vol. 104, p. 102587). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102587>
12. Liu, Y., Chen, D., Fu, S., Mathiopoulos, P. T., Sui, M., Na, J., & Peethambaran, J. (2024). Segmentation of Individual Tree Points by Combining Marker-Controlled Watershed Segmentation and Spectral Clustering Optimization. *Remote Sensing*, 16(4), 610. <https://doi.org/10.3390/rs16040610>
13. Potapov, P., Hansen, M. C., Pickens, A., Hernandez-Serna, A., Tyukavina, A., Turubanova, S., Zalles, V., Li, X., Khan, A., Stolle, F., Harris, N., Song, X.-P., Baggett, A., Kommareddy, I., & Kommareddy, A. (2022). The Global 2000-2020 Land Cover and Land Use Change Dataset Derived From the Landsat Archive: First Results. *Frontiers in Remote Sensing*, 3, 856903. <https://doi.org/10.3389/frsen.2022.856903>
14. Prokhorenkova, L., Gusev, G., Vorobev, A., Dorogush, A. V., & Gulin, A. (2019). CatBoost: Unbiased boosting with categorical features (arXiv:1706.09516). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1706.09516>
15. Roussel, J.-R., Auty, D., Coops, N. C., Tompalski, P., Goodbody, T. R. H., Meador, A. S., Bourdon, J.-F., de Boissieu, F., & Achim, A. (2020). lidR: An R package for analysis of Airborne Laser Scanning (ALS) data. *Remote Sensing of Environment*, 251, 112061. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112061>
16. Sexton, J. O., Song, X.-P., Feng, M., Noojipady, P., Anand, A., Huang, C., Kim, D.-H., Collins, K. M., Channan, S., DiMiceli, C., & Townshend, J. R. (2013). Global, 30-m resolution continuous fields of tree cover: Landsat-based rescaling of MODIS vegetation continuous fields with lidar-based estimates of error. *International Journal of Digital Earth*, 6(5), 427–448. <https://doi.org/10.1080/17538947.2013.786146>
17. Shvidenko, Anatoly & Schepaschenko, Dmitry & Nilsson, Sten & Buluy, Yu.I.. (2008). Tables and models of growth and productivity of forests of major forest forming species of Northern Eurasia (standard and reference materials).
18. Tompalski, P., Coops, N. C., White, J. C., Goodbody, T. R. H., Hennigar, C. R., Wulder, M. A., Socha, J., & Woods, M. E. (2021). Estimating Changes in Forest Attributes and Enhancing Growth Projections: a Review of Existing Approaches and Future Directions Using Airborne 3D Point Cloud Data. *Current Forestry Reports*, 7(1), 1–24. <https://doi.org/10.1007/s40725-021-00135-w>