



Министерство обороны Российской Федерации

Департамент имущественных отношений Минобороны России

Федеральное государственное автономное учреждение
«Управление лесного хозяйства» Минобороны России



Применение данных
дистанционного зондирования
и многомерного анализа в
лесотаксации и информационном
обеспечении лесного хозяйства

Советник начальника
«Управление лесного хозяйства» Минобороны России
Петров Иван Кириллович
+7 925 378-19-11

Доля лесного комплекса в экономике России составляет около 1,5% - это в разы ниже, чем в странах, где имеются аналогичные лесопромышленные комплексы

Проблемы привлечения инвестиции в лесной комплекс:

- Слабая инфраструктурная развитость регионов
- Отсутствие реальных данных по лесному фонду (запасы древостоя)
- Невозможность постоянного обследования территорий
- Отсутствие качественных данных изучения леса (историческое занижение запаса древостоя)
- Сложная нормативно-правовая база
- Представления о существовании однородного таксационного лесного выдела с однородными лесорастительными условиями
- Большие территории России
- Человеческий фактор

Новые технологические возможности космической отрасли позволяют привести изучение лесного комплекса в соответствие с реалистичными потребностями экономики России (метод «Космотаксации»)



Научная основа метода

Выявление спектральных характеристик лесной растительности возможно в трех режимах:

1

Детальная съемка (разрешение менее 5м,Rapideye)

- Вносит шумовой эффект и затрудняет выявление зависимостей на уровне детализации > 0.5 га, высокая стоимость, необходимость распознавания отдельных деревьев
- + Потенциальная точность на уровне состояния отдельных деревьев

2

Средне-детальная съемка (20-40м,Landsat)

- Огрубляет границы условно гомогенных участков.
- + Позволяет взглянуть на зависимость между поглощением солнечной радиации и растительностью на уровне группы деревьев, подходит для масштабов инвентаризации лесов, относительно низкая стоимость

3

Мелкомасштабная съемка (от 200м,Modis)

- Не соответствует детализации инвентаризации лесов
- + Позволяет быстро оценить общие зависимости и характеристики лесов на больших пространствах, обширная база снимков, низкая стоимость

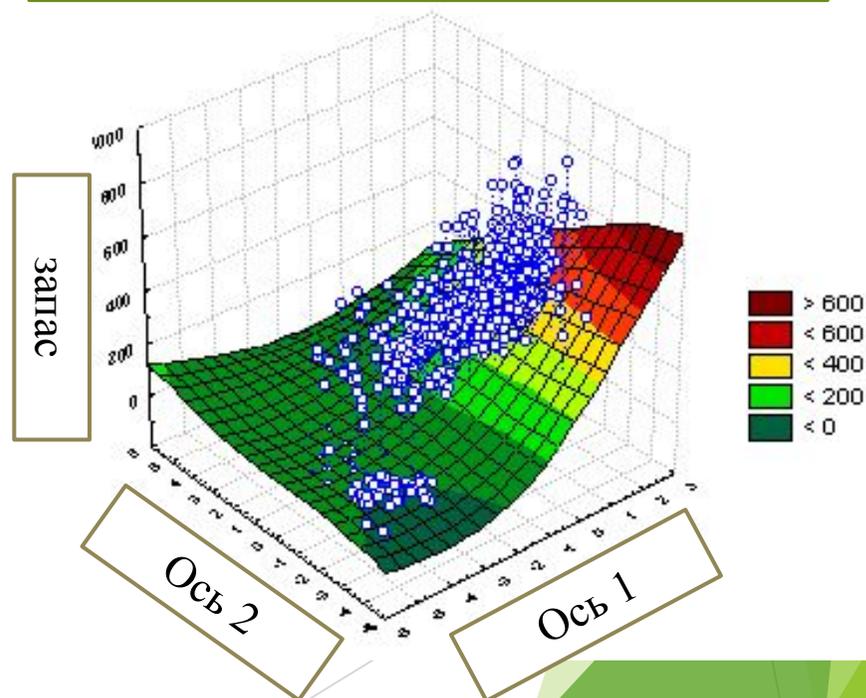
- Оптимальным является использование мультиспектральных снимков с разрешением 5-20 м, и количеством спектральных каналов не менее 5, за несколько сроков съемки, покрывающие период с февраля по сентябрь
- Рассчитать модели можно для всех основных характеристик (запас, полнота, группы возраста и т.д.)

Среднее качество дискриминации по различным моделям колеблется около 60% (меньше для редких пород, больше для основных характеристик и пород)

Варьирование лесотаксационных переменных описанное дискриминантными функциями

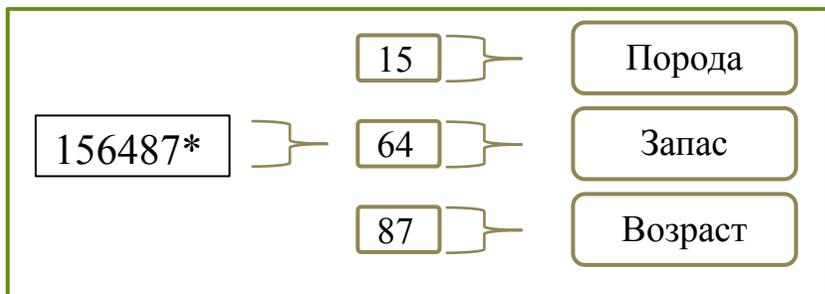
	запас	ель	береза	возраст
первая ось	0.65	0.46	0.37	0.38
вторая ось	0.18	0.16	0.25	0.22
третья ось	0.06	0.07	0.1	0.12
четвертая ось	0.01	0.05	0.09	0.07
общее	0.9	0.74	0.81	0.79

Общий запас в пространстве двух осей



Предлагаемый алгоритм решения задачи:

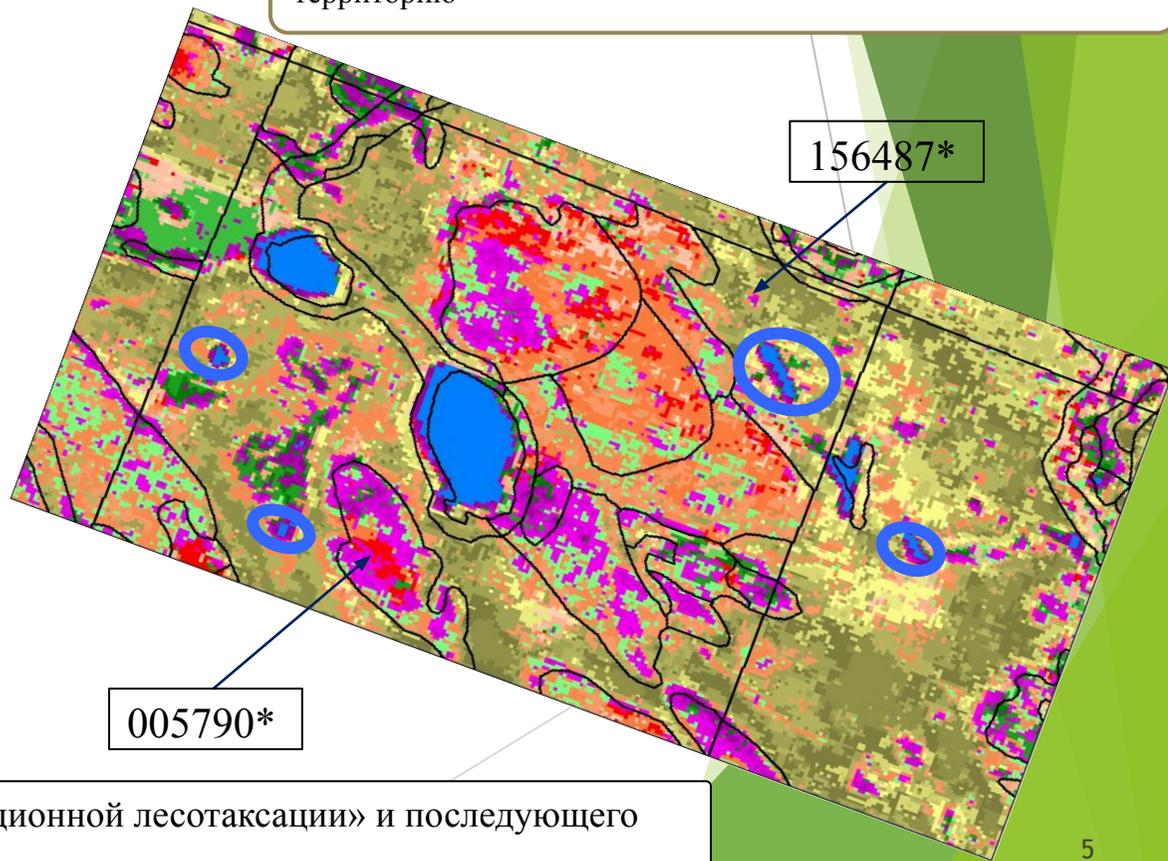
Классификация разнообразия спектральных состояний рассматриваемой территории



№	КОД	ПАРАМЕТР
1	016510	Сосна, молодняки, запас 0,65
2	011711	Сосна, средневозрастные, запас 0,17
3	014512	Сосна, приспевающие, запас 0,45
4	013814	Сосна, спелные, запас 0,38
5	012015	Сосна, перестойные, запас 0,20
6	024614	Береза, спелые, запас 0,46
	
98	076013	Ольха, приспевающие, запас 0,60

Дискриминантный анализ

Выявление формы функциональной связи между лесохозяйственными характеристиками и поглощением солнечной радиации
Интерполяция лесохозяйственных характеристик на всю территорию



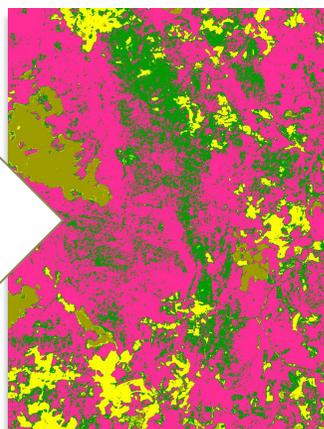
* - данные дешифрируемые методом «Дистанционной лесотаксации» и последующего анализа методом «Космотаксации»

Дихотомическая классификация

Процедура заключается в последовательном беспороговом разбиении всего множества значений по основанию два.



