

МОНИТОРИНГ ЛЕСНЫХ ГАРЕЙ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ SATELLITE-BASED MONITORING OF FOREST BURN AREAS IN MIDDLE VOLGA REGION OF RUSSIA

**Центра совершенства им. Жана Монне
Jean Monnet Centre of Excellence**

**Центр устойчивого управления и дистанционного мониторинга лесов
Centre of Sustainable Forest Management and Remote Sensing**

Доцент кафедры ЛВ и ЛУ
Воробьев О.Н.

- ▣ На территории Среднего Поволжья, и в частности в Республике Марий Эл, в течение почти 90 летнего периода, через относительно равные временные интервалы, произошло несколько крупных лесных пожаров, охвативших значительные площади лесного фонда республики.
- ▣ В результате, был причинен значительный материальный ущерб лесному хозяйству, существенно изменилась структура лесного фонда в целом и претерпела значительные изменения общая картина ландшафта Среднего Поволжья.
- ▣ В связи с этим, повышаются требования к точности оценки пройденных пожарами территории лесного фонда с применением данных дистанционного зондирования, а оперативное выявление площадей и степени повреждения древостоев лесными пожарами является важным элементом при принятии решений по их восстановлению и оценке сукцессии растительного покрова на нарушенных территориях.
- ▣ Изучением этих процессов, с применением современных средств дистанционного мониторинга занимаются многие научные коллективы. Развитие и совершенствование (автоматизация) современных методов, алгоритмов и процессов при классификации и тематическом картировании гарей по спутниковым данным, позволяет увеличить точность полученных результатов.

Основными целями исследований являются:

- ▣ Оценка нарушений лесными пожарами лесных экосистем Среднего Поволжья по спутниковым данным.
- ▣ Определение пост-пирогенной динамики на горях 2010 г. Среднего Поволжья.

Методика исследований

- ▣ **Пошаговый анализ площадей и состояния гарей 2010 г. на примере Республик Марий Эл и Чувашии**

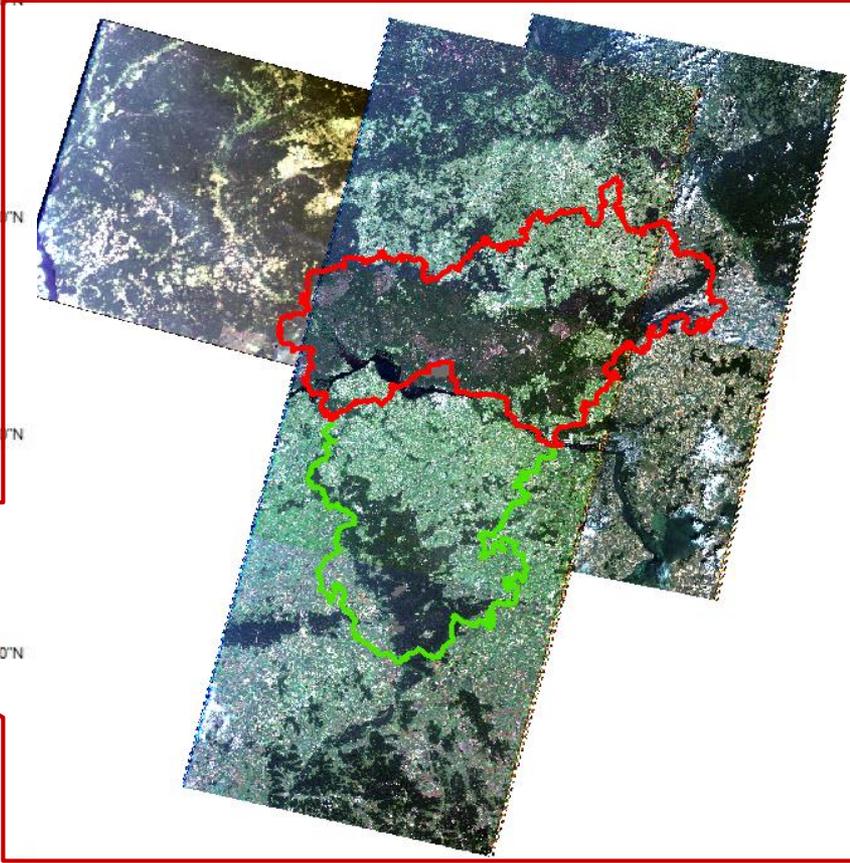
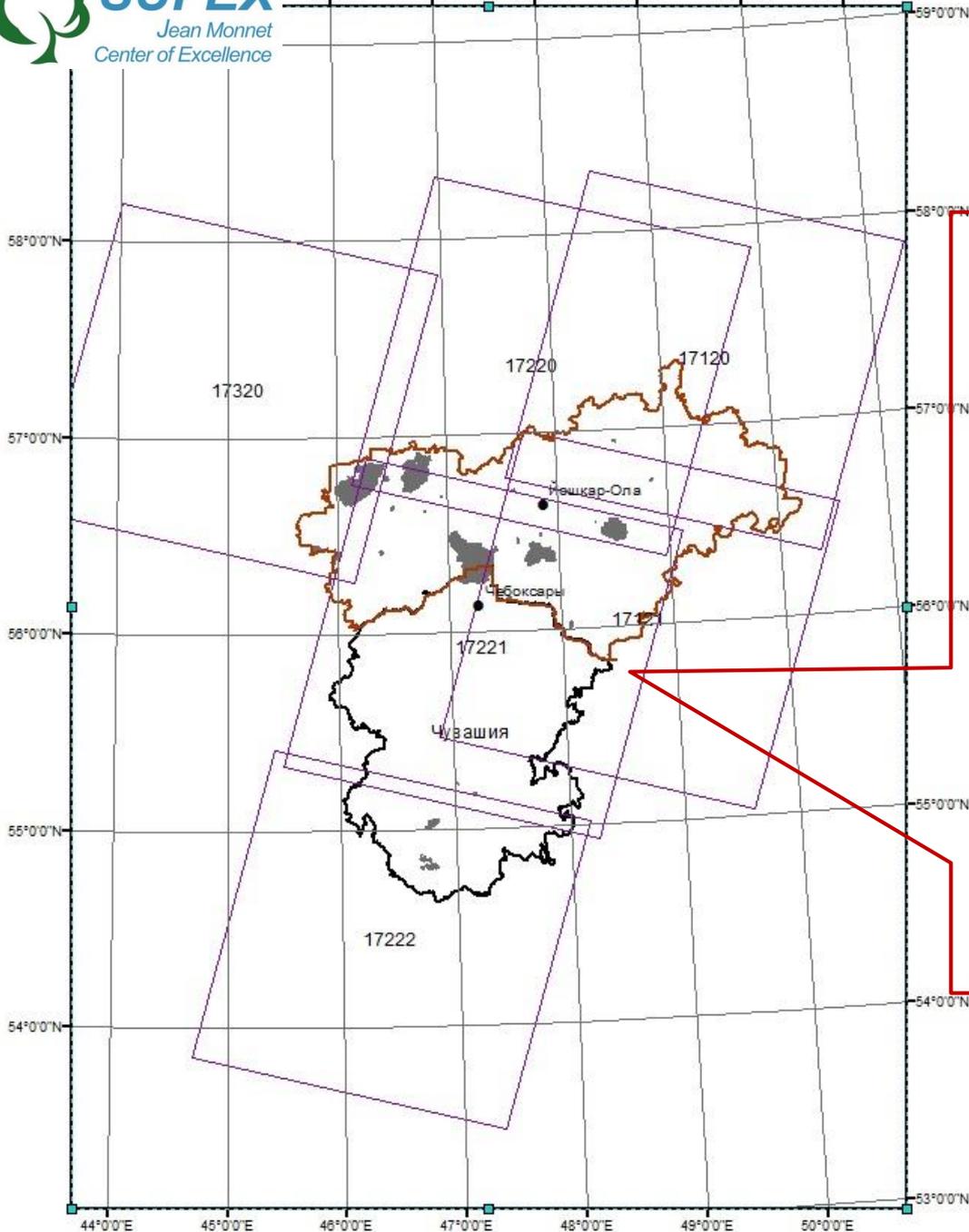
- ▣ **Динамика пожаров на территории РМЭ**

- ▣ **Оценка пост-пирогенной сукцессии на гарях 2010 г. РМЭ**

1. Пошаговый анализ площадей и состояния гарей 2010 г. на примере РМЭ и РЧ



Объект
исследования



Покрытие снимками
Landsat территории
Республик Марий Эл
и Чувашия

Алгоритм пошаговой классификации





Сплошные горельники 2010 г. Чебоксарское лесничество.

Нормализованный индекс гарей

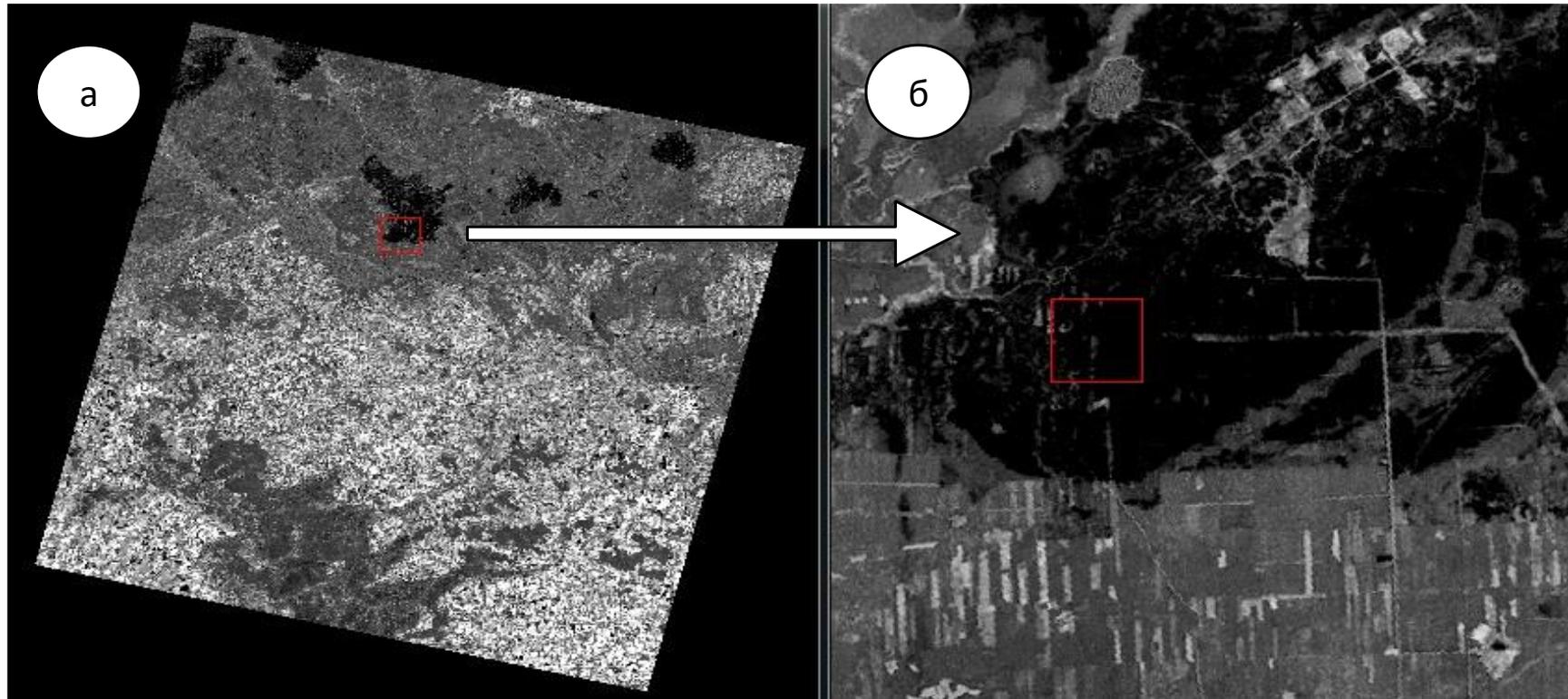
- Для оценки территорий, пройденных лесными пожарами, в работе использовался нормализованный индекс гарей (NBR - Normalized Burn Ratio), который представляет собой разность спектральных отражений в ближнем и коротковолновом инфракрасных каналах, нормализованную на их сумму:

