



Роль методов дистанционного зондирования из космоса в системе мониторинга бюджета углерода наземных экосистем России: современные возможности и потенциал развития

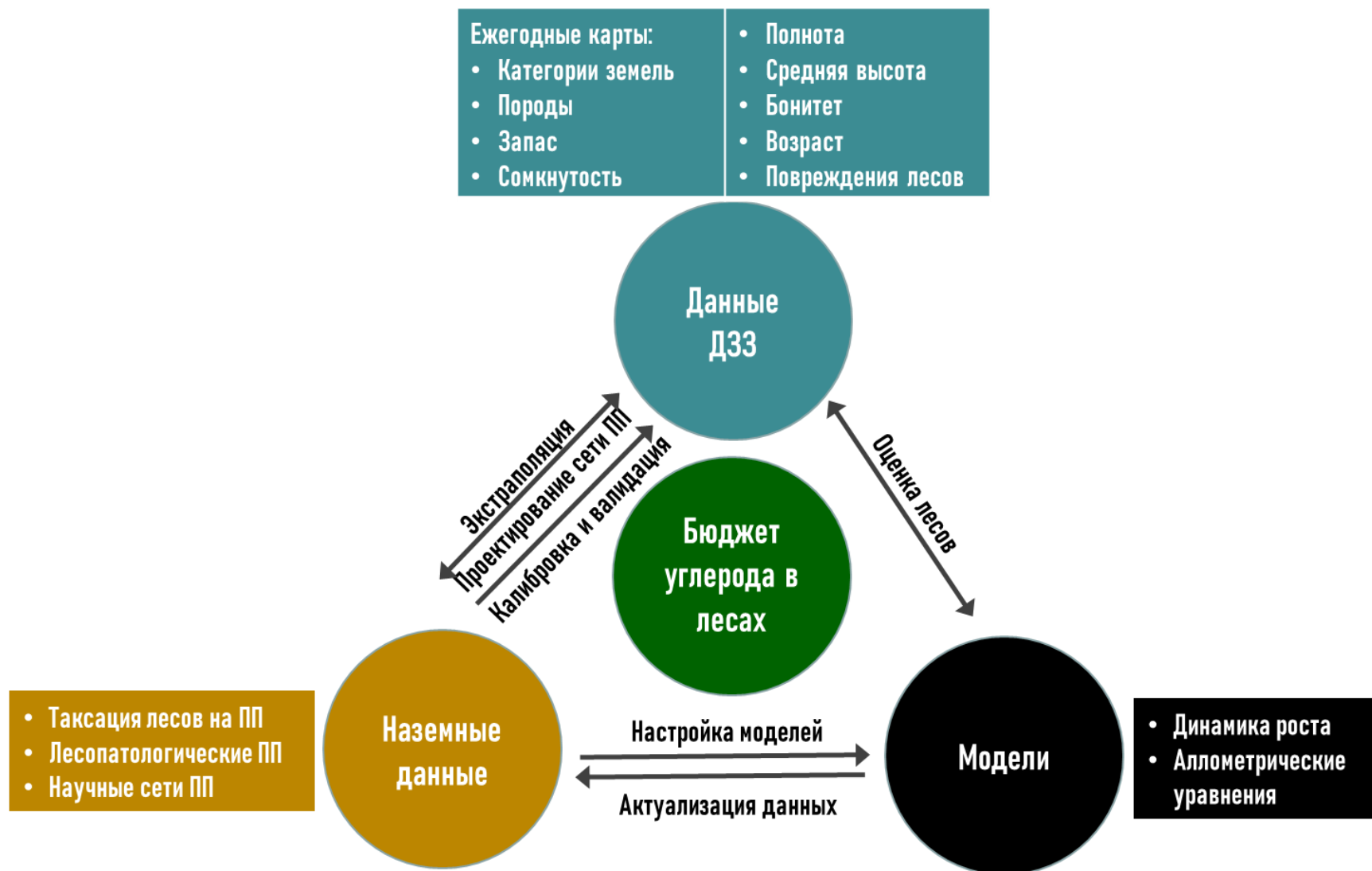
Барталев С.А.

Институт космических исследований РАН

Вступительные замечания

- 1) Современные возможности оценки и мониторинга бюджета углерода различных типов наземных экосистем России характеризуются **острым недостатком информации** о их пространственном распределении и занимаемой площади, характеристиках растительного и почвенного покровов, а также динамики их состояния под воздействием различного рода природных и антропогенных факторов;
- 2) Спутниковые методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) не имеют реальной альтернативы для мониторинга состояния наземных экосистем России, обеспечивая **беспрецедентную полноту охвата (вся страна) и регулярность (ежегодно) получения информации**;
- 3) **Разработка методов дистанционного мониторинга углерода наземных экосистем** на основе автоматизированной комплексной обработки спутниковых данных ДЗЗ, информации выборочных наземных наблюдений на репрезентативной сети тестовых полигонов и математико-экологических моделей **относится к числу ключевых задач Проекта «РИТМ Углерода».**