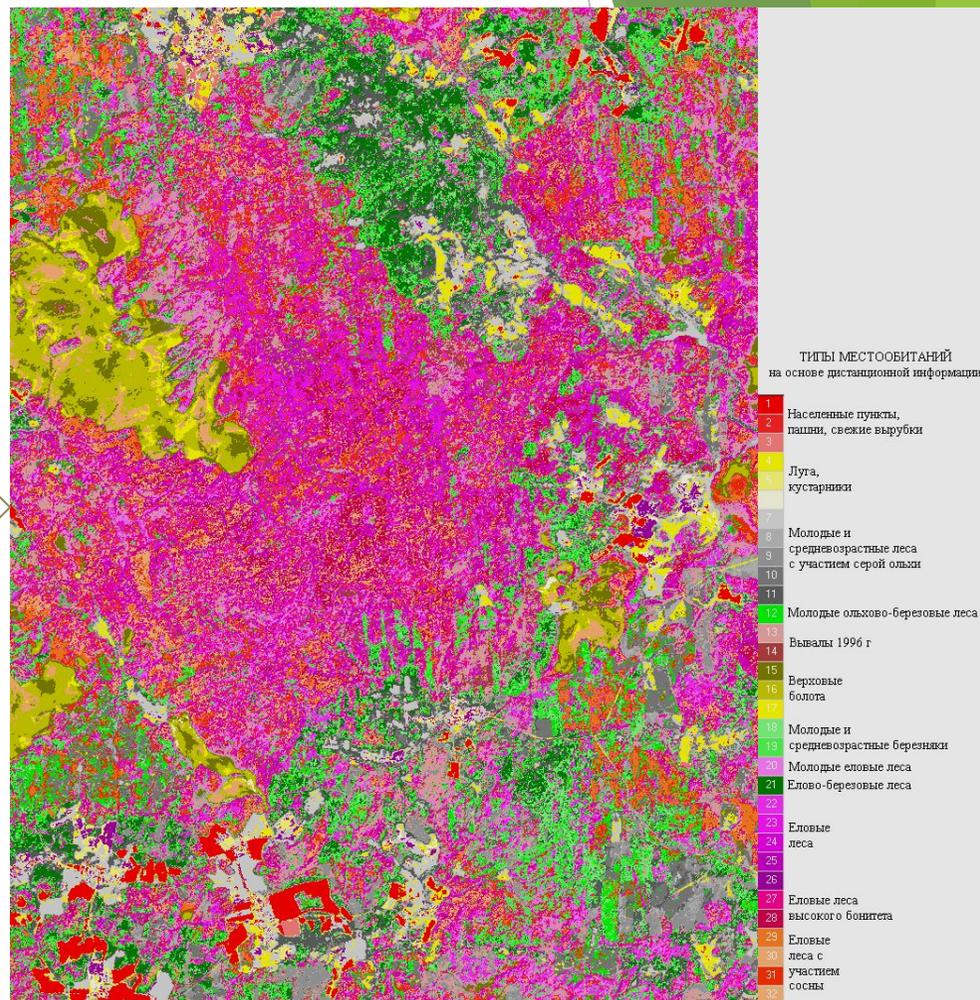
2^2

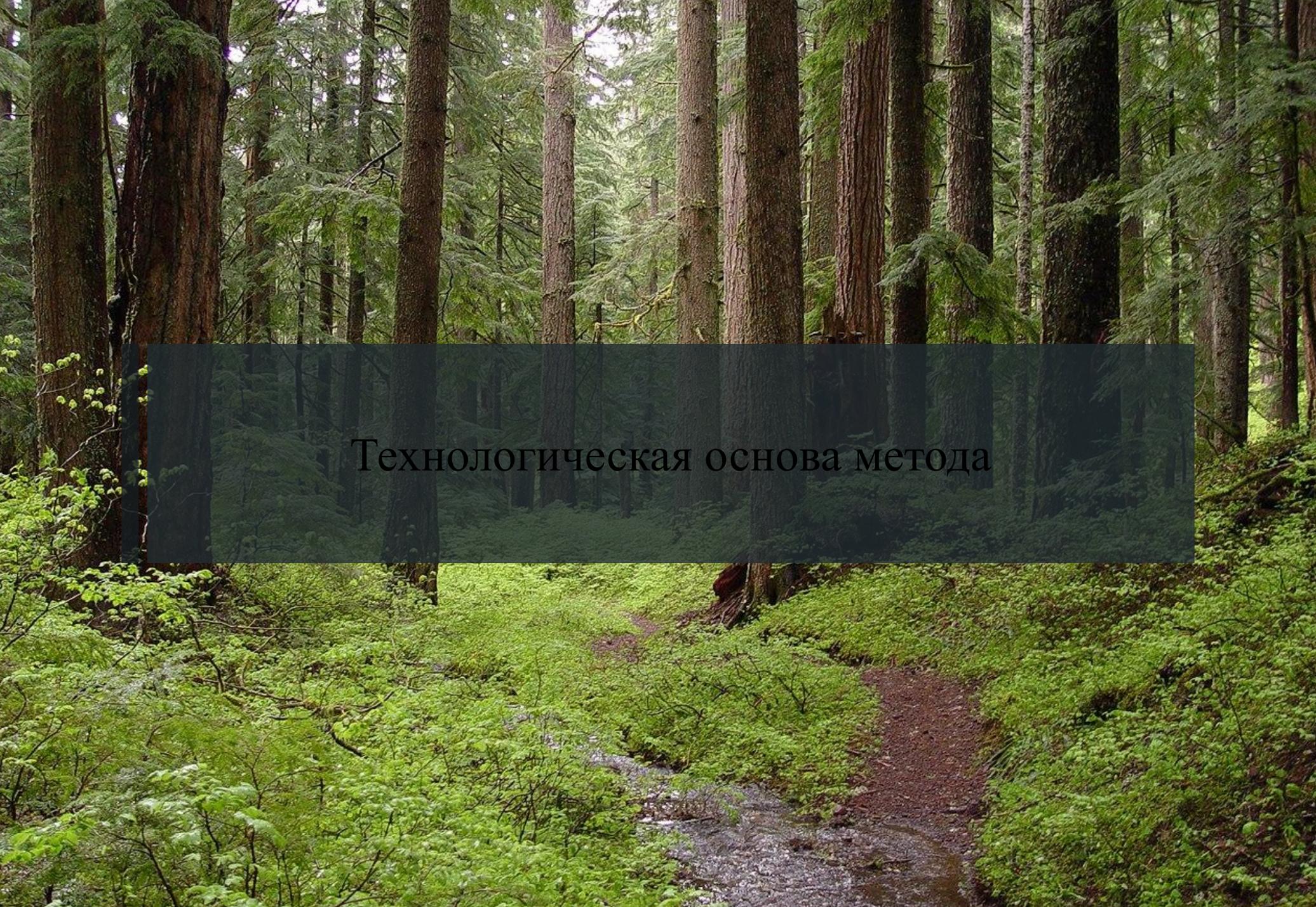


$\dots 2^8$

Данная процедура позволяет без привлечения посторонних соображений выделить всё разнообразие состояний растительности на заданном уровне детальности.

Породный состав насаждений по группам возраста					Прочие категории	
	Сосна	Ель	Береза	Тополь	Ольха	
молодняки	[light yellow]	[light pink]	[light blue]	[light green]	[light purple]	болота
средневозрастные	[orange]	[pink]	[blue]	[green]	[purple]	не лесные территории
приспевающие	[yellow-orange]	[magenta]	[cyan]	[lime green]	[violet]	прочие породы
спелые	[orange-red]	[red]	[teal]	[green]	[purple]	
перестойные	[brown]	[dark purple]	[dark blue]	[dark green]	[dark purple]	



A photograph of a lush forest. The foreground is filled with vibrant green ferns and other undergrowth. A path of brown leaves and twigs leads through the forest. In the background, numerous tall, straight tree trunks rise vertically, creating a sense of depth. The lighting is soft and diffused, typical of a forest interior.

Технологическая основа метода

Принципиальная схема работы алгоритма

Интеграция данных дистанционного зондирования и вспомогательных данных

Агрегация пространственных данных



Комплекс интерпретации ДДЗ, полевых наблюдений и вспомогательных данных

Статистико-аналитический поиск параметров порядка

Спектральный анализ

Термодинамический информационный анализ



Статистико-аналитический поиск параметров порядка

Классификация данных

Физиологическая интерпретация данных



Пространственно-стратегическое планирование

Решение задач оптимизации

Сценарное моделирование

Технологический консорциум



Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
Институт географии



Программная среда, специально разработанная для осуществления полного цикла работ по оценке лесного фонда.

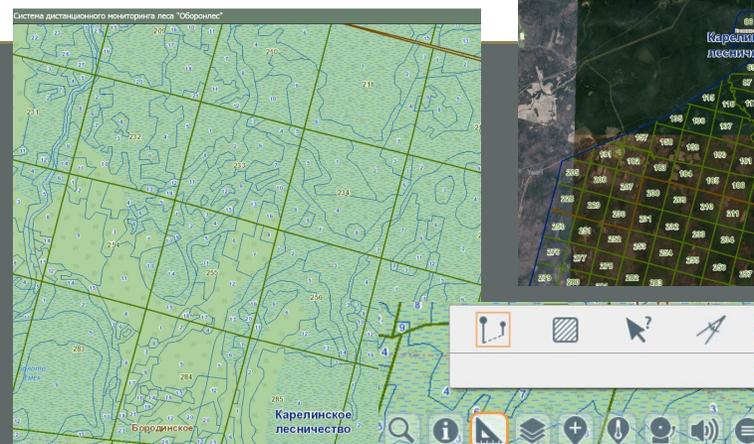
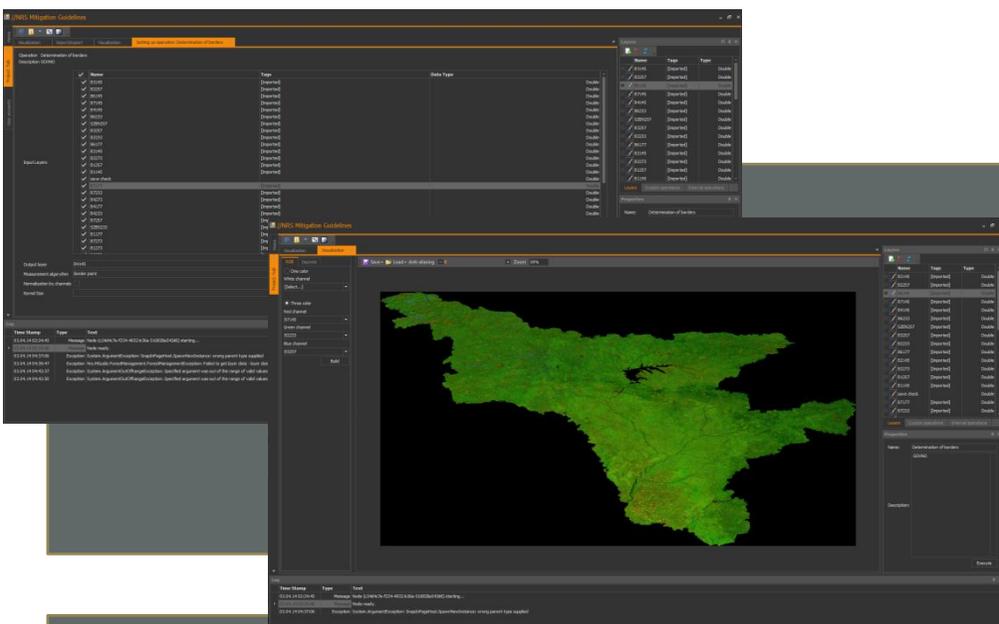
Текущая версия программного продукта применяется для оценки запасов лесных ресурсов и планирования заготовки ресурса для целей подготовки тематических слоев, для последующей обработки на этапе камеральных работ и публикации на ГИС серверах.