$$NBR = (R^4 - R^7) / (R^4 + R^7);$$

- Выявление аномальных изменений растительного покрова, вызываемых воздействием пожаров, на фоне естественной сезонной динамики растительности осуществляется с использованием подекадных разностей NBR:

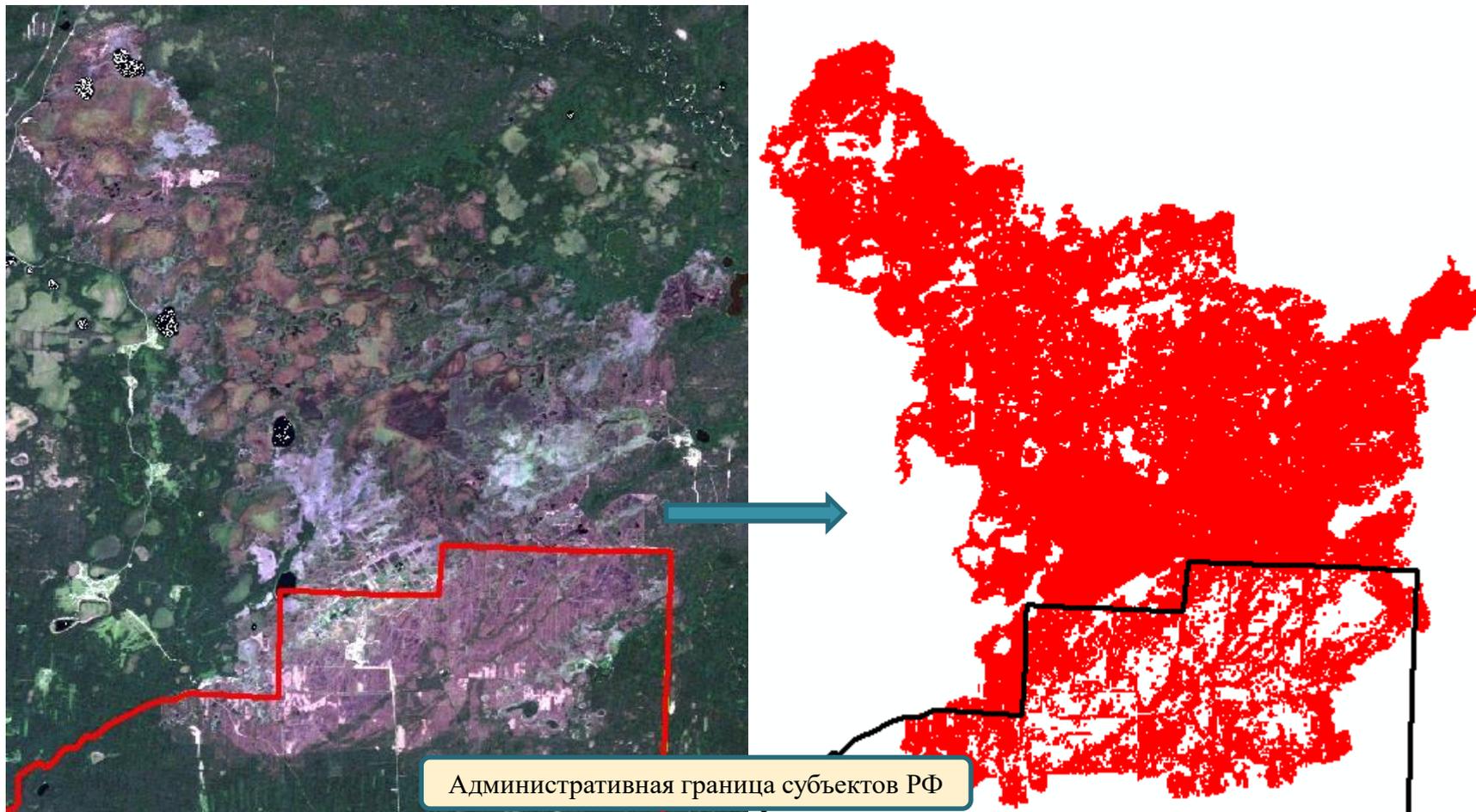
$$dNBR = NBR^{prefire} - NBR^{postfire}$$

Растровые индексные изображения на основе разновременных изображений Landsat



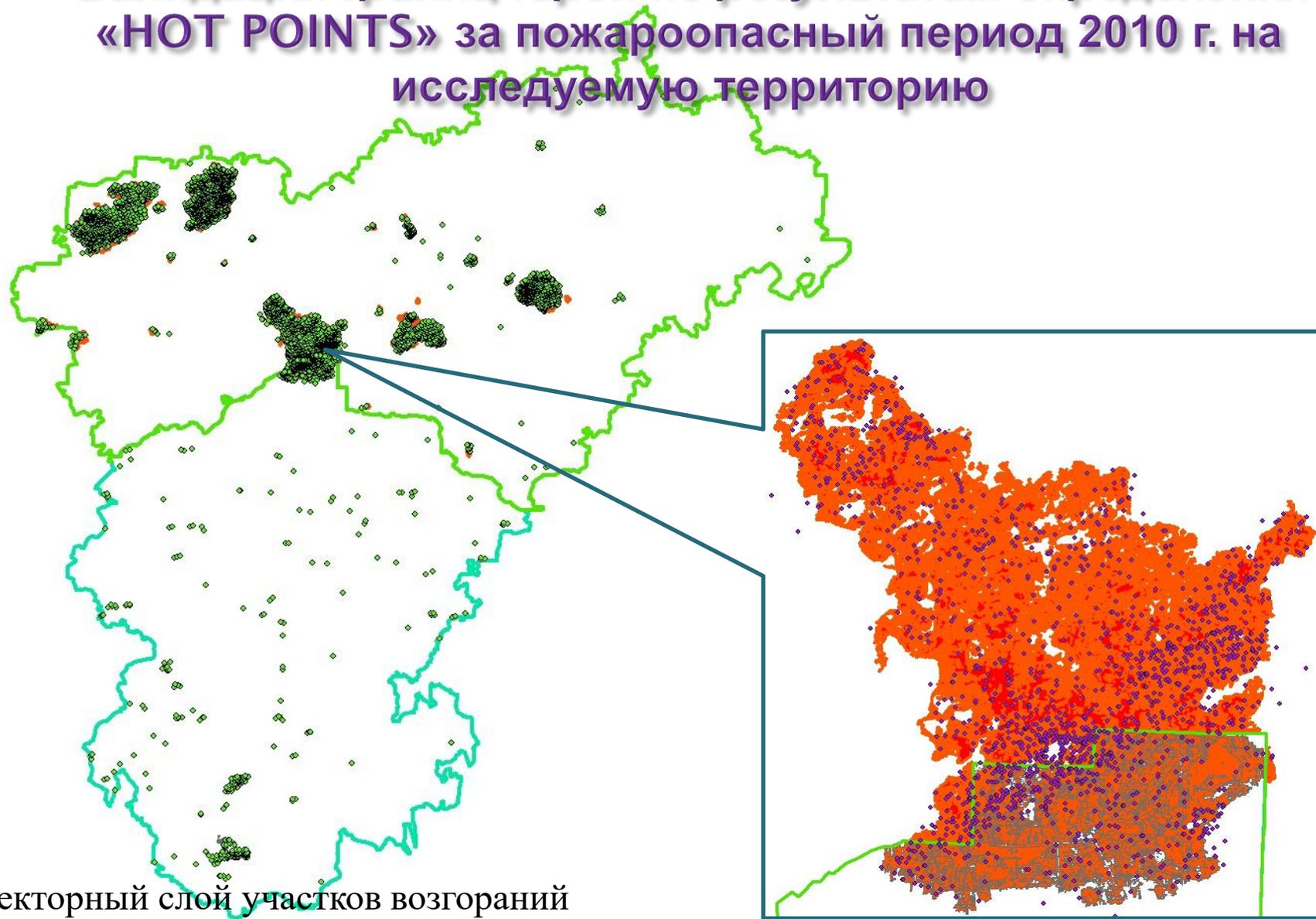
Формирование карты dNBR для выявления площадей гарей 2010 г.
а) вся сцена Landsat p172row21, б) фрагмент сцены (Чебоксарское лесничество)

Выделение масок гарей на основе результатов неуправляемой классификации



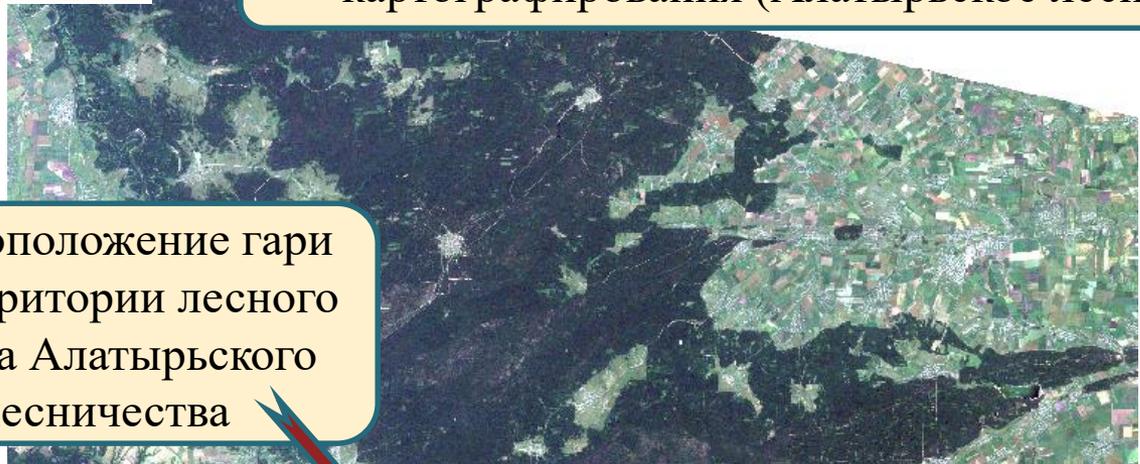
Векторный полигон по границам гары 2010 г. (Куярское, РМЭ и Чебоксарское, РЧ) лесничества