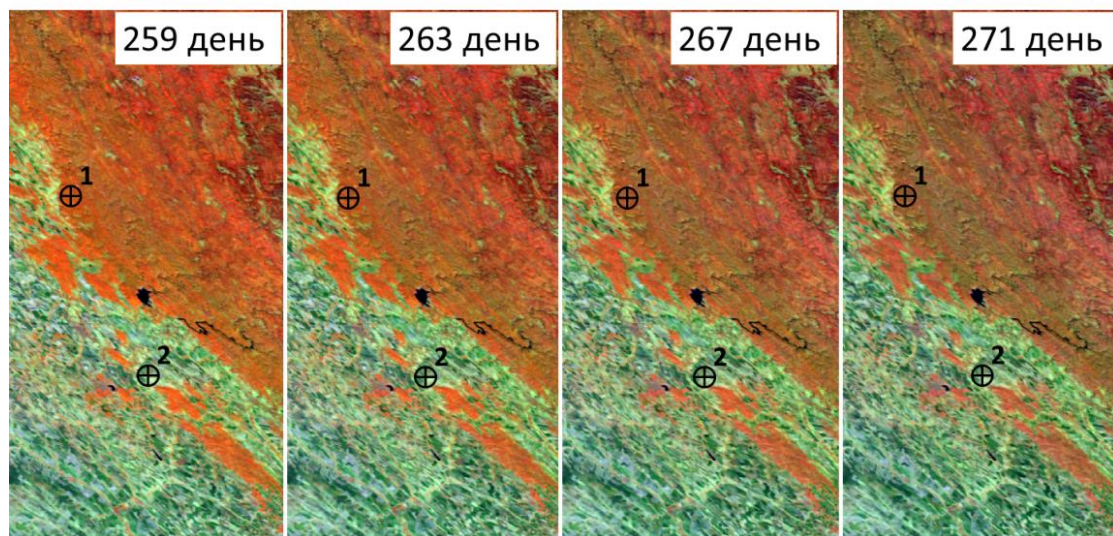
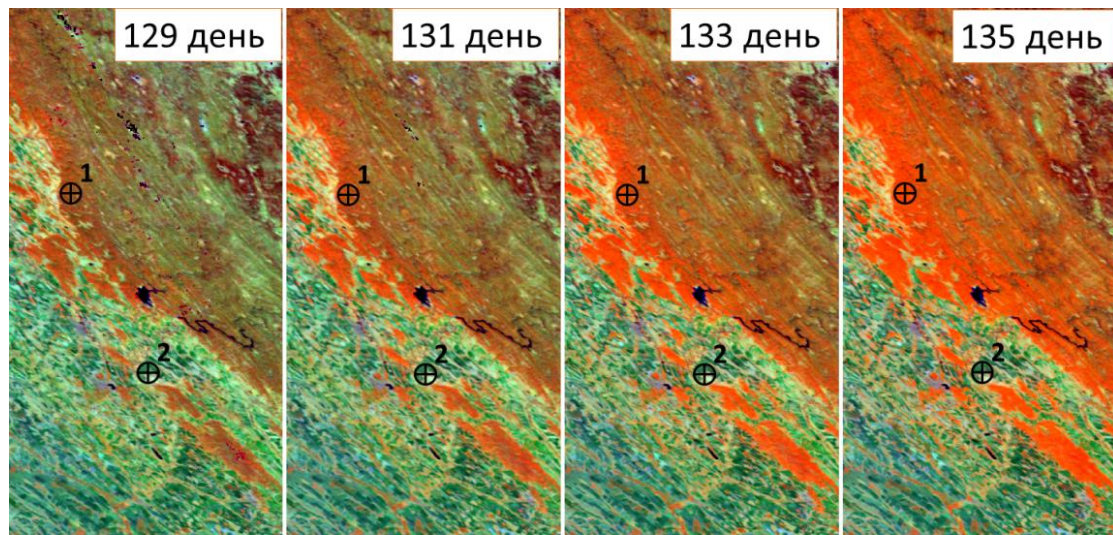
Концепция мониторинга углерода в лесах



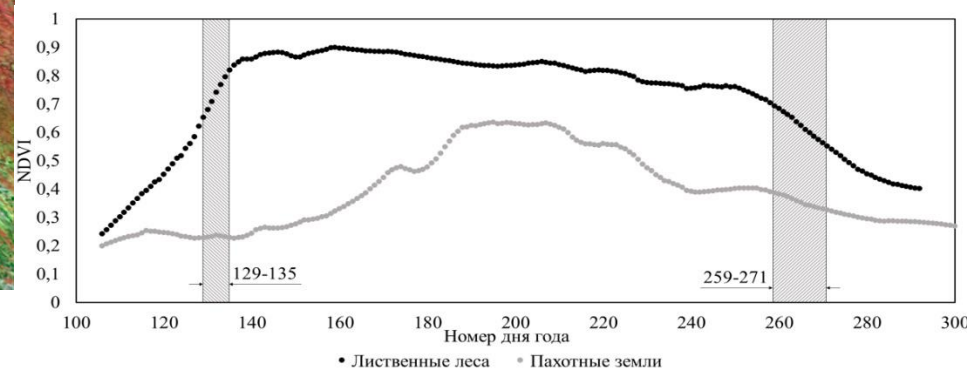
Структура комплекса технологий спутникового мониторинга углерода лесов России