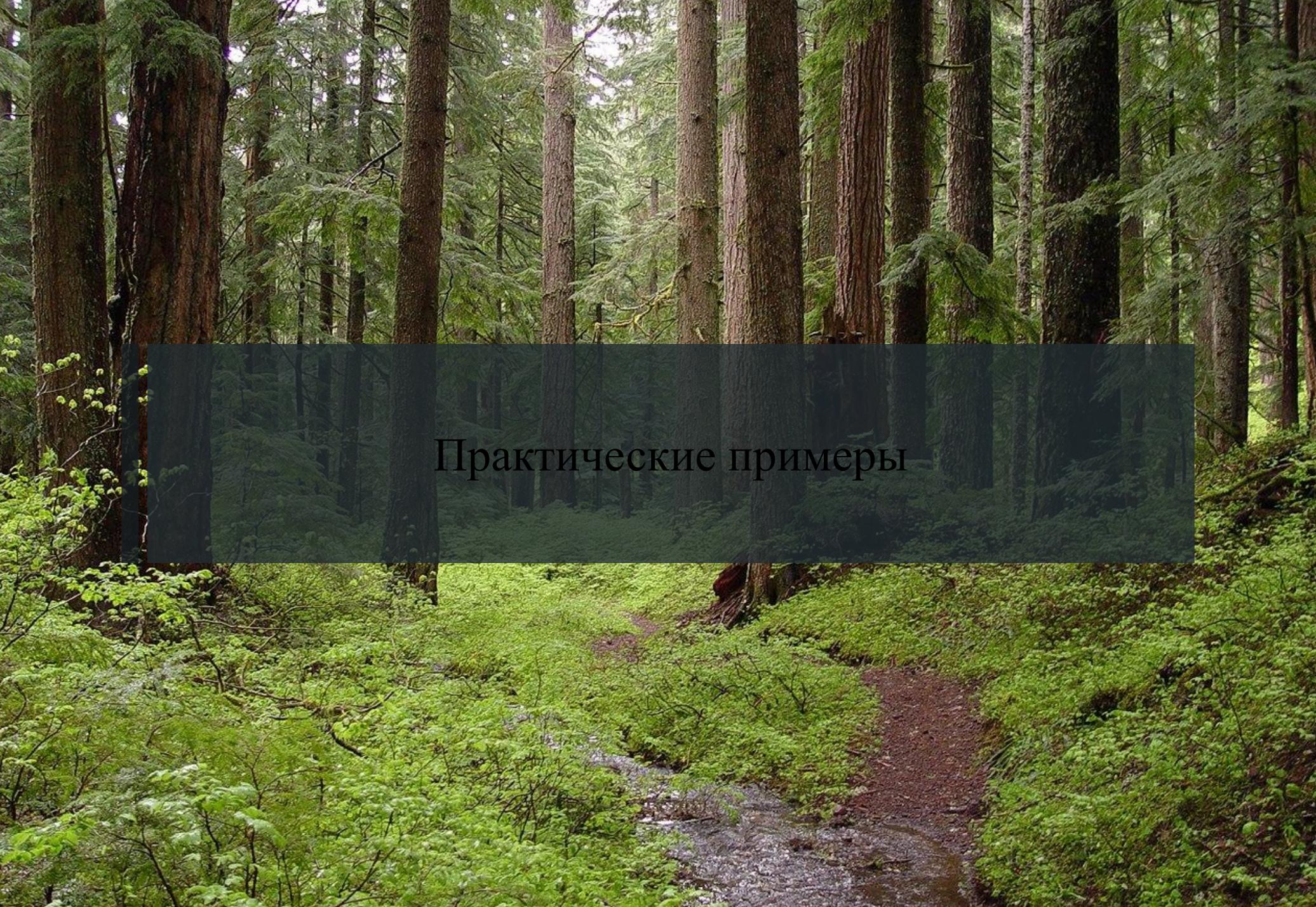
Текущая версия ПО реализует:

- ▶ Псевдооблачную инфраструктуру для обработки больших массивов пространственных данных;
- ▶ Замкнутый, самодостаточный набор модулей для анализа, преобразования и отображения данных;
- ▶ Инструментарий для интеграции пользовательских алгоритмов обработки данных;
- ▶ Систему сбора и агрегации данных от внешних источников.

Текущая версия ПО реализует:

- Технологию «искусственного интеллекта»;
- ГИС сервер по технологии SAAS;
- Интеграция с системами Рослесхоза;
- Возможность отображения «псевдо» временных слоев;
- Автоматический функционал сбора данных ДЗЗ среднего разрешения для последующей обработки;
- Отображение таксационных данных.



A photograph of a dense forest with tall, straight trees and a path covered in green undergrowth. A dark, semi-transparent banner is overlaid across the middle of the image, containing the text "Практические примеры".

Практические примеры

ДРЕВЕСНЫЕ ПОРОДЫ

Шабалинское лесничество
Жирновское участковое лесничество
Кировская область

46°20'

46°22'

46°24'

46°26'

46°28'

46°30'

58°8'

58°8'

58°6'

58°6'

46°20'

46°22'

46°24'

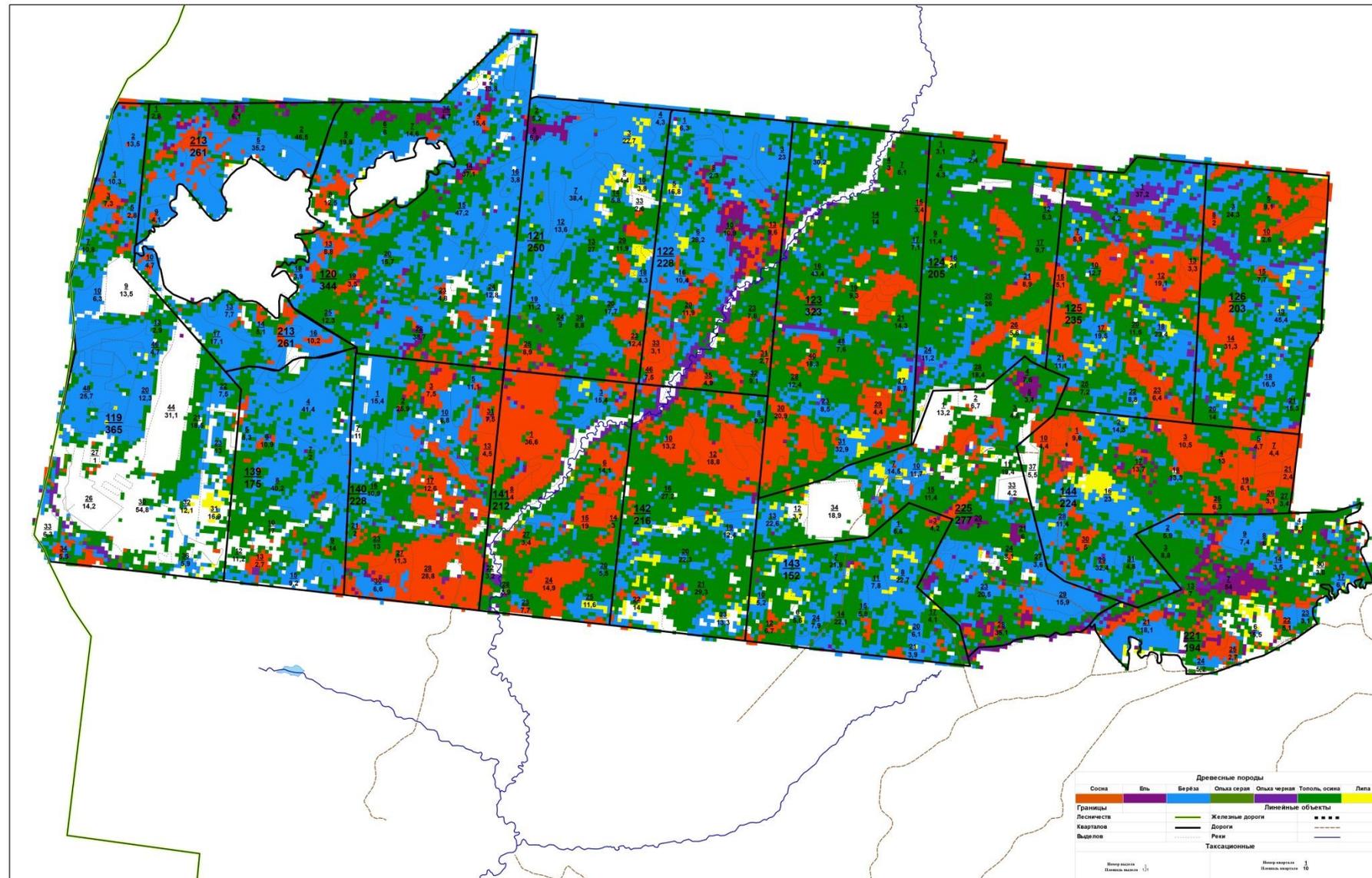
46°26'

46°28'

46°30'

1 : 20 000

0 145 290 580 870 1160 1450 1740 Метры



Древесные породы						
Сосна	Бер	Береза	Ольха серая	Ольха черная	Тополь, осина	Липа
Границы			Линейные объекты			
Лесничество			Железные дороги			
Кварталов			Дороги			
Выщелок			Речи			
Таксационные						
Выводы			Выводы			
Шкала масштаба 1:20000			Шкала масштаба 1:20000			

ГРУППЫ ВОЗРАСТА

Шабалинское лесничество
Жирновское участковое лесничество
Кировская область

46°20'

46°22'

46°24'

46°26'

46°28'