Валидация границ гарей по результатам определения «HOT POINTS» за пожароопасный период 2010 г. на исследуемую территорию



Векторный слой участков возгораний (hotspots) по данным FIRMS 2010 г. на территорию Республики Марий Эл

Валидация полевых данных и данных тематического картографирования (Алатырское лесничество)

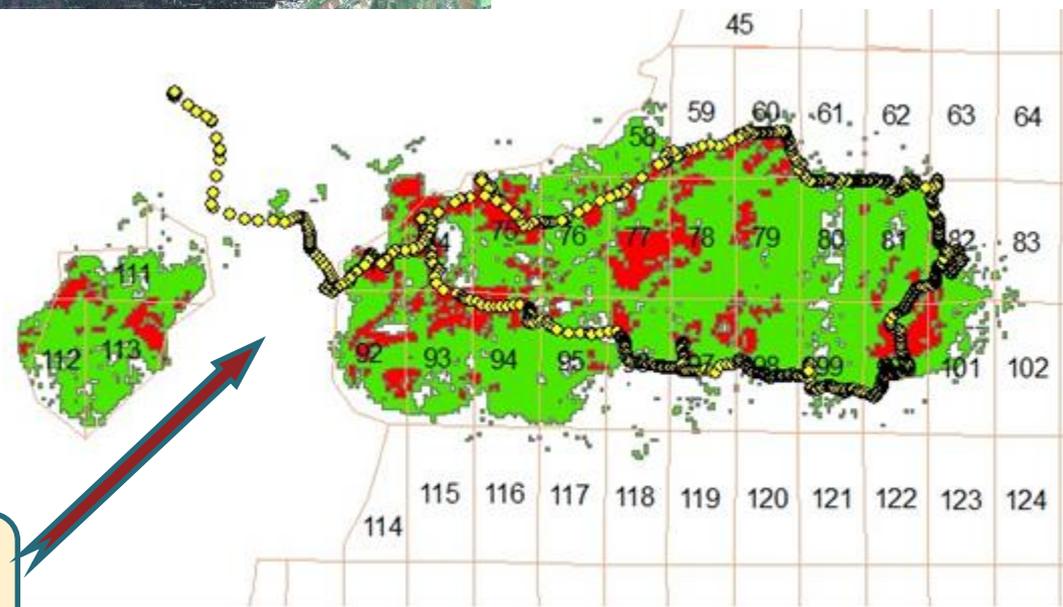


Местоположение гари на территории лесного фонда Алатырского лесничества

Векторные полигоны гарей 2010 г.

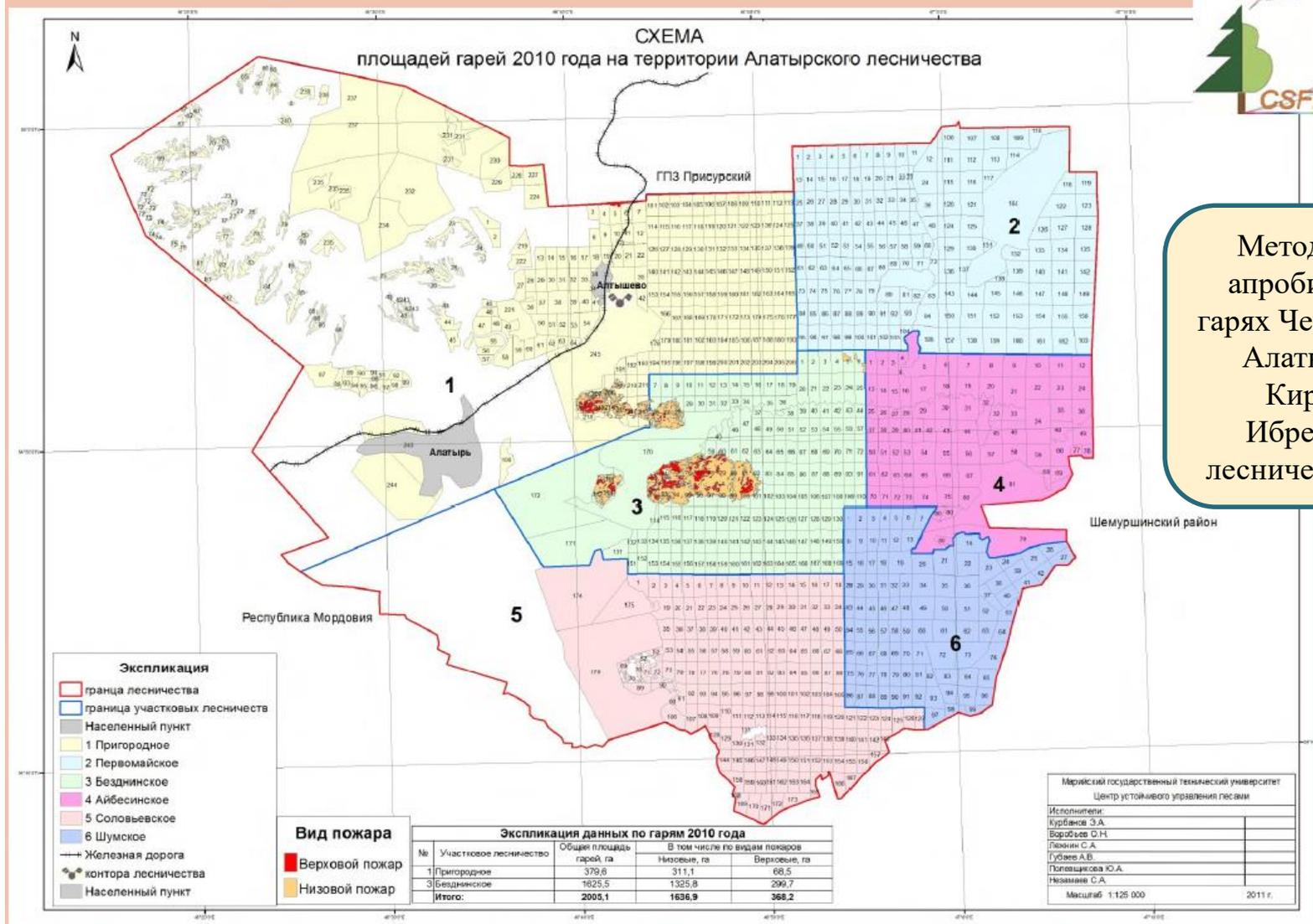


Landsat-5, p172row22, 2011 г.



Треки с использованием GPS координат при оценке границ гарей

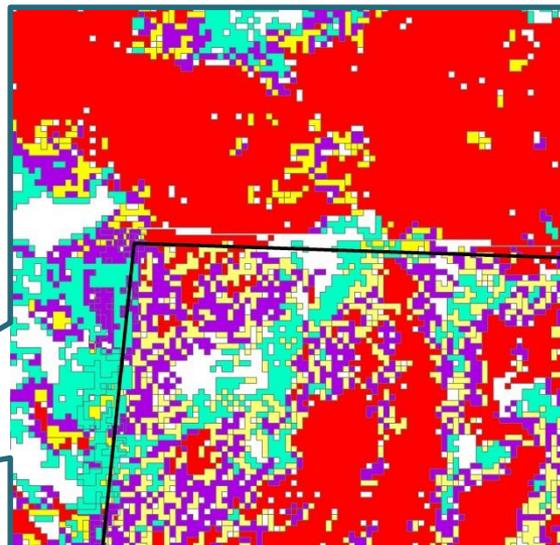
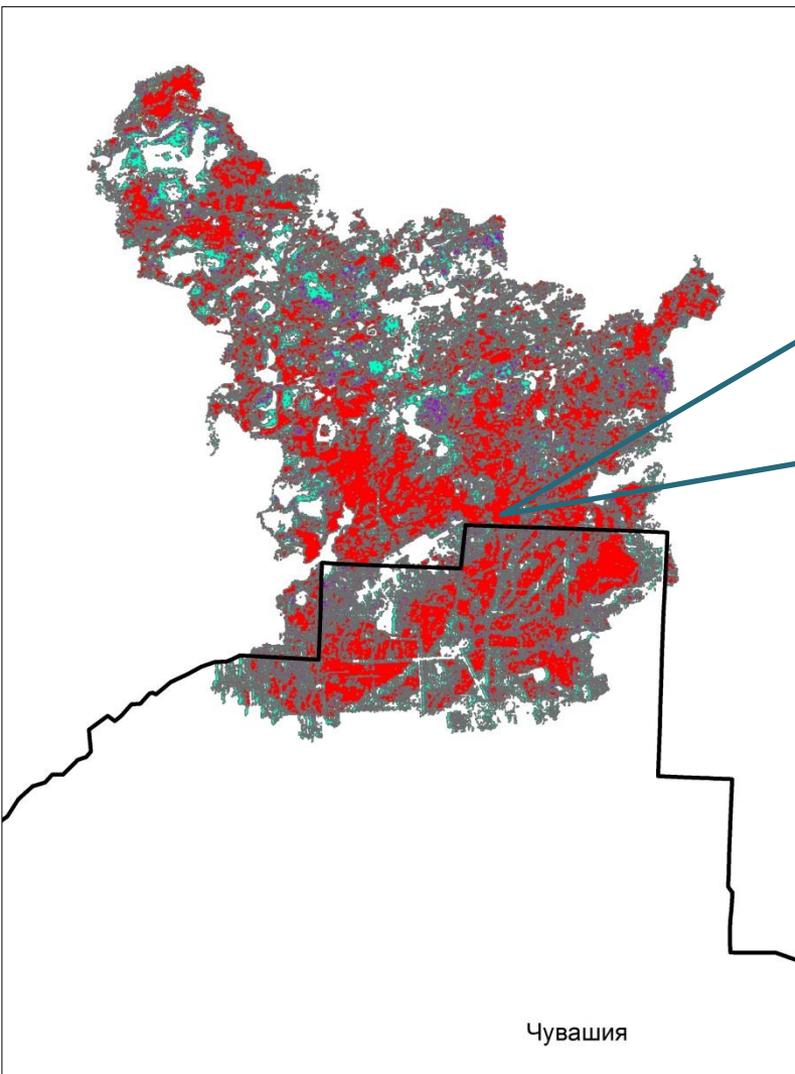
Итоги тематического картографирования



Методика была апробирована на гарях Чебоксарского, Алатырского, Кирского и Ибресинского лесничеств в 2011 г.