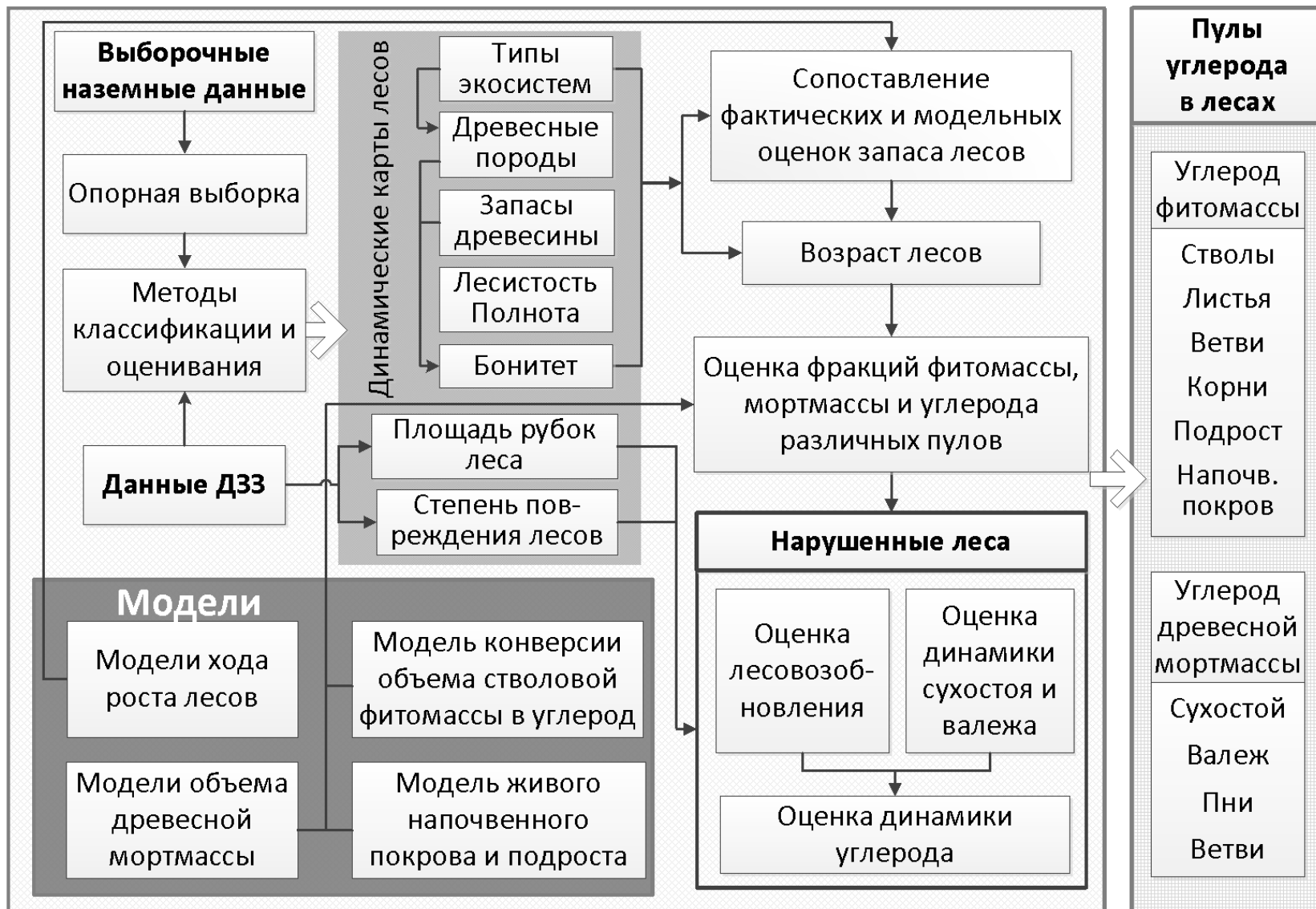
Требования к спутниковым данным ДЗЗ для мониторинга наземных экосистем



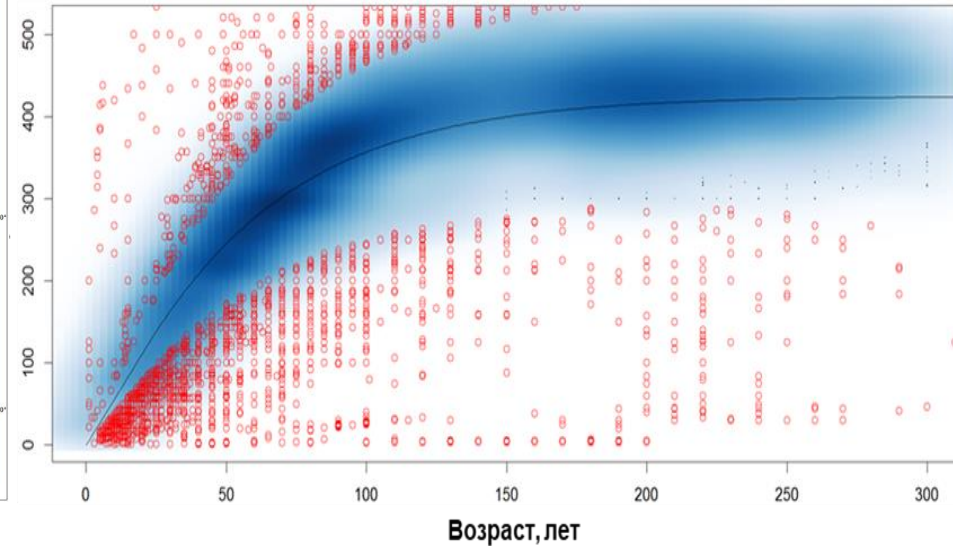
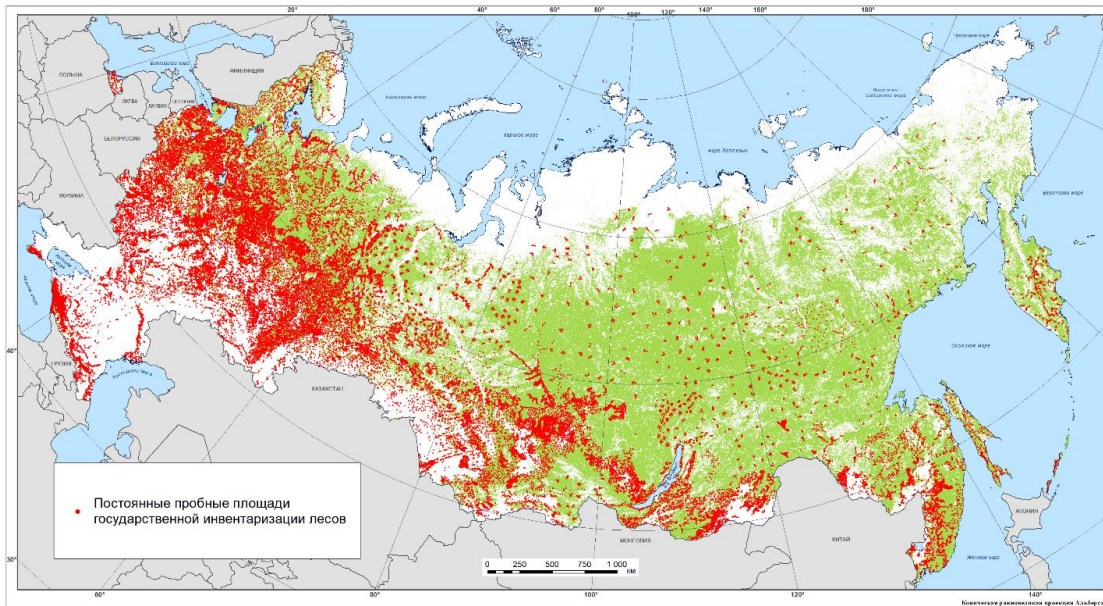
- однородные многолетние **ряды данных ДЗЗ высокого временного разрешения** (не реже чем 1 раз в 3-5 дней, предпочтительно ежедневно)
- данные измерений отражения земной поверхности **в видимом, ближнем и среднем ИК диапазонах спектра**
- «штатная» предварительная обработка данных ДЗЗ, включая **радиометрическую калибровку и атмосферную коррекцию**
- глубокая очистка данных от влияния облаков и других мешающих факторов, **реконструкция непрерывных временных рядов**