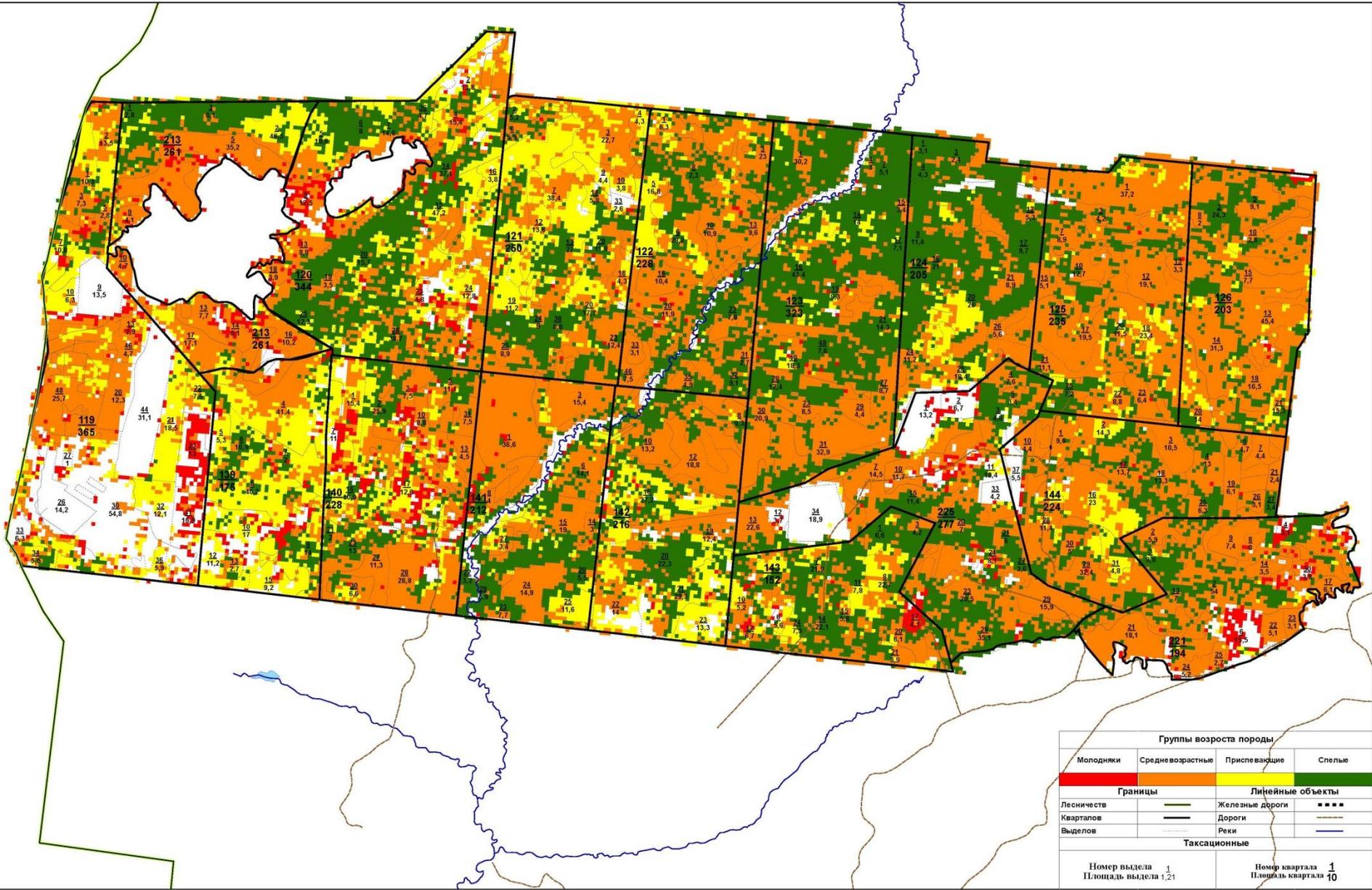
46°30'

58°8'

58°8'

58°6'

58°6'



Группы возраста породы			
Молодняки	Средневозрастные	Приспевающие	Спелые
Границы		Линейные объекты	
Лесничеств	Железные дороги	Кварталов	Дороги
Выделов	Реки		
Таксационные			
Номер выдела	1	Номер квартала	10
Площадь выдела	1,21	Площадь квартала	10

46°20'

46°22'

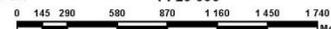
46°24'

1: 20 000

46°26'

46°28'

46°30'



ДРЕВЕСНЫЕ ПОРОДЫ И ГРУППЫ ВОЗРАСТА

Итабалинское лесничество
Жирновское участковое лесничество
Кировская область

46°20'

46°22'

46°24'

46°26'

46°28'

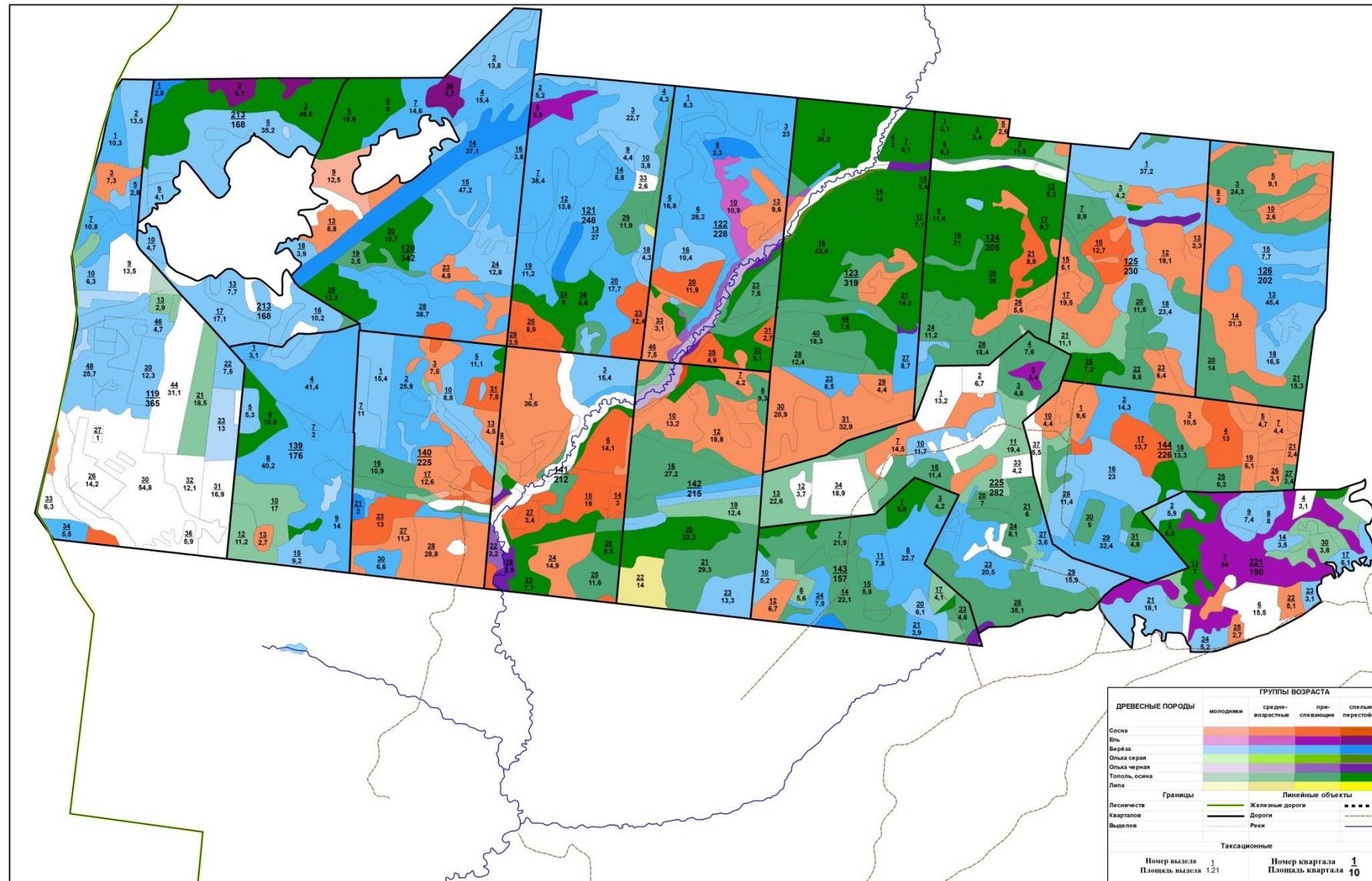
46°30'

58°8'

58°6'

58°8'

58°6'



ДРЕВЕСНЫЕ ПОРОДЫ	ГРУППЫ ВОЗРАСТА			
	молодняки	средне-возрастные	при-спелые	спелые и переставшие
Сосна	Light Blue	Light Green	Light Orange	Light Purple
Бель	Light Blue	Light Green	Light Orange	Light Purple
Береза	Light Blue	Light Green	Light Orange	Light Purple
Ольха серая	Light Blue	Light Green	Light Orange	Light Purple
Ольха черная	Light Blue	Light Green	Light Orange	Light Purple
Тополь, осина	Light Blue	Light Green	Light Orange	Light Purple
Липа	Light Blue	Light Green	Light Orange	Light Purple
Границы	Железные дороги — — — — — Дороги — — — — — Реки — — — — —			
Лесничества	Каширское — — — — — Выделов — — — — —			
Номер выдела 1		Номер квартала 1		
Площадь выдела 1,21		Площадь квартала 10		

46°20'

46°22'

46°24'

46°26'

46°28'

46°30'



СРЕДНИЕ ЗАПАСЫ НА ВЫДЕЛ

Шабалинское лесничество
Жирновское участковое лесничество
Кировская область

46°20'

46°22'

46°24'

46°26'

46°28'