Курбанов, Э.А. Оценка лесных гарей Чувашии методами дистанционного зондирования / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, С.А. Лажин, Ю.А. Полевщикова // Вестник ИрГСХА. - № 54. - 2013. - С. 80-97.

Детальная классификация категории состояния древостоев по степени нарушенности

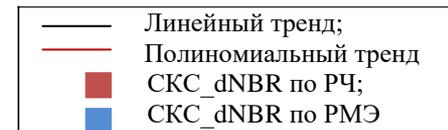
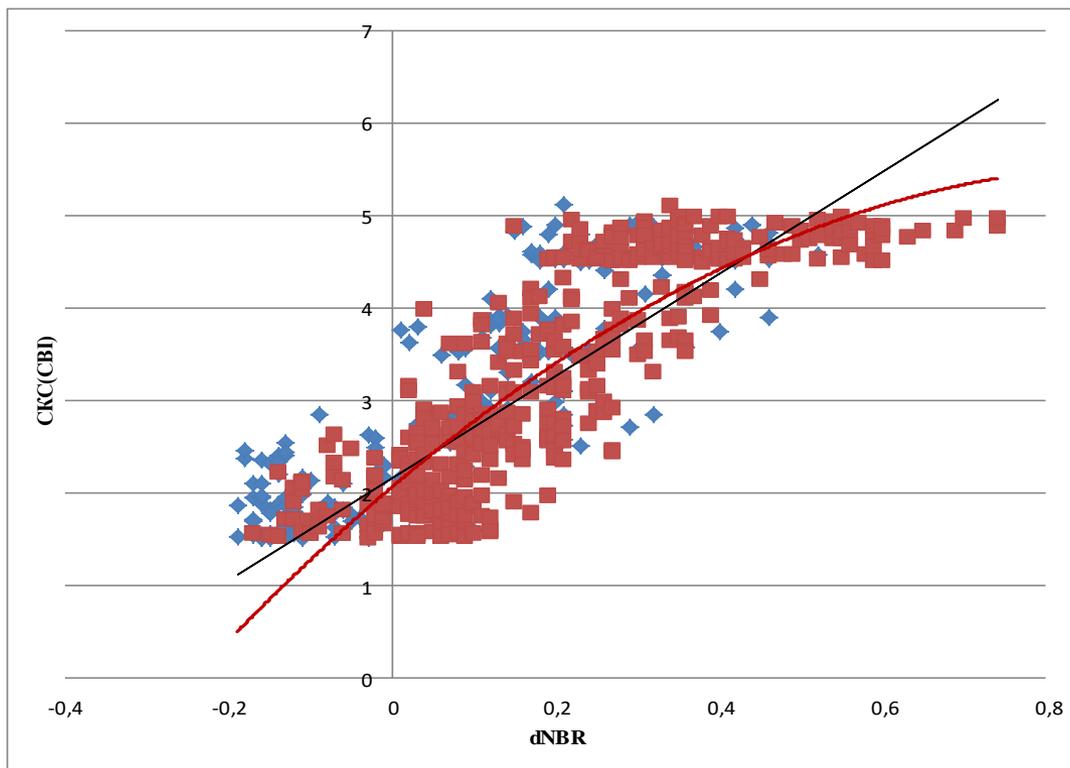


- | |
|---|
| Степень повреждения древостоев |
| ■ Отсутствует |
| ■ Слабая |
| ■ Умеренная |
| ■ Сильная |
| — Административная граница |

Состояние насаждения на выделе в целом или каждой древесной породе определялось как средневзвешенная величина оценок распределения запаса деревьев разных категорий состояния (СКС)



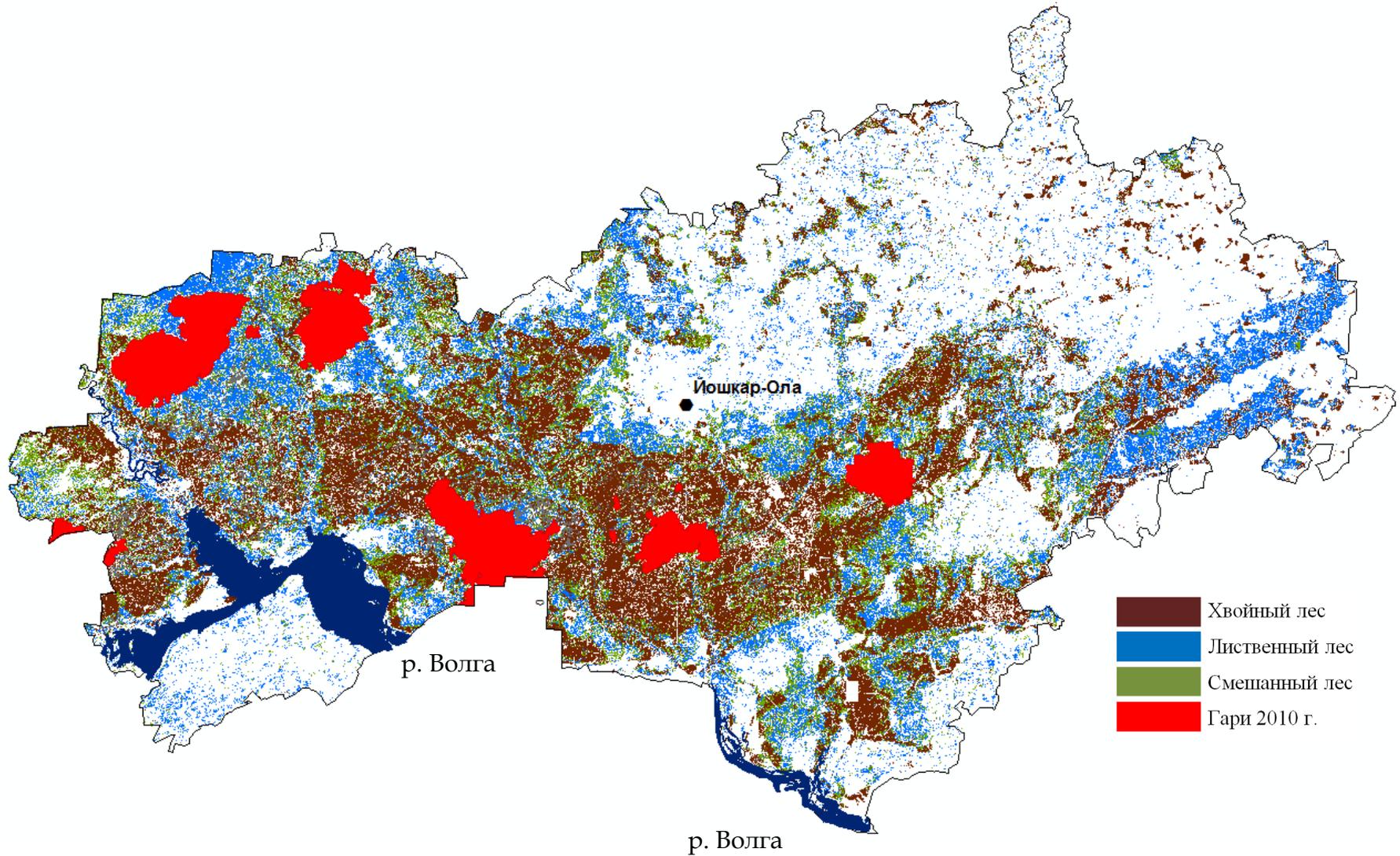
Взаимосвязь индекса нарушенности древостоя пожарами от средневзвешенной категории состояния деревьев



Тестовые участки на территории исследования	Статистические показатели		
	R	R ²	Каппа
РМЭ	0,84	0,77	0,77
РЧ	0,88	0,81	0,81
Общие показатели	0,82	0,74	0,75

Курбанов, Э.А. Методика выявления степени повреждения древостоев после пожаров 2010 г. в Среднем Поволжье/ О.Н. Воробьев, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова// Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса 2014. Т. 11. № 4. С. 217-229

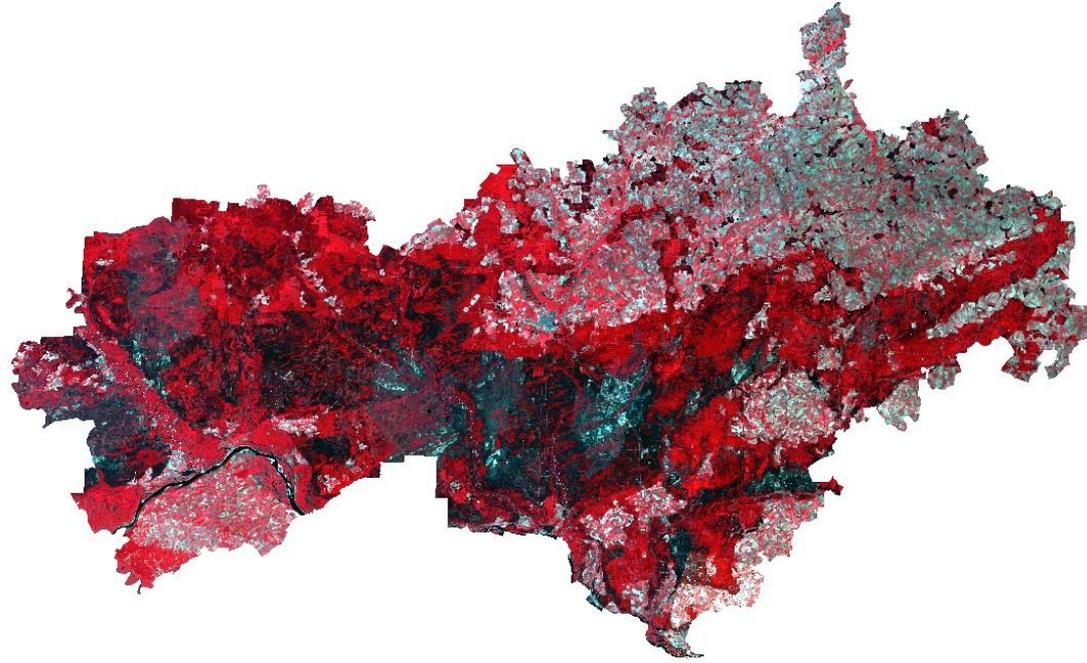
Итоговая карта гарей 2010 г.



2. Динамика пожаров 1921 и 1972 гг.



Карты гарей 1972 г.



NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) нормализованный разностный индекс растительности

$$NDVI = ((IR - R)/(IR + R))$$

IR = значения пикселей из инфракрасного канала
R = значения пикселей из красного канала



Мозаика изображений Landsat MSS на территорию Марий Эл (1973-74 гг.) в псевдо цветах

Методика «спектрального несмешивания» Spectral Mixed Analysis

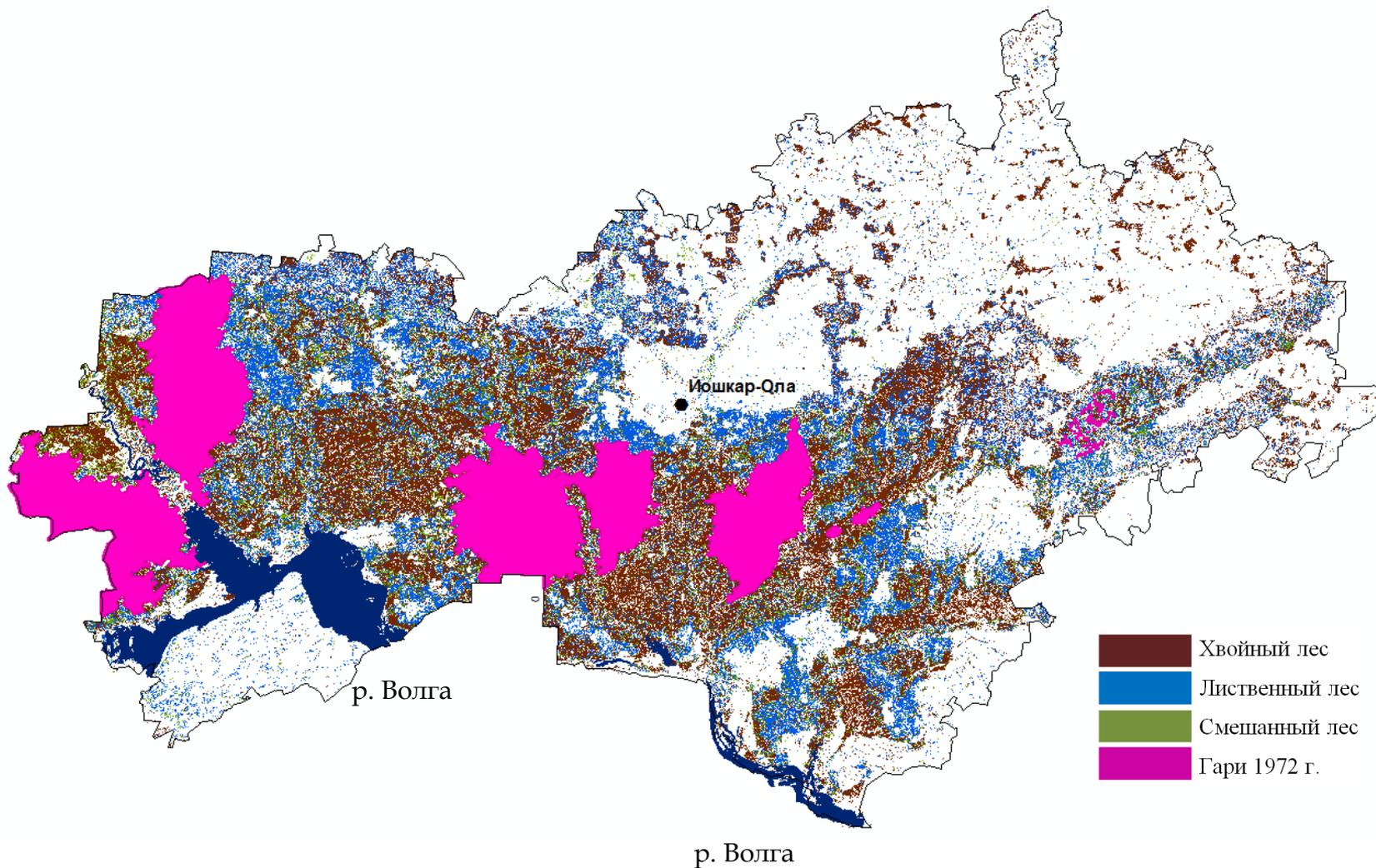
$$DN_c = \sum_{i=1}^n F_i * DN_{i,c} + E_c$$

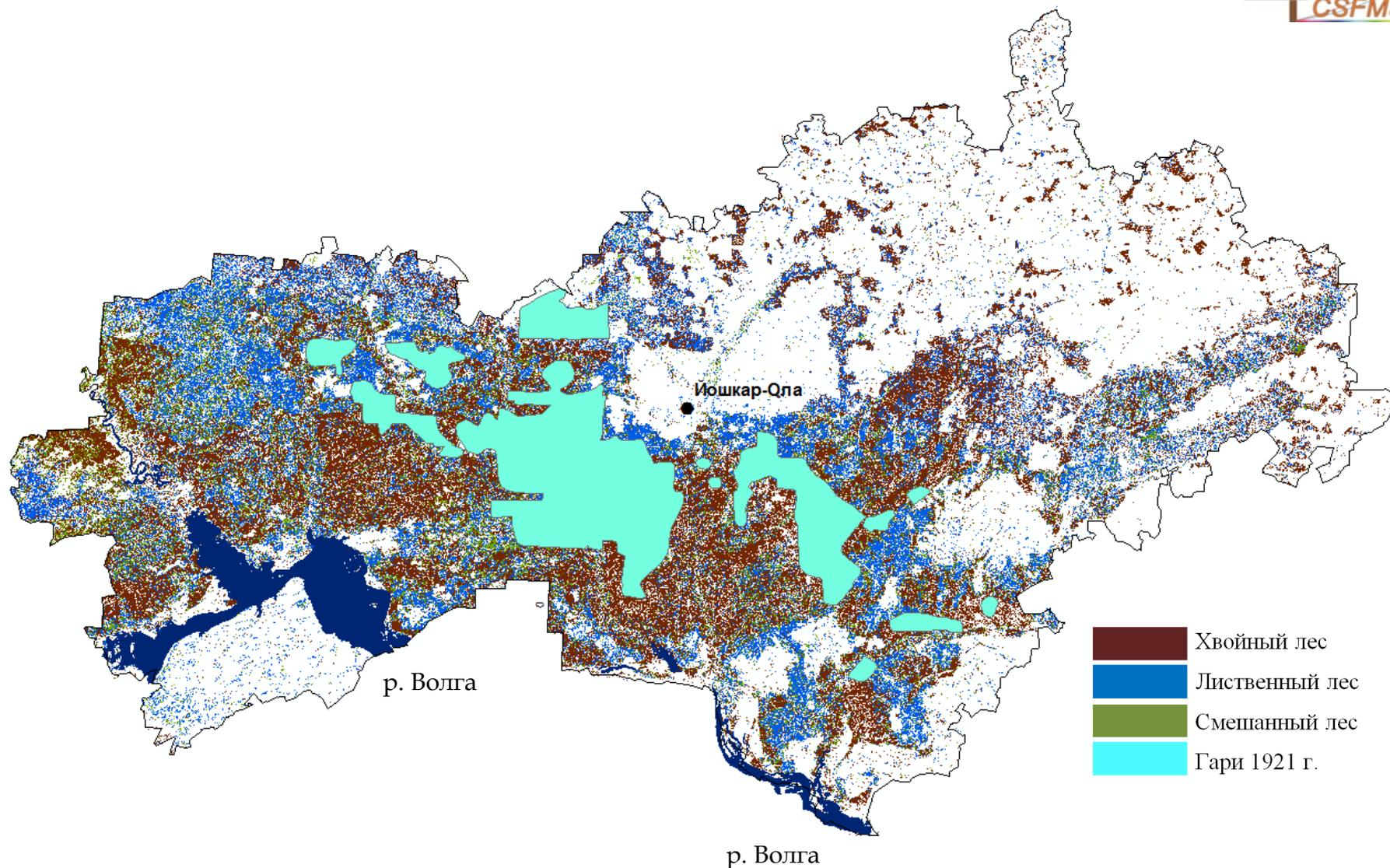
где DN_c – числовое выражение значения пиксела в канале c , F_i – доля i -го эталона в смеси, $DN_{i,c}$ – числовое выражение значений i -го эталона в смеси в канале c , n – количество эталонов, E_c – ошибка оценки для канала

$$\sum_{i=1}^n F_i = 1 \quad 0 \leq F_i \leq 1$$

Точность классификации «Accuracy assessment»:
Каппа (Карра coefficient)
Общая точность (Overall accuracy)

Итоговая карта гарей 1972 г.