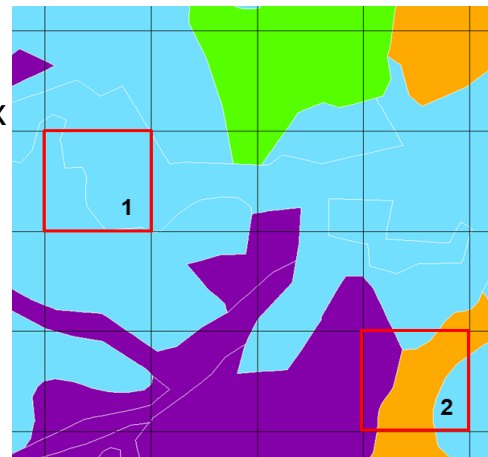
Концепция дистанционного мониторинга бюджета углерода лесов



Подготовка опорных данных для обучения алгоритмов и верификации результатов



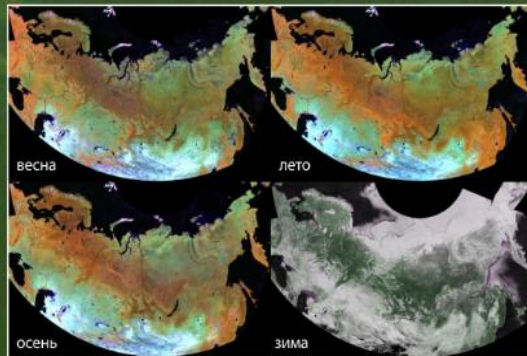
Оценка площади лесов различных преобладающих пород для участков, соответствующих пикселям данных ДЗЗ на основе материалов АЦО ГИЛ (черным обозначены границы пикселей, белым – границы выделов)



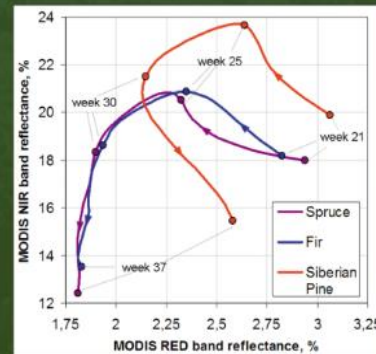
- Пиксель 1:
 - 100% береза
- Пиксель 2:
 - 20% береза
 - 25% ель
 - 55% сосна

Пример фильтрации данных АЦО ГИЛ на уровне выделов для насаждений лиственницы 2 класса бонитета. Синее облако точек – повыдельные данные, черная кривая – модель хода роста, красные точки – отфильтрованные выделы

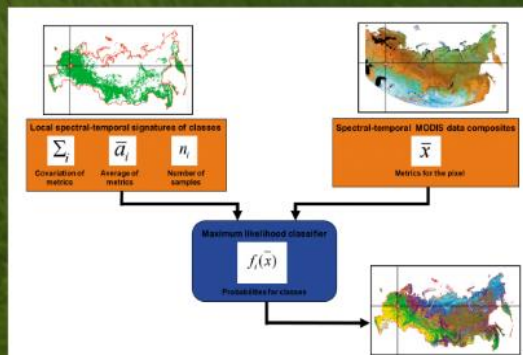
МЕТОДЫ СПУТНИКОВОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ЛЕСОВ



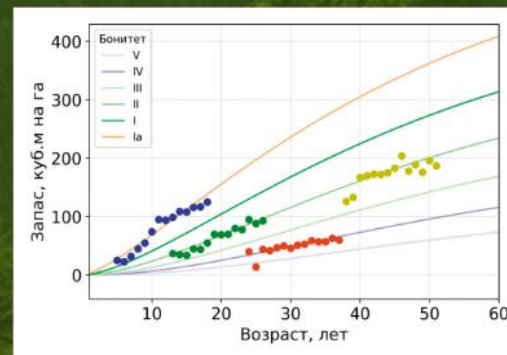
многoletние временные ряды очищенных от влияния облаков разносезонных композитных изображений



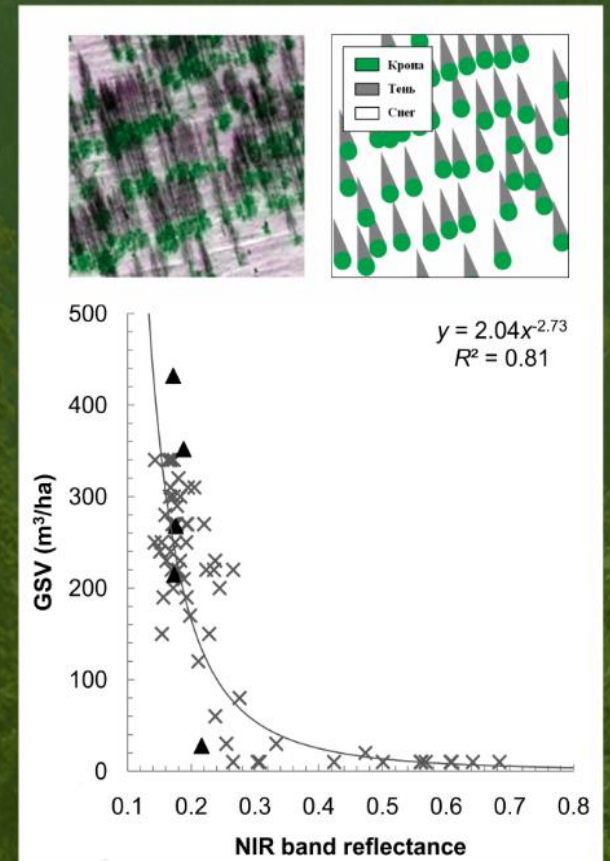
распознавание древесных пород лесов по их спектрально-временным признакам



алгоритмы локально-адаптивной классификации и оценивания характеристик земного покрова