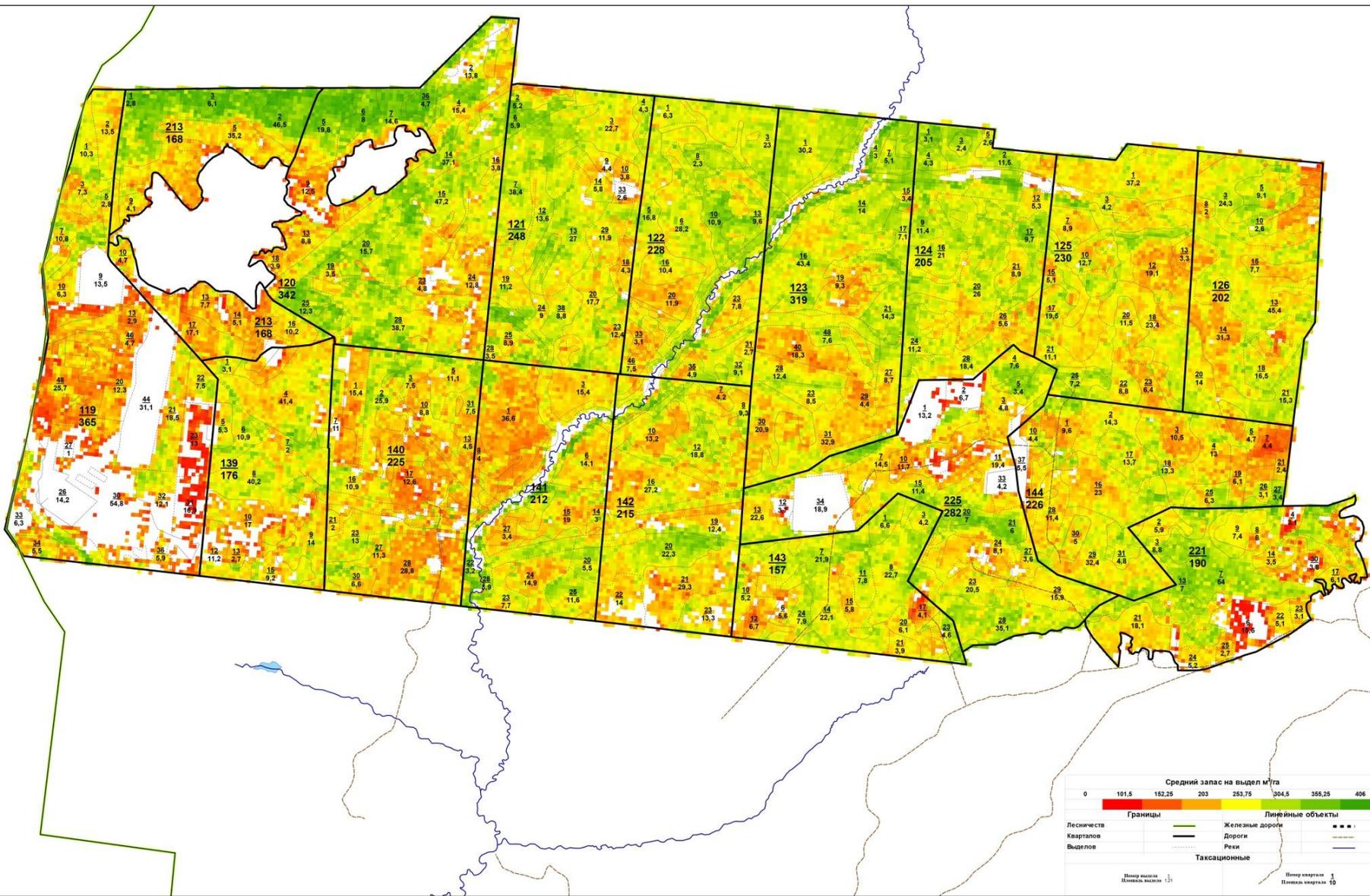
46°30'

58°8'

58°8'

58°6'

58°6'



Средний запас на выдел м³/га

0	101,5	152,25	203	253,75	304,5	355,25	406
---	-------	--------	-----	--------	-------	--------	-----

Границы **Линейные объекты**

Лесничств	Железные дороги	---
Кварталов	Дороги	---
Выделов	Реки	---
	Таксационные	---

Исход. масштаб 1:20 000
Помощ. масштаб 1:50 000

46°20'

46°22'

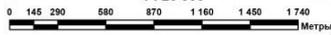
46°24'

1 : 20 000

46°26'

46°28'

46°30'



СРЕДНИЕ ЗАПАСЫ НА ВЫДЕЛ

Шабалинское лесничество
Жирновское участковое лесничество
Кировская область

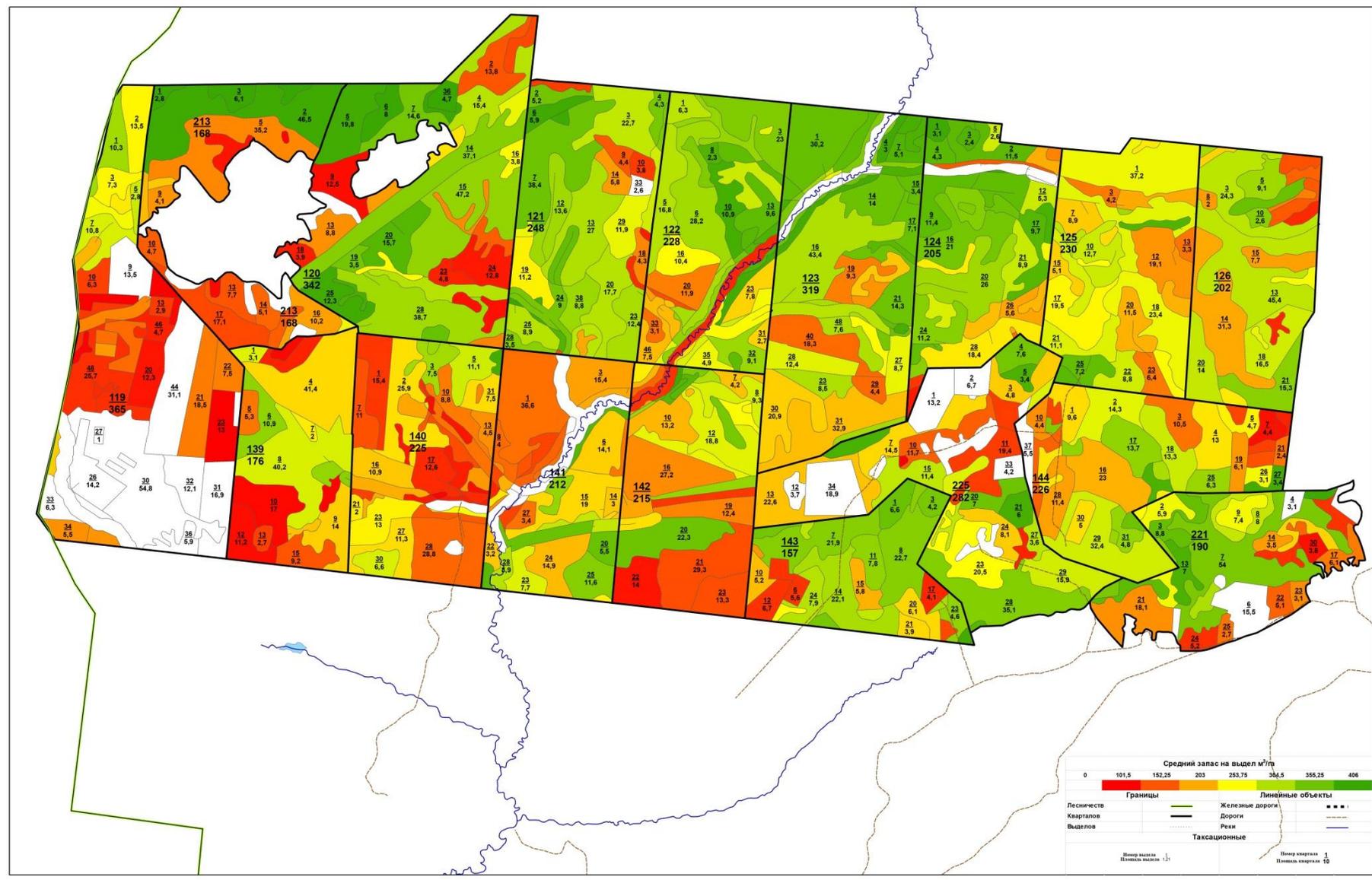
46°20' 46°22' 46°24' 46°26' 46°28' 46°30'

58°8'

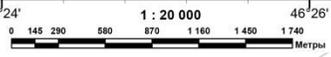
58°8'

58°16'

58°16'



46°20' 46°22' 46°24' 46°26' 46°28' 46°30'



БОНИТЕТ

Шабалинское лесничество
Жирновское участковое лесничество
Кировская область

46°20'

46°22'

46°24'

46°26'

46°28'

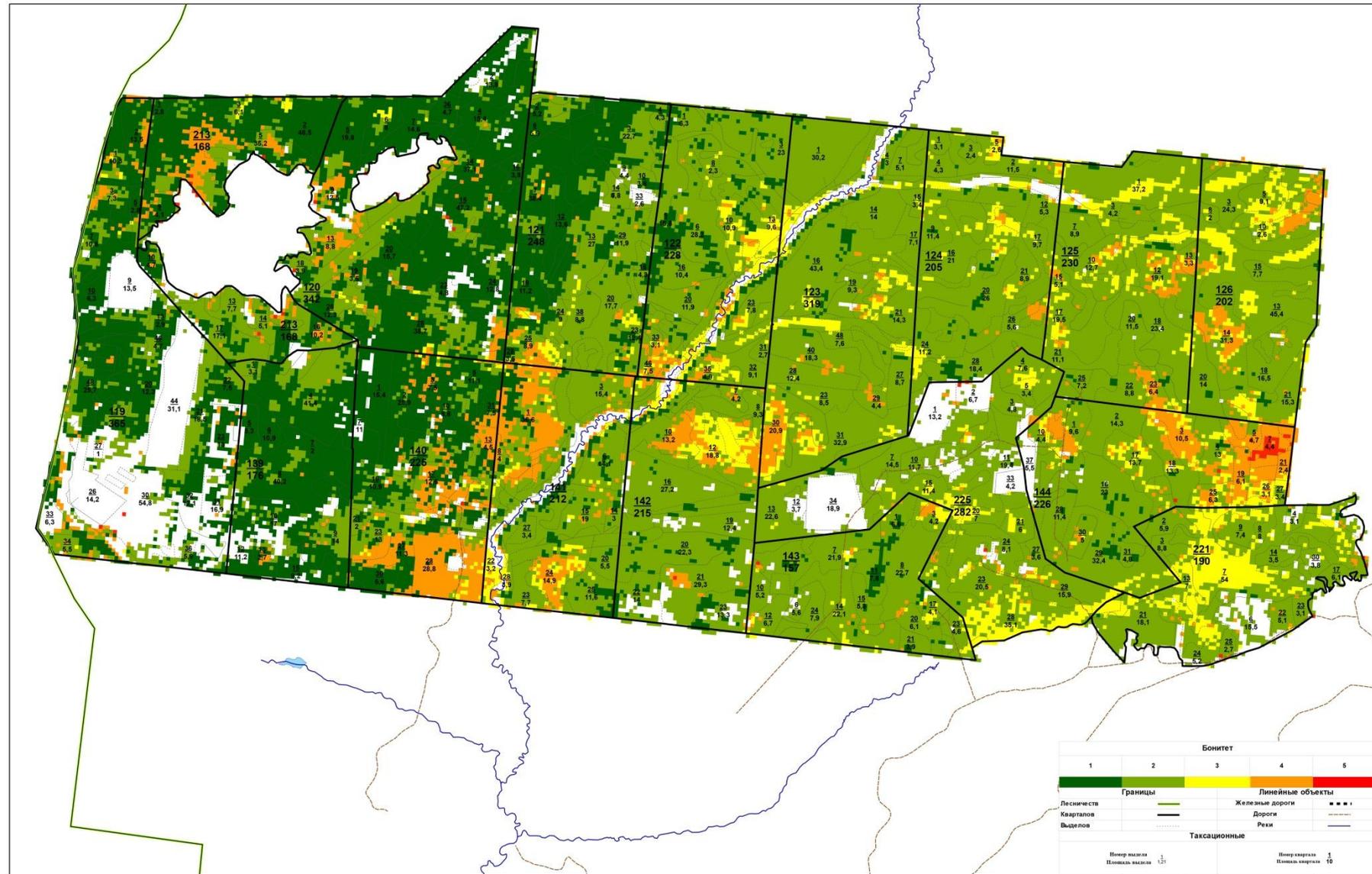
46°30'