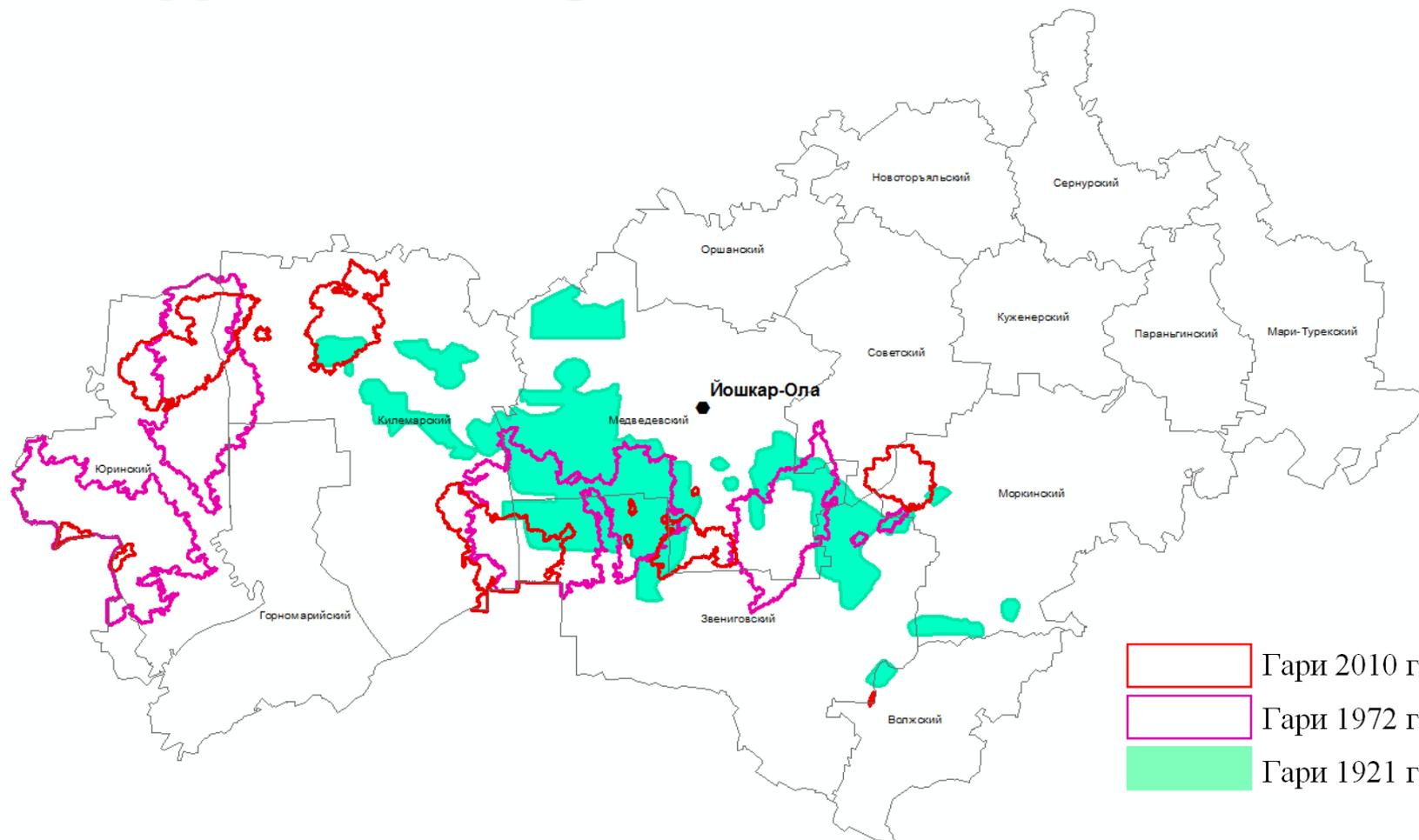




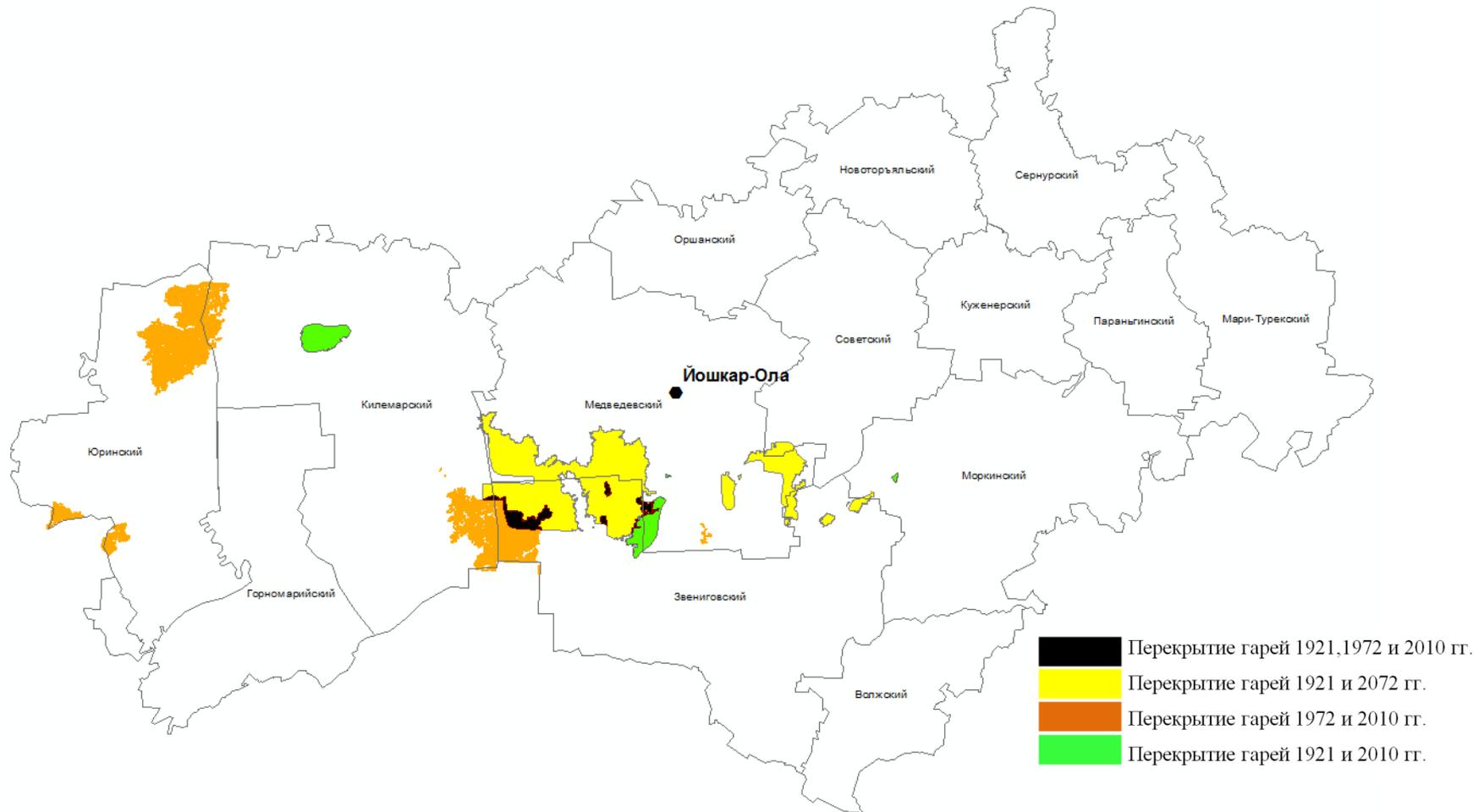
Динамика площадей гарей на территории Марий Эл 1921-1972-2010 гг.



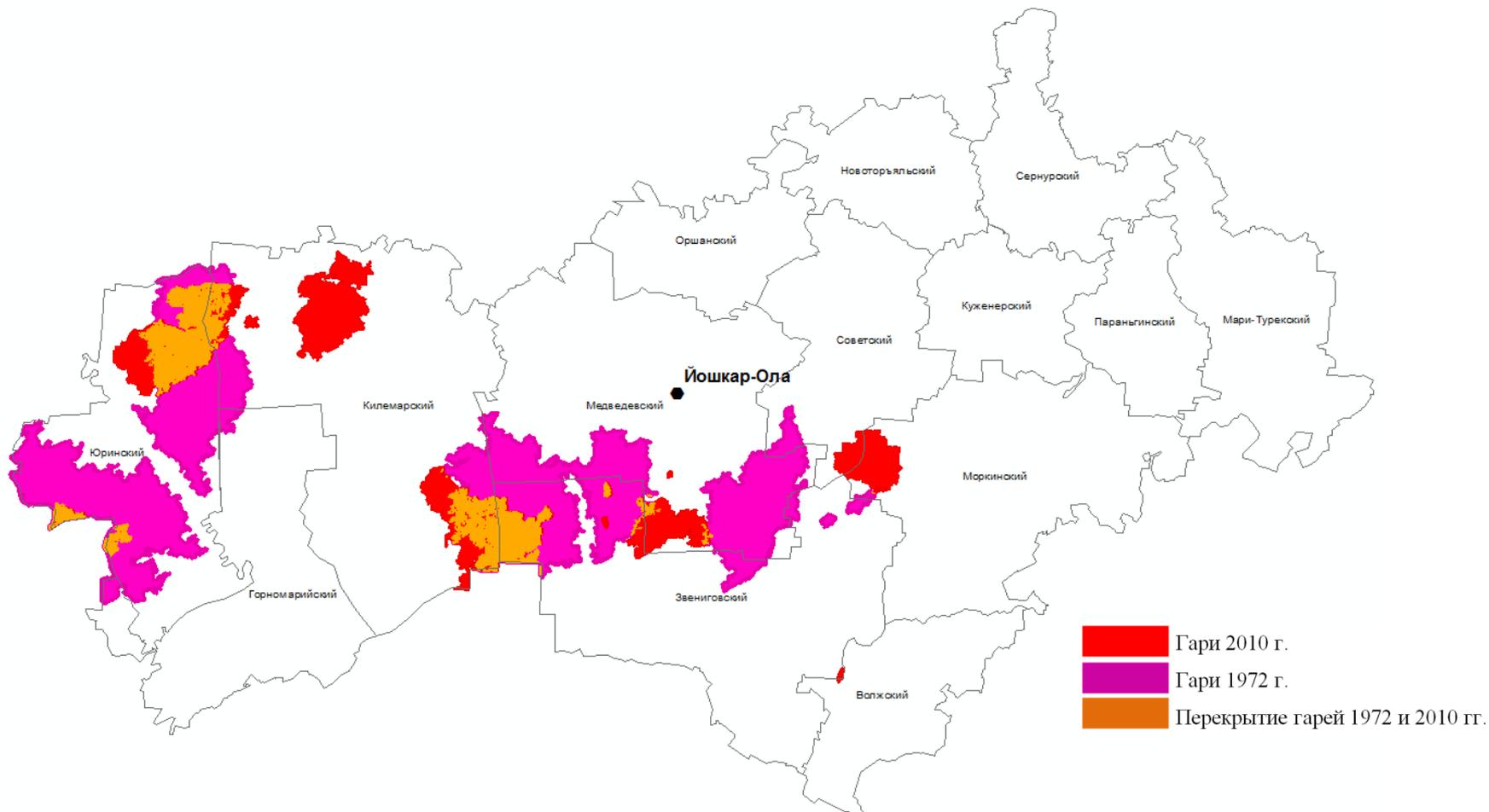
Динамика гарей 1921- 1972 – 2010 гг.