определение бонитета и возраста лесов с на основе моделей их динамики и ежегодных измерений запаса по данным ДЗЗ



определение запаса лесов по данным съемки в зимнее время при наличии снежного покрова на земной поверхности

ТИПЫ НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

ЛЕСА:

- Темнохвойные вечнозеленые
- Светлохвойные вечнозеленые
- Лиственные
- Смешанные с преобладанием хвойных
- Смешанные
- Смешанные с преобладанием лиственных
- Хвойные листопадные (лиственничные)
- Редины хвойные листопадные

ТРАВЯНО-КУСТАРНИКОВАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ:

- Луга
 - Степи
 - Хвойные вечнозеленые кустарники
 - Лиственные кустарники
- ВОДНО-БОЛОТНЫЕ КОМПЛЕКСЫ:**
- Болота
 - Прибрежная растительность

ТУНДРА:

- Кустарничковая
 - Осоковая
 - Кустарниковая
- ПРОЧАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ:**
- Гари
 - Пахотные земли

НЕ ПОКРЫТЫЕ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ ЗЕМЛИ:
















- Открытые грунты и выходы горных пород
- Водные объекты
- Урбанизированные территории
- Вечные снега и льды

Коническая равноугольная проекция Альберса

ПРЕОБЛАДАЮЩИЕ ПОРОДЫ ЛЕСОВ



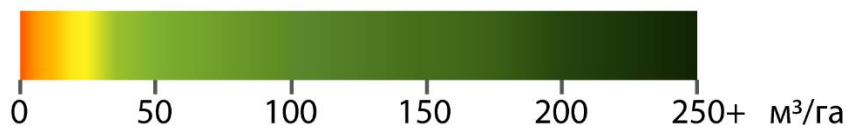
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

	Сосна		Дуб		Липа
	Ель		Бук		Клен
	Пихта		Береза каменная		Редкая лиственница
	Лиственница		Береза		Кедровый стланик
	Сибирский кедр		Осина		Лиственные кустарники

ЗАПАС СЫРОРАСТУЩЕЙ ДРЕВЕСИНЫ



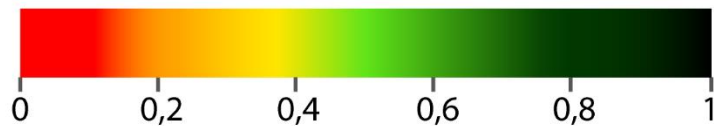
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ



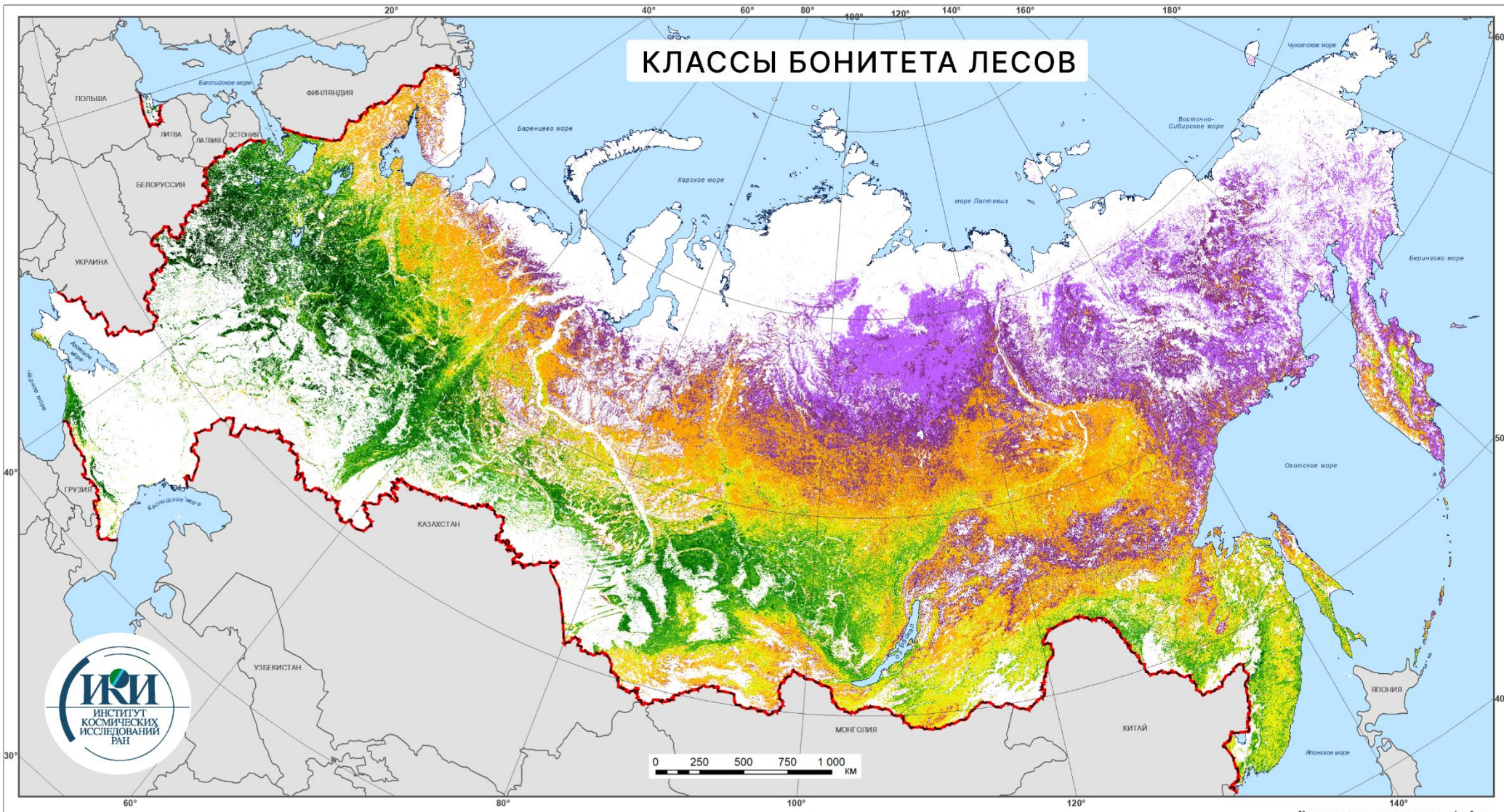
ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ПОЛНОТА ЛЕСОВ




УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ



КЛАССЫ БОНИТЕТА ЛЕСОВ



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

	Ia, Ib		II		IV		Va
	I		III		V		V6

Коническая равноугольная проекция Альберса

КЛАССЫ ВОЗРАСТА ЛЕСОВ



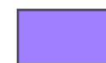
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ



Молодняки I класса



Средневозрастные



Спелые



Молодняки II класса

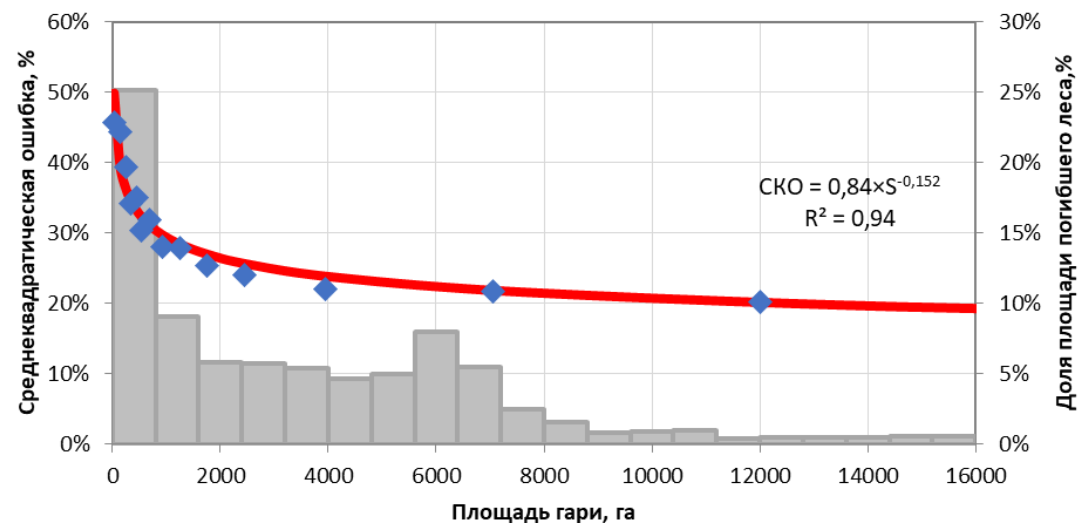


Приспевающие



Перестойные

Оценка площади погибших от пожаров лесов по данным ДЗЗ



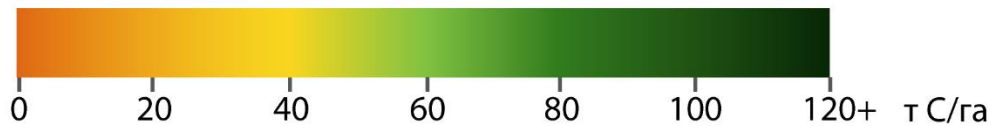
Верификация результатов ДЗЗ проведена на основе 10881 «опорных» гарей общей площадью 8.2 млн га, отобранных по данным лесоустройства. Величина **погрешности ежегодной интегральной оценки по данным ДЗЗ площади погибших от пожаров лесов в масштабах страны варьирует в диапазоне 11-23%** в зависимости от количества и размеров гарей.



ЗАПАС УГЛЕРОДА В ЛЕСАХ РОССИИ



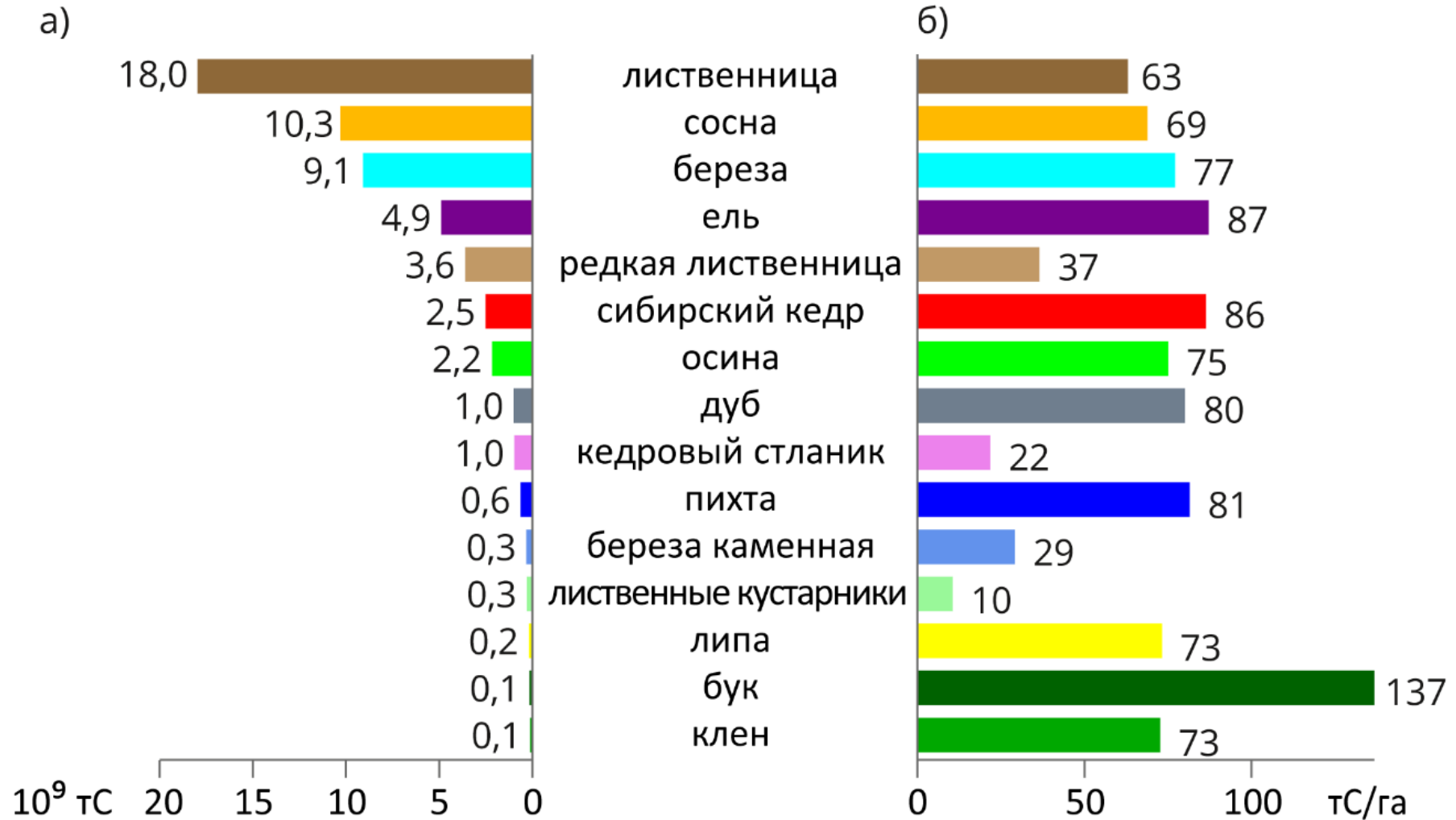
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ



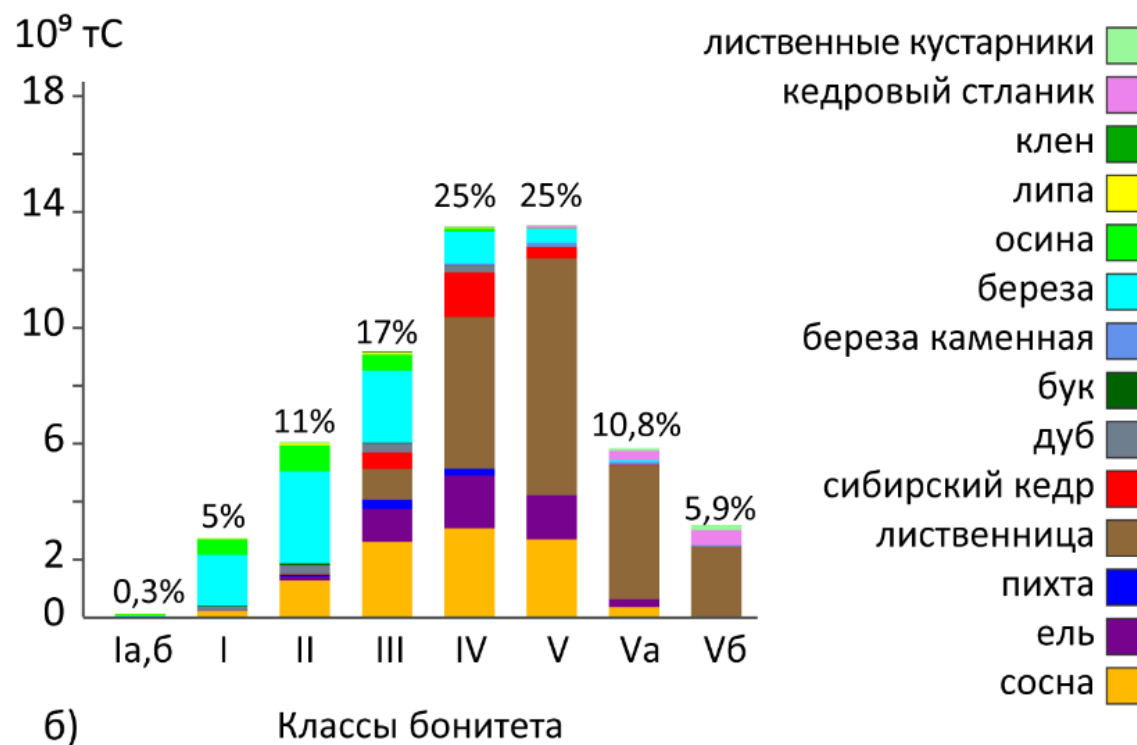
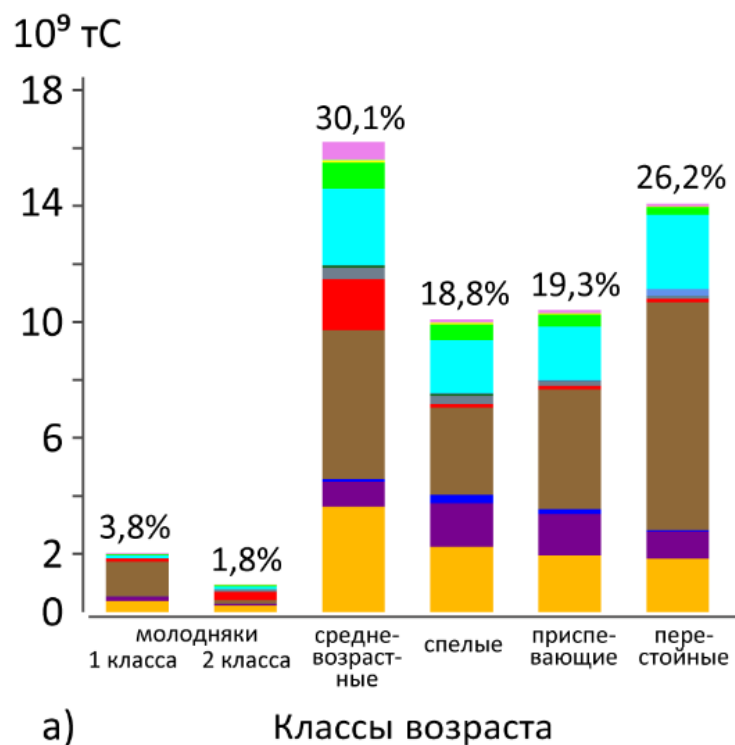
Запасы углерода в растительной биомассе лесов России



Запасы углерода в лесах различных преобладающих пород



Запасы углерода лесов различных преобладающих пород по классам возраста и бонитета