58°8'

58°8'

58°6'

58°6'



БОНИТЕТ				
1	2	3	4	5
Границы		Линейные объекты		
Лесничества		Железные дороги		
Кварталов		Дороги		
Выделов		Реки		
Таксационные				
Номер выдела Площадь выдела 1/121		Номер квартала Площадь квартала 1/10		

46°20'

46°22'

46°24'

46°26'

46°28'

46°30'



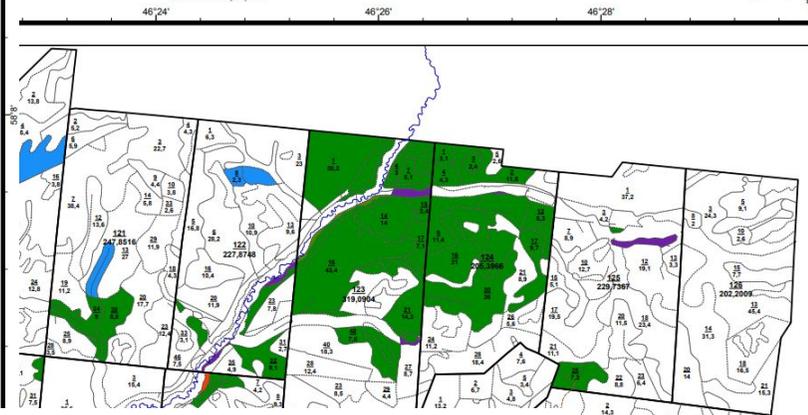
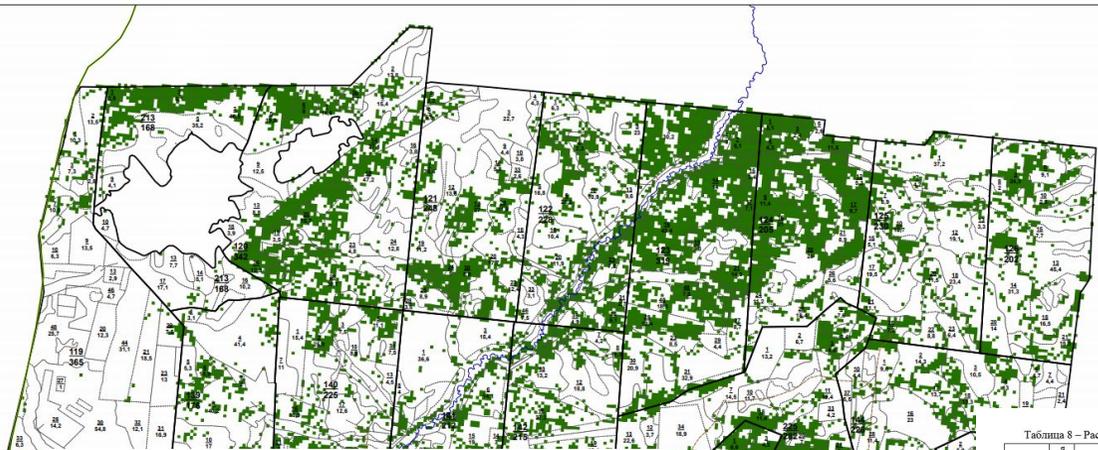


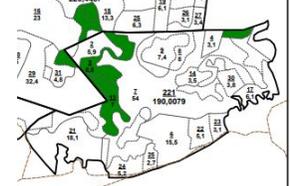
Таблица 7 – Распределение площадей и запасов насаждений, включенных в расчет ежегодного допустимого объема изъятия древесины при рубках спелых и перестойных насаждений по группам возраста (числитель – площадь, га; знаменатель – запас, т. ком.)

Преобладающие породы	Ед. изм.	Молодняки		Средневозрастные	Приспевающие	Спелые и перестойные		Итого
		I класс	II класс			Всего	в т.ч. перестойные	
Итого по арендованному участку								
Сосна	га	1	13	564	170	1		748
	ком.	71	1529	117783	36490	168		156040
	ком.	94	2151	141850	46040	246		190381
Ель	га			12	71	15	6	98
	ком.			2943	15360	3868	1578	22171
	ком.			4014	21777	6024	2450	31815
Итого хвойных	га	1	13	576	241	16	6	846
	ком.	71	1529	120723	51851	4035	1578	178211
	ком.	94	2151	145864	67818	6269	2450	222196
Береза	га	13	10	649	740	55	3	1466
	ком.	390	687	109459	150372	11165	696	272968
	ком.	1181	1316	157936	209425	15488	1045	386390
Осина	га		3	178	541	526	54	1248
	ком.		210	28144	109243	116684	12357	254282

48

Таблица 8 – Расчетная лесосека по сплошным рубкам спелых и перестойных насаждений (вариант 1)

Хвойная и преобладающая порода	В том числе по группам возраста										Исчисленные расчетные	Рекомендуемая к прирванто				Предполагаемый остаток насаждений, га							
	средневозрастные		спелые и перестойные		в том числе перестойные		в том числе перестойные		в том числе перестойные			Всего	в насаждении		в том числе: лесной % дачной от площади								
Сосна	846	13	576	576	241	16	6	4036	252	3201	10,4		6,4	13,8		7	1,4	352	310	342,7	79	11	0
Ель	98	0	12	12	71	15	6	3868	238	312	81	9,2	4,3	12,2	5,7	0,1	17	15	12,6	84	10	н/д	н/д
Итого хвойных	2769	26	841	741	1294	608	57	131168	216	12241	55,2	95	88,1	54,7	42,8	9174	7502	3508,1	47	14	741	1474	
Береза	1467	23	649	549	740	55	3	11165	203	5808	65	24	39,7	44,8	35	11	2233	1942	1106,9	57	5	549	685
Осина	1248	3	178	178	541	526	54	116684	232	6265	41	30,4	35,3	41,5	18,1	30,4	6749	5399	3521,6	43	17	178	763
Опаша осина	2	0	0	0	0	2	0	389	194	8	41	0	0,1	0	0	0,1	40	32	13,8	43	10	0	1
Осина черная	38	0	0	0	13	25	0	2930	117	100	61	0,6	1,9	1,3	1,3	1,3	152	129	65,8	51	19	0	25
Липа	14	0	14	14	-	-	-	-	-	60	61	0,2	0	0,5	0,3	0	0	0	0	0	0	14	0
Итого по сплошным рубкам	3615	39	1417	1337	1535	624	63	133204	217	15442	65,6	101	102	61,7	44,2	9536	7812	3750,8	48	14	н/д	н/д	



ДРЕВЕСНЫЕ ПОРОДЫ	ГРУППЫ ВОЗРАСТА	
	спелые и перестойные	молодые
Сосна	Красный	Синий
Ель	Оранжевый	Зеленый
Береза	Фиолетовый	Желтый
Осина	Светло-зеленый	Светло-голубой
Опаша осина	Светло-розовый	Светло-серый
Осина черная	Светло-розовый	Светло-серый
Липа	Светло-розовый	Светло-серый
Итого	Светло-розовый	Светло-серый
Лесосека	Светло-розовый	Светло-серый
Итого по сплошным рубкам	Светло-розовый	Светло-серый

Планирование «отводов» (попиксельный и повыделенный уровень)

Для материально денежной оценки запаса древесины намеченного к рубке на лесосеках (до 3 га), предназначенных под сплошные рубки, осуществляется выборочная закладка полевых точек. Оценка лесосек большей площади осуществляется посредством метода дистанционной лесотаксации.

ИЗМЕНЕНИЯ ЗАПАСОВ НА ВЫДЕЛ

Шабалинское лесничество
Жирновское участковое лесничество
Кировская область

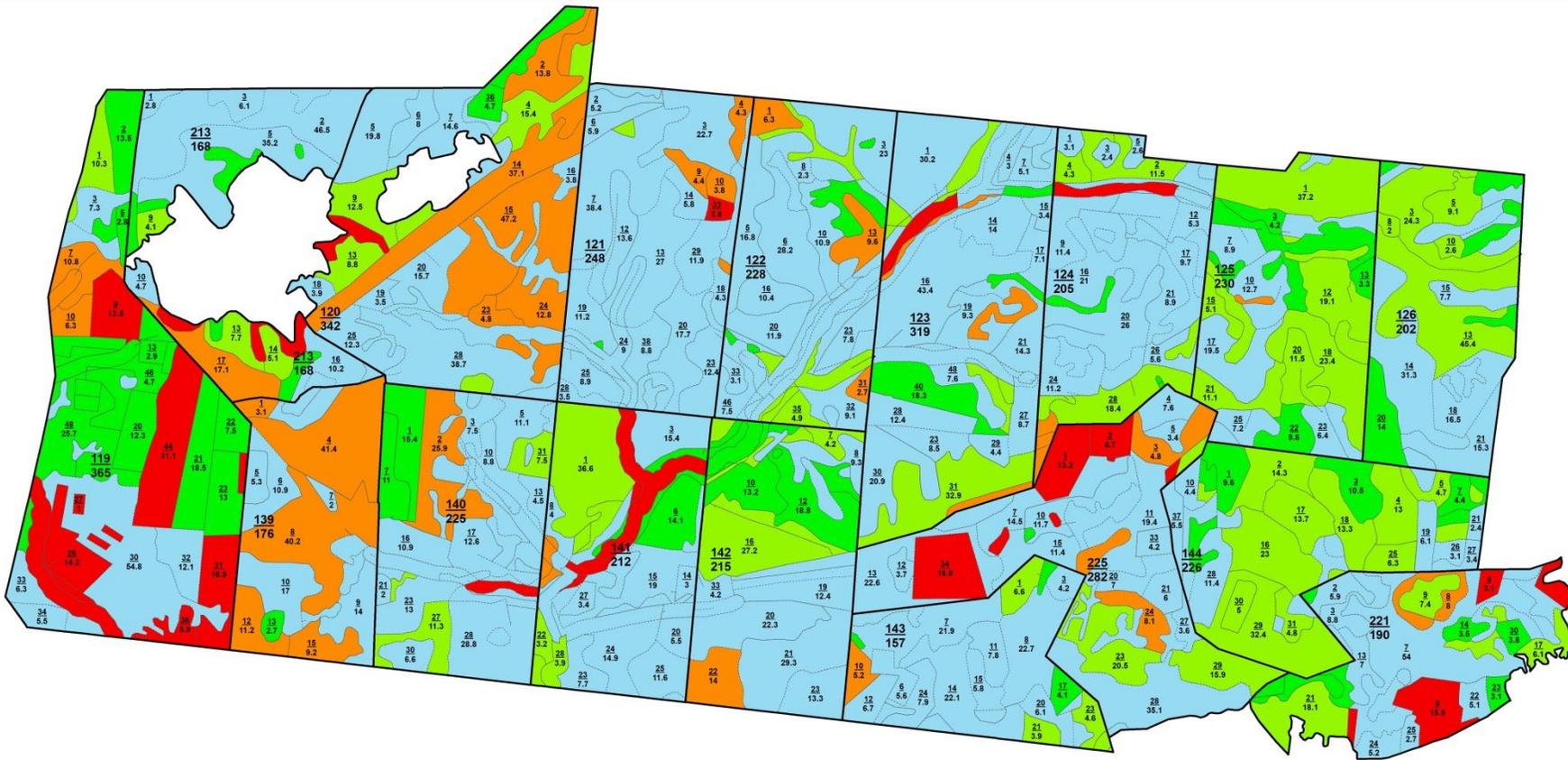
46°20' 46°22' 46°24' 46°26' 46°28' 46°30'