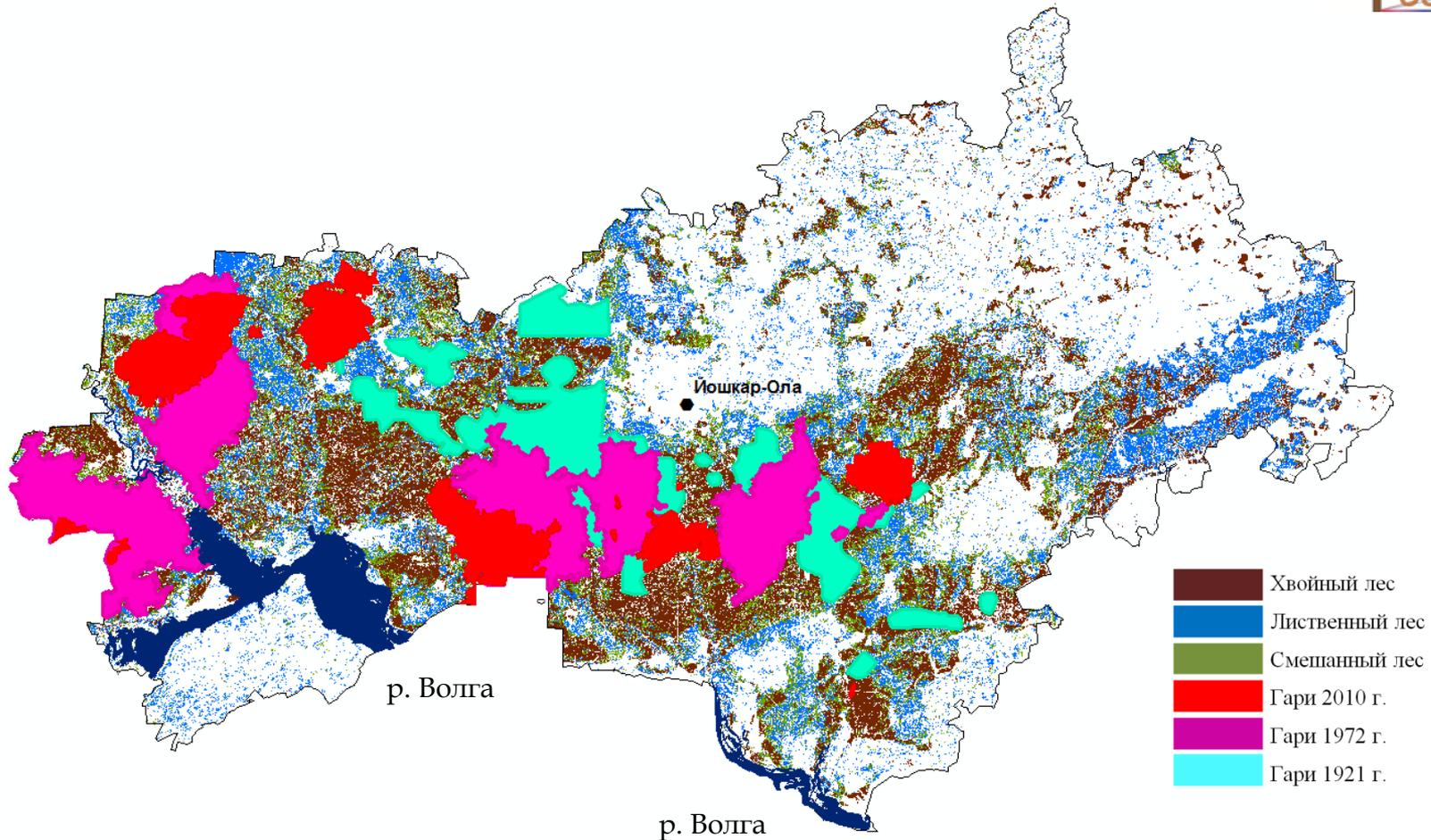
Участки леса сгоревшие повторно



Выделение вторично сгоревших участков леса в 2010 г.



Площади гарей 1921-1972-2010 гг.



Loboda, T. Land Management and the Impact of the 2010 Extreme Drought Event on the Agricultural and Ecological Systems of European Russia/ T. Loboda, O. Krankina, I. Savin, E. Kurbanov, H. Joanne // in book "Land-Cover and Land-Use Changes in Eastern Europe after the Collapse of the Soviet Union in 1991". Eds. G. Gutman, R. Volker. - 2017, Springer International Publishing. Pp. 173–192. doi=10.1007/978-3-319-42638-9_8

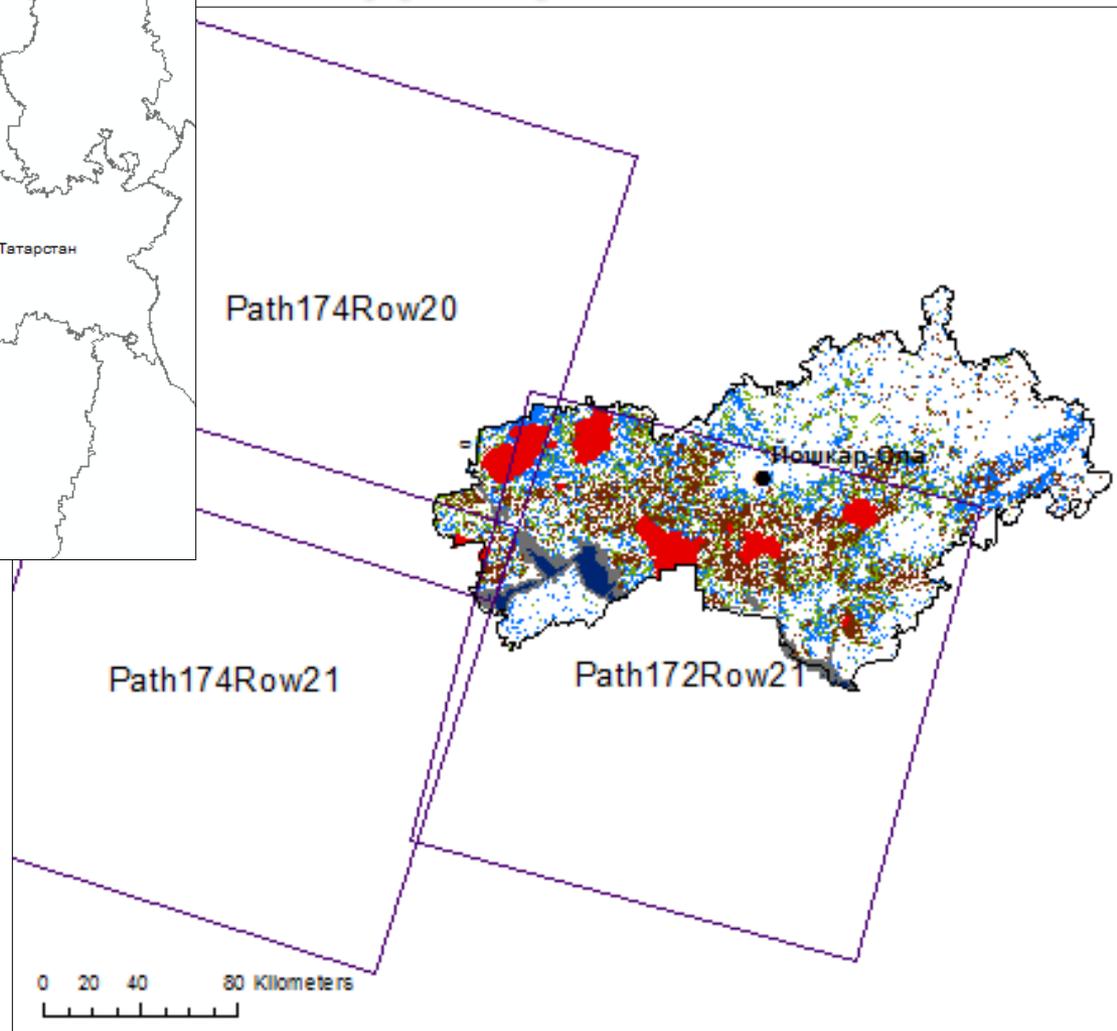
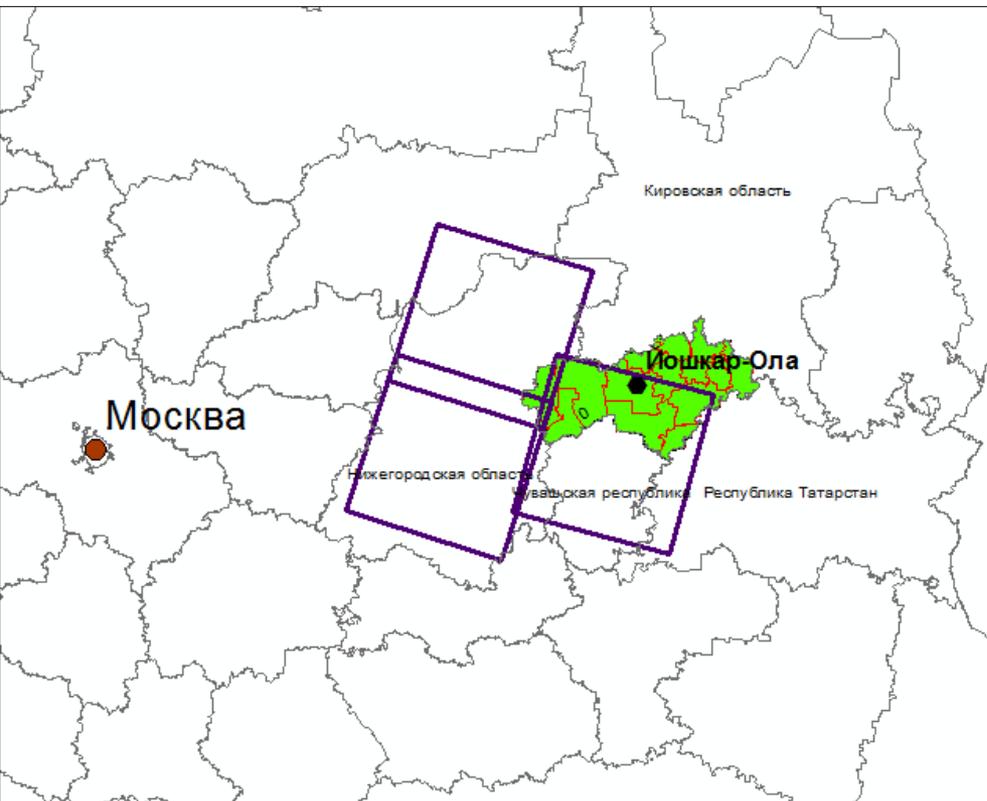
Результаты мониторинга гарей 1921-1972-2010 гг.

Временной интервал, год	Площадь, га
1921	193358,6
1972	251420,3
2010	124089,1
1921-1972	61970,6
1972-2010	34228,1
1921-2010	12935,4
1921-1972-2010	693,2
Всего (без учета перекрытий)	459734

3. Пост-пирогенный мониторинг гарей 2010 г.