ИЗМЕНЕНИЕ ЗАПАСА УГЛЕРОДА



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

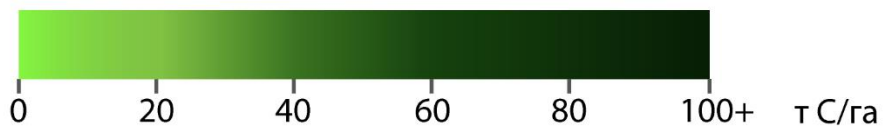
СРЕДНЕГОДОВОЕ ИЗМЕНЕНИЕ ЗАПАСА УГЛЕРОДА, т С га⁻¹ год⁻¹:



ЗАПАС УГЛЕРОДА В ФИТОМАССЕ ЛЕСОВ



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

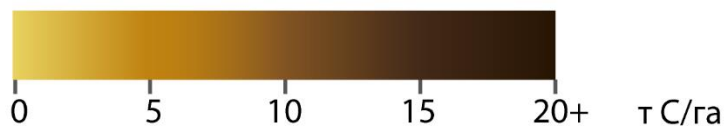


ЗАПАС УГЛЕРОДА В МОРТМАССЕ ЛЕСОВ



Коническая равноугольная проекция Альберса

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ



Предварительные оценки нетто-поглощения углерода лесами России

Запасы С (млрд. т): Все леса



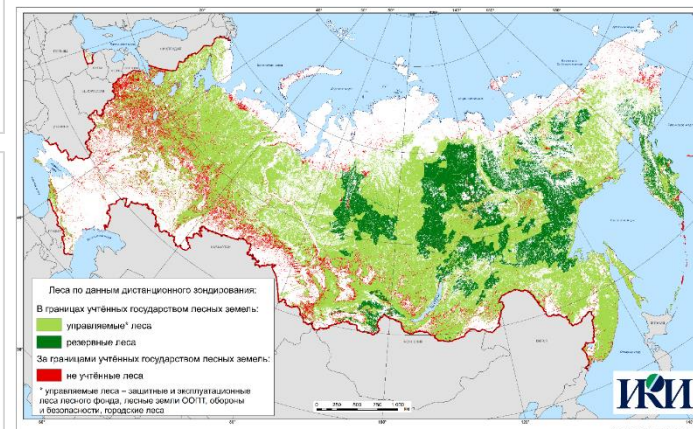
Запасы С (млрд. т): Управляемые леса



Запасы С (млрд. т): Резервные леса



Запасы С (млрд. т): Леса на с/х землях



Полученные по данным ДЗЗ оценки подтверждают высокий уровень нетто-поглощения углерода лесами России. В последнее десятилетие наибольшее нетто-поглощение углерода наблюдается в лесах на заброшенных с/х землях, в то время как скорость поглощения углерода резервными и управляемыми лесами имеет тенденцию к снижению.

Региональные оценки нетто-поглощения углерода резервными лесами

Запасы С резервных лесов (млрд. т):
Республика Саха



Запасы С резервных лесов (млрд. т):
Иркутская область



Запасы С резервных лесов (млрд. т):
Хабаровский край



Запасы С резервных лесов (млрд. т):
Красноярский край



Запасы С резервных лесов (млрд. т):
Республика Тыва



Запасы С резервных лесов (млрд. т):
Камчатский край



Оценка потенциала нетто-поглощения углерода лесной растительностью естественных редиин

Площадь перехода между лесом и рединами в период 2002-2022 гг, млн. га	Управляемые леса	Резервные леса	Неучтенные леса на ЗСХН	Всего
Леса остались лесами	605,2	180,5	26,2	811,9
Редины перешли в лес	36,5	16,4	9,3	62,2
Леса перешли в редины	10,9	4,6	1,2	16,7
Редины остались рединами	17,7	10,9	2,6	31,2
Тренд изменения запасов углерода в 2002-2022 гг, млн Т С в год	Управляемые леса	Резервные леса	Неучтенные леса на ЗСХН	Всего
Леса остались лесами	96,62	25,96	19,14	141,71
Редины перешли в лес	27,35	4,11	30,84	62,31
Леса перешли в редины	-12,57	-2,25	-1,86	-16,68
Редины остались рединами	14,09	5,89	8,01	27,99

Возможности получения данных о лесах на основе ДЗЗ для Национального кадастра ПГ

Сравниваемые характеристики лесов	Сравниваемые показатели							
	Значения характеристик лесов		Территориальный охват		Периодичность обновления данных		Пространственная детальность	
	ДЗЗ	ГЛР	ДЗЗ	ГЛР	ДЗЗ	ГЛР	ДЗЗ	ГЛР
Занятая лесом площадь, млн. га (2022)	853 811 624 187 42	766 601 165	Вся территория РФ	Лесной фонд	1 год	>10 лет	~5 га	Субъекты РФ
Запас древесины, млрд. м3 (2022)	111 105 90 15 6	83	Вся территория РФ	Лесной фонд	1 год	>10 лет	~5 га	Субъекты РФ
Площадь погибших от пожаров лесов, млн. га в год (в среднем за период 2002-2022)	1,2	1,4	Все пожары	Выборочные пожары	1 год	Не определена	~5 га	Не определена
Нетто-поглощение углерода растительной биомассой лесов, млн т С в год (в среднем за период 2002-2022)	249 196 147 49 56	154	Вся территория РФ	Управляемые леса	1 год	1 год	~5 га	Субъекты РФ

Методы ДЗЗ обеспечивают уникальные (практически не достижимые другими методами) возможности получения данных о лесах для Национального кадастра парниковых газов, а именно:

- **полный ежегодный охват всей территории страны**, в том числе, возможность ежегодного сбора данных о лесах не включенных в ГЛР;
- **высокий уровень полноты данных** о лесах, в частности по площади и запасу данные ДЗЗ дают более высокие оценки в сравнении с ГЛР;
- **высокая пространственная детальность** получаемой информации о лесах (5 га с перспективой дальнейшего повышения), обеспечивающая возможности эффективного прогностического моделирования бюджета углерода.

Все леса – **Учитываемые в ГЛР** – **Управляемые** – **Резервные** – **Не учитываемые в ГЛР**



РИТМ
углерода

Спасибо за внимание !

Работа выполняется в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения "Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).