56°8'

56°6'

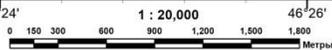
56°8'

56°6'



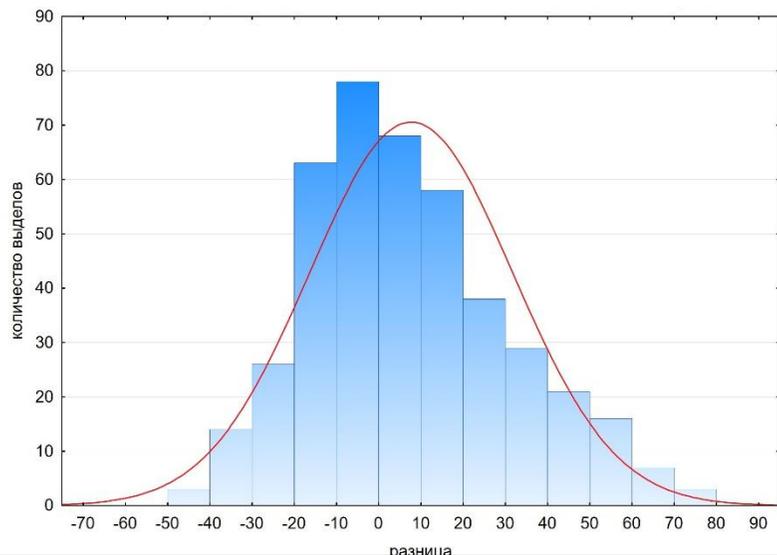
изменения в %				
<math><-60</math>	$-20-60$	$+1-20$	$+20-60$	$>+60$
Границы		Линейные объекты		
Лесничество	Железные дороги	Картавые	Дороги	Рельсы
Выделов	Речья	Таксационные		
Внутр выдел: 1:20000		Внутр квартал: 1:10000		

46°20' 46°22' 46°24' 46°26' 46°28' 46°30'



Апробация и сравнение методов, на примере Кировской области

Разница в запасах на выдел по данным модели относительно исходных данных в процентах



Результаты сравнения по трем методам:
Космотаксация, Классическое ЛУ, Натурные проверки

	Запас	Полнота	Возраст	Бонитет
Космотаксация	1	0,89	0,91	0,94
Классическое ЛУ	0,63	0,41	0,85	0,22
Полевой метод	1	1	1,00	1

Классическое ЛУ, не смотря на свои неточности, как правило отражает действительность не менее чем на 50%, т.е. дает адекватное представление о характере леса «в целом». При этом существенно занижает показатели запасов на выделе и не всегда может определить реальную ситуацию на территории лесного фонда.

Натурные исследования показали свою наибольшую точность, но при этом существенные ограничения в скорости и площади таксируемой территории.

Космотаксация допускает погрешности в запасе и определении породного состава, особенно на втором ярусе в пределах 10%.

Вывод: Наибольшую эффективность имеет метод Космотаксации, совместно с ограниченными полевыми выходами



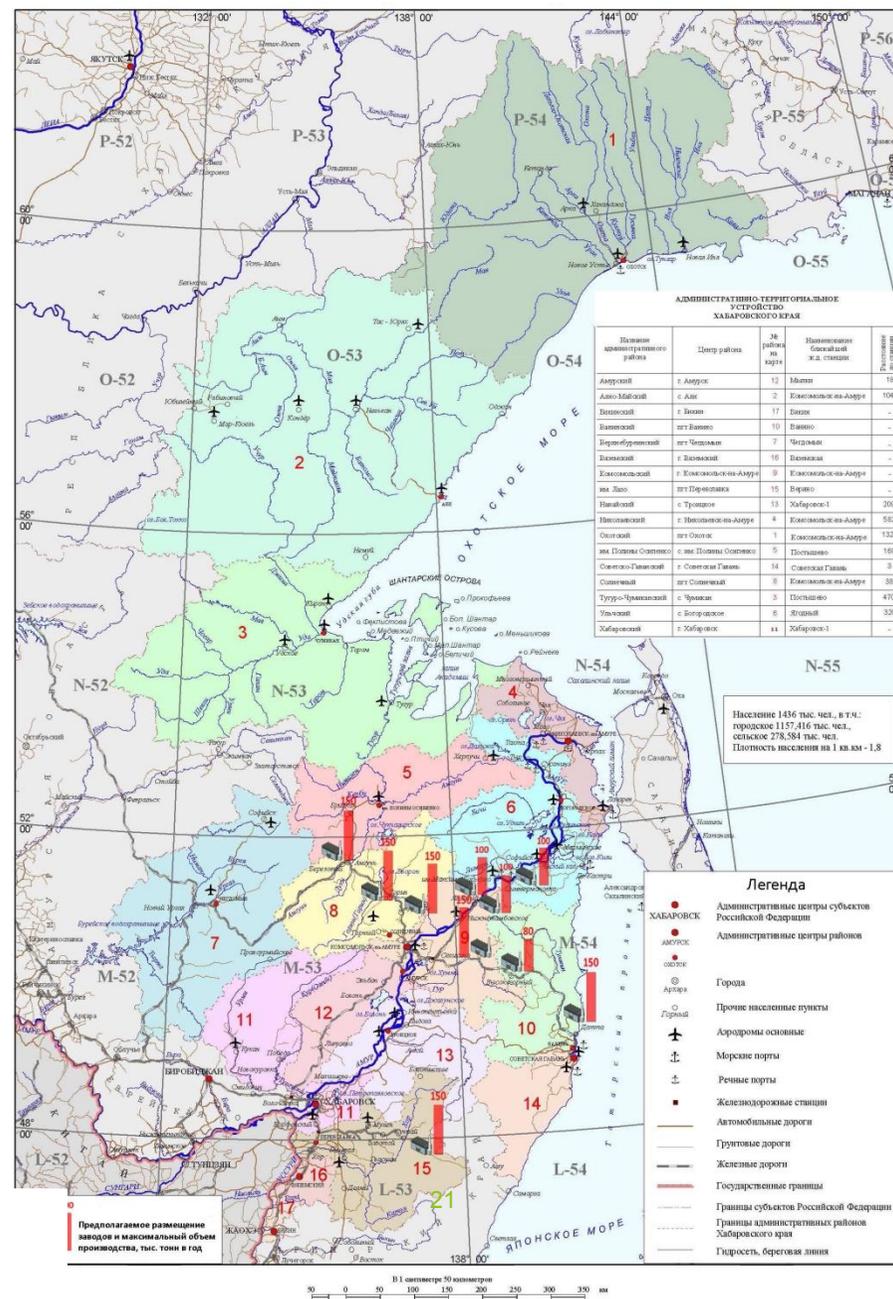
Пример решения задачи экспресс анализа лесов для территории Хабаровского края

Пример решения задачи экспресс анализа

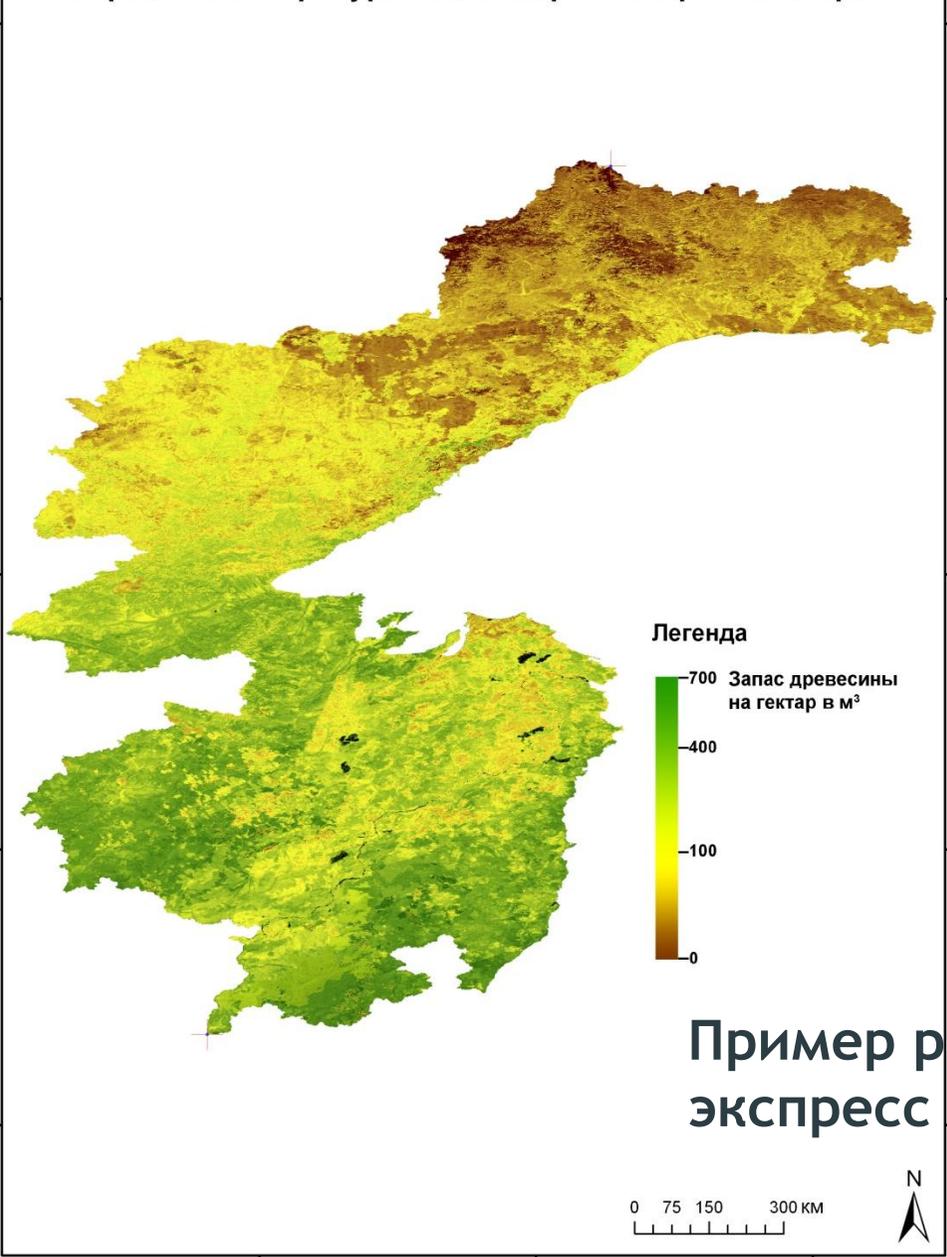
Задача: найти потенциальные площадки размещения производства топливных пеллет замкнутого цикла воспроизводства ресурса (бререза)

Решение: с использованием априорных данных (таксация, тематические карты растительного покрова) провести моделирование преобладающей породы и запасов. Выбрать оптимальные с точки зрения логистики, инфраструктуры и доступного ресурса потенциальные точки размещения производства заданной мощности.