Покрытие снимками Landsat-8, OLI территории исследования

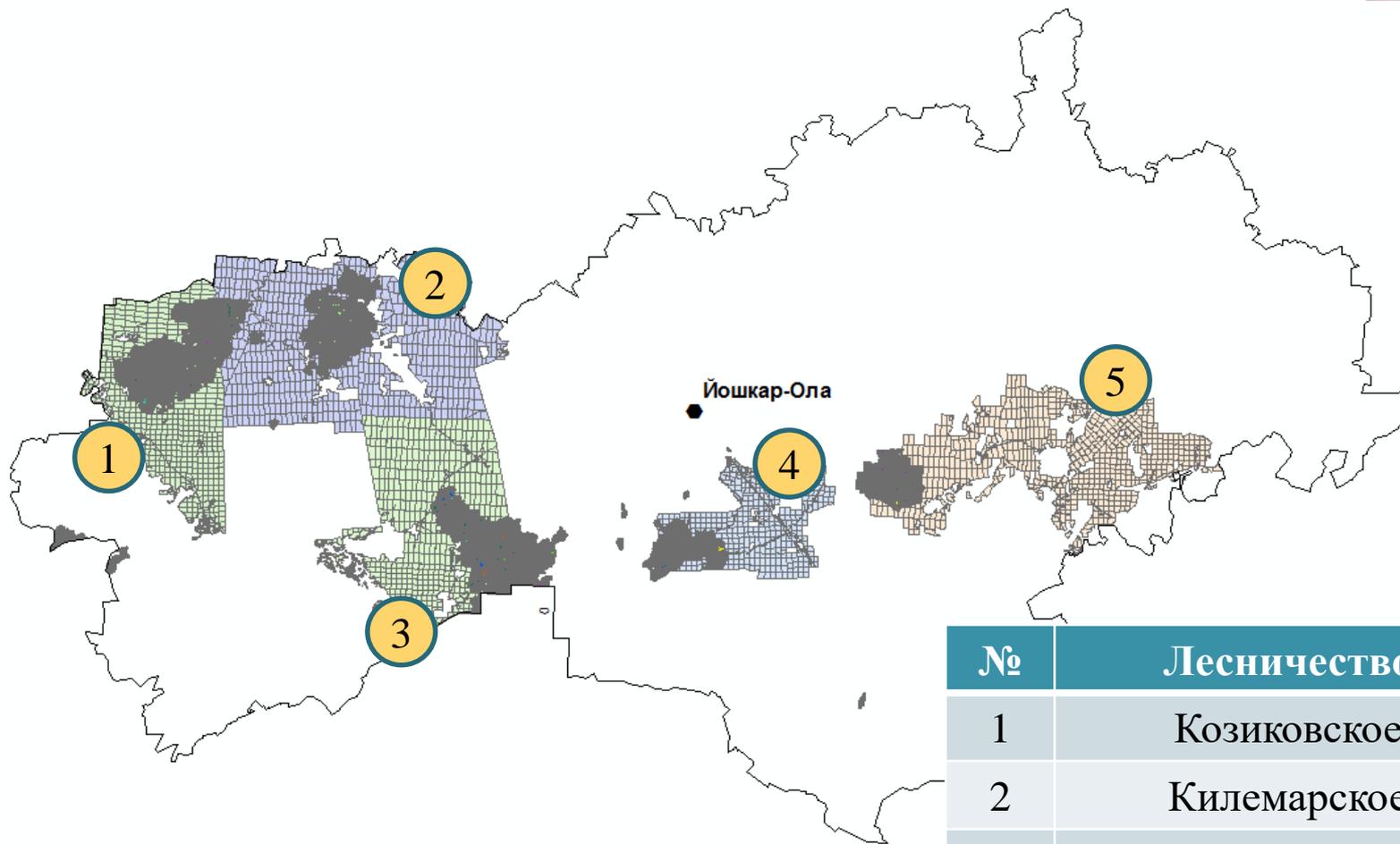


№	Наименование тематического класса	Описание класса	Фото
1	Лесовозобновление высокой густоты (ЛВГ) High density reforestation HDR	Смешанная древесно-кустарниковая растительность с проективным покрытием 85% и выше. Mix tree-shrubs vegetation with projective cover 85% and more	
2	Лесовозобновление средней густоты (ЛСГ) Middle density reforestation	Смешанная древесно-кустарниковая растительность с проективным покрытием от 40 до 80% Mix tree-shrubs vegetation with projective cover from 40 to 80%	
3	Лесовозобновление низкой густоты (ЛНГ) Low density reforestation	Древесно-кустарниковая растительность с проективным покрытием менее 40% и частичным задернением, заболоченные и открытые участки. Mix tree-shrubs vegetation with projective cover below 40%, with a partial sodding and wet and open area	
4	Лес (Л) Forest	Участки сохранившегося древостоя лиственных и хвойных пород деревьев. Areas of the preserved stand of deciduous and coniferous trees.	
5	Сухостой (С) Dry forest	Участки сухостоя различных пород деревьев оставшихся после пожара 2010 г., частично или полностью задерненные. Sites of dry trees of various species of trees left after the fire in 2010, partially or completely sodden.	

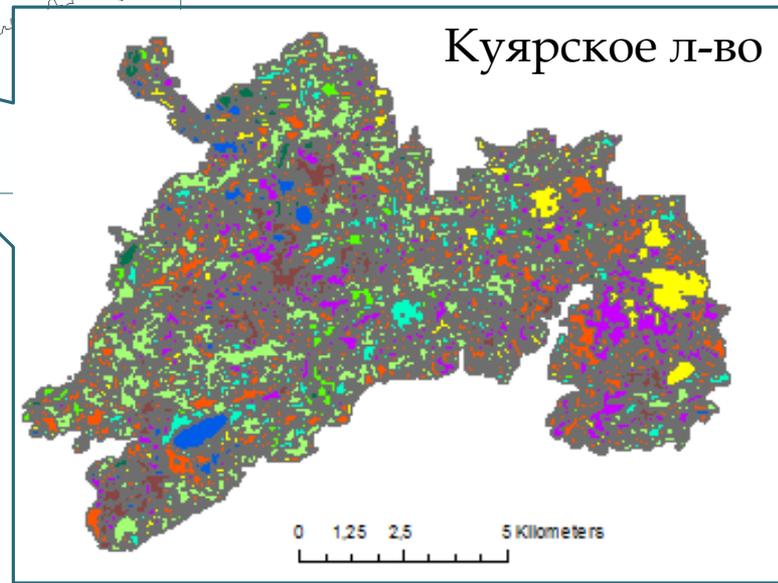
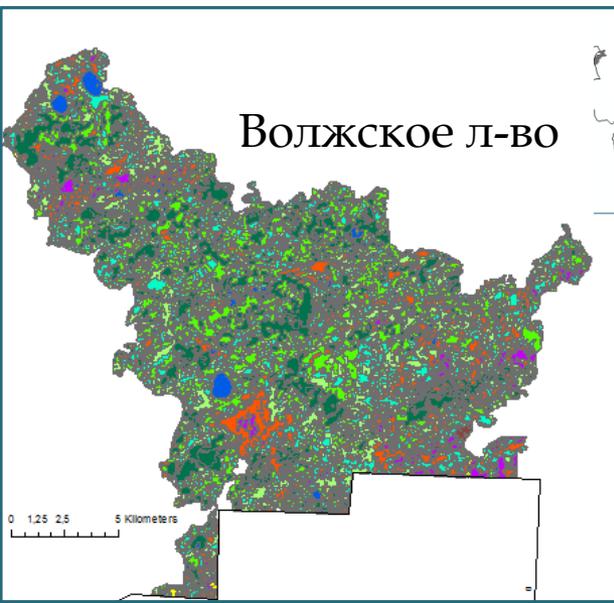
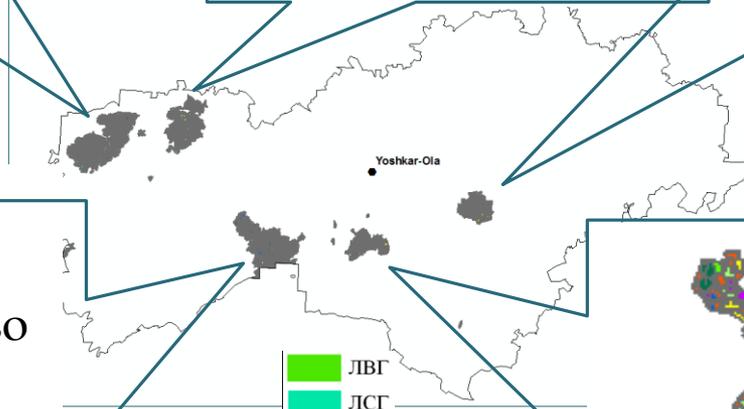
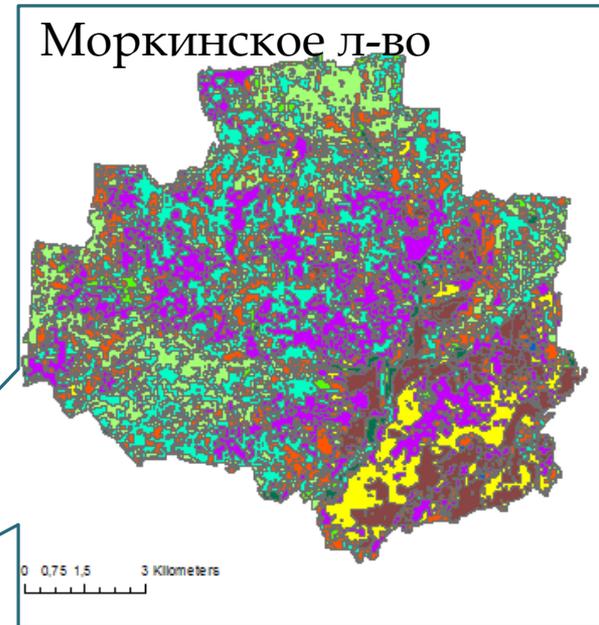
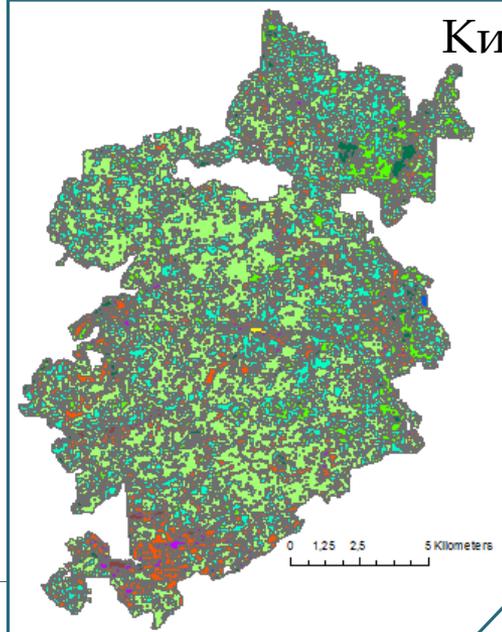
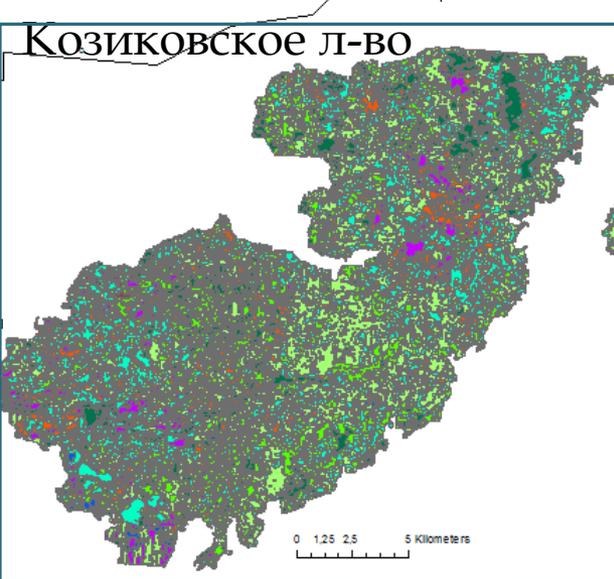
№	Наименование тематического класса	Описание класса	Фото
6	Задернение (З) Sodding	Полностью заросшие многолетними травами. Overgrown perennial herbs areas	
7	Открытые участки (ОУ) Open areas	Выход песчаных почв, а так же участки искусственного происхождения (дороги, шоссе и проселочные) Sand areas and artificial areas (highway and carriage roads)	
8	Лесные посадки (ЛП) Forest plantations (FP)	Плантационные насаждения, в основном сосны. Forest plantations, generally is pine	
9	Водные объекты (ВО) Water	Озера, болота Lakes, high bogs	

Легенда для проведения управляемой классификации по спутниковым данным (по маске гарей 2010 г.)

Крупные участки гарей 2010 г. в пределах границ лесничеств