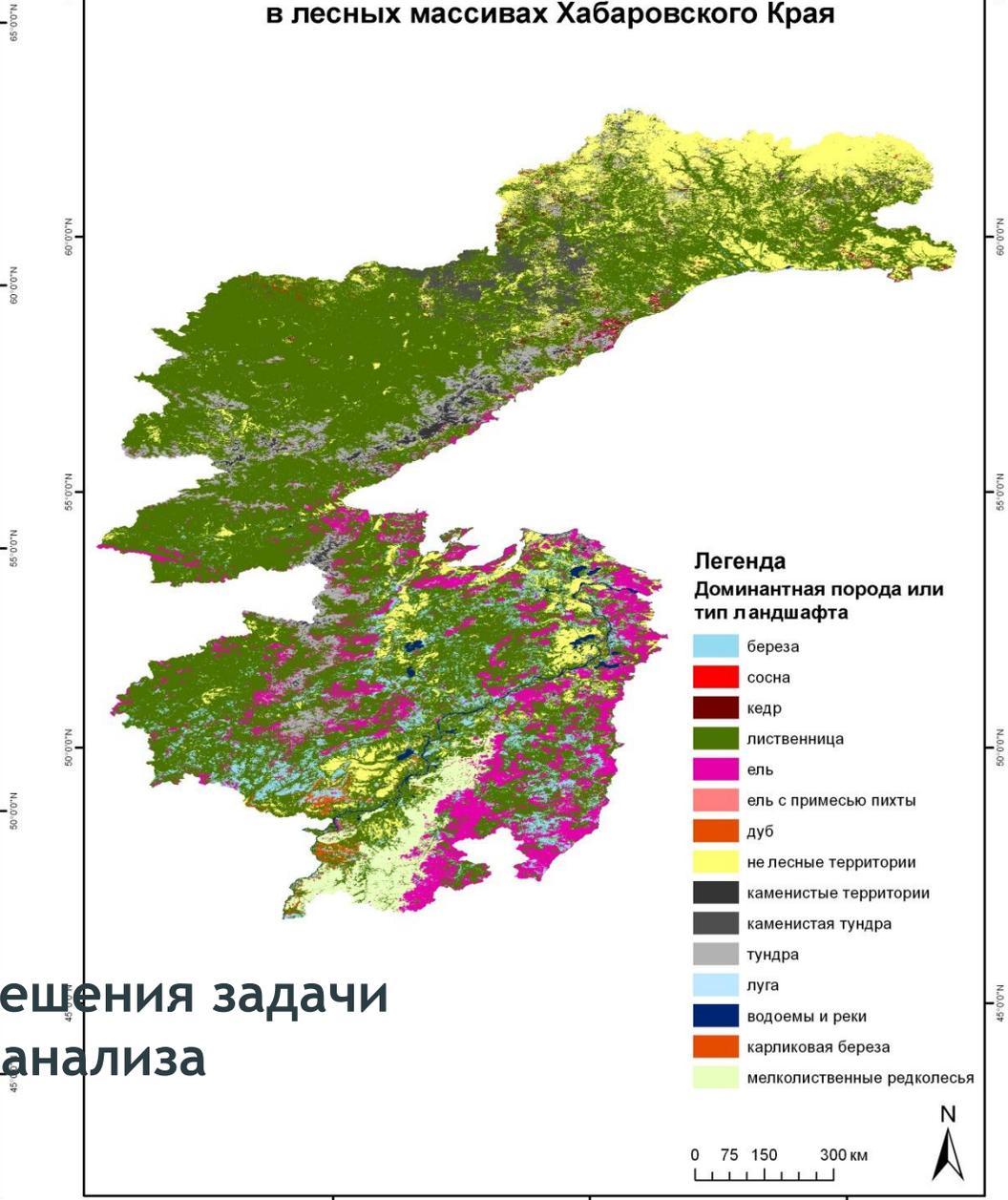
Карта предполагаемого размещения производства производственных мощностей на территории Хабаровского Края с указанием максимально возможной мощности производства.



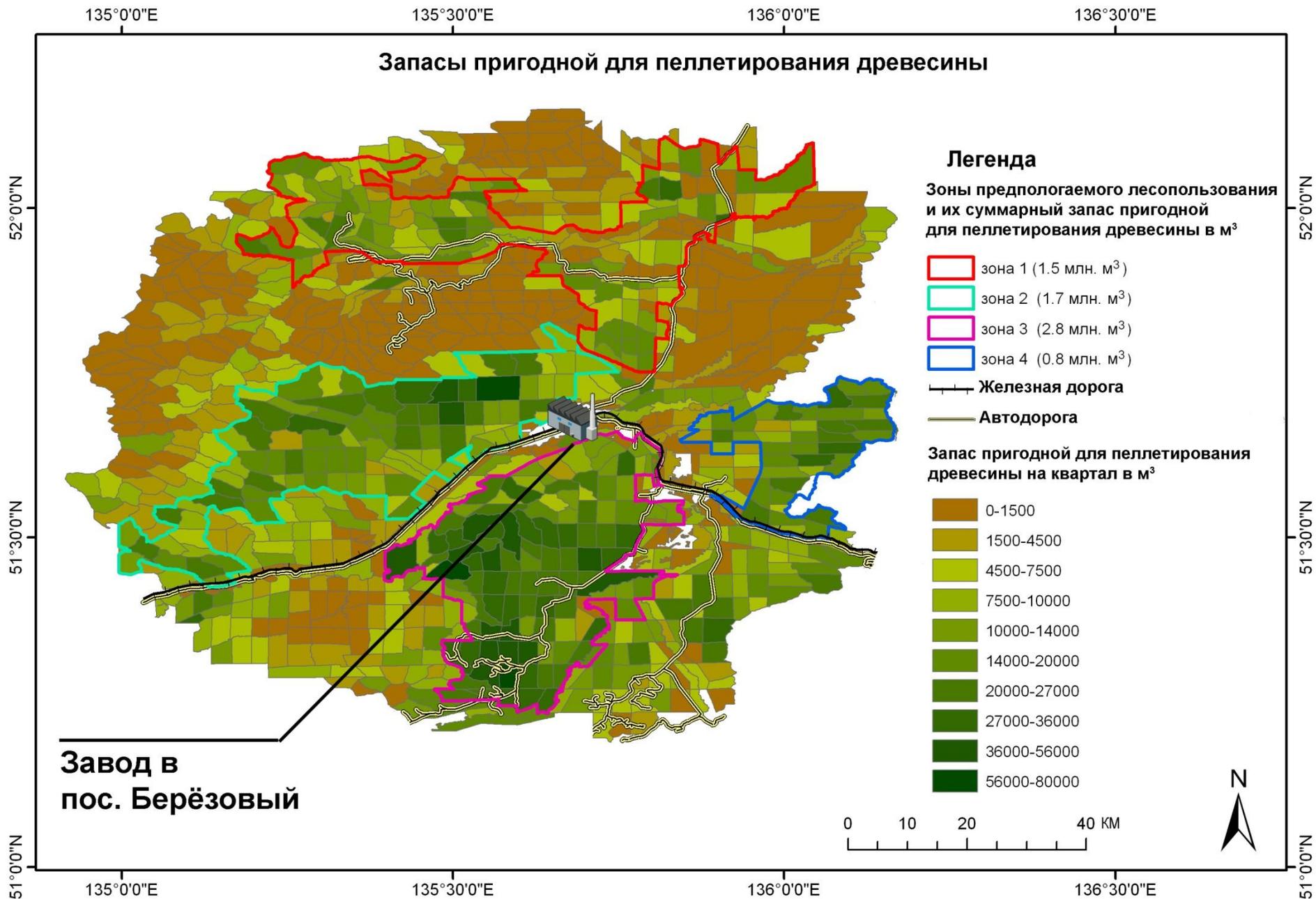
Карта запасов ресурса на гектар в Хабаровском Крае



Карта преобладающих пород (и типов ландшафтов) в лесных массивах Хабаровского Края



Пример решения задачи
экспресс анализа



A photograph of a dense forest with tall, straight trees and a path covered in green undergrowth. A dark, semi-transparent horizontal band is overlaid across the middle of the image, containing the text.

Экономическая основа метода

Сравнение смет и распределения затрат

Смета «Классическая»

При классическом подходе используется большое количество трудовых ресурсов и сопутствующих расходов

Затраты	% от суммы	Сумма*
ФОТ+налоги	55%	85,00
Мат. затраты	8%	12,00
Накл. расходы	37%	54,00
НДС	18%	18%
Прибыль	5%	5%

Смета «Космотаксация»

При Космотаксации существенно сокращается количество трудовых ресурсов, увеличивается затраты на информационные технологии

Затраты	% от суммы	Сумма*
ФОТ+налоги	29%	23,00
Мат. затраты	6%	5,00
Накл. расходы	61%	50,00
НДС	18%	18%
Прибыль	5%	5%

При пересчете на 1м3 добавленная стоимость Космотаксации составляет ~ 39 копеек. При расчете бралось среднее значение запаса 250 м3 на 1 ГА

В приведенных сметах не учитываются факторы квалификации и доступности ресурсов для выполнения поставленной задачи.

При этом основной затратной частью метода «Космотаксации» является наличие машинных ресурсов серверов и графических станций.

*Приведенные суммы являются ориентировочными и не могут быть рассмотрены как окончательные при формировании договоров и коммерческих предложений

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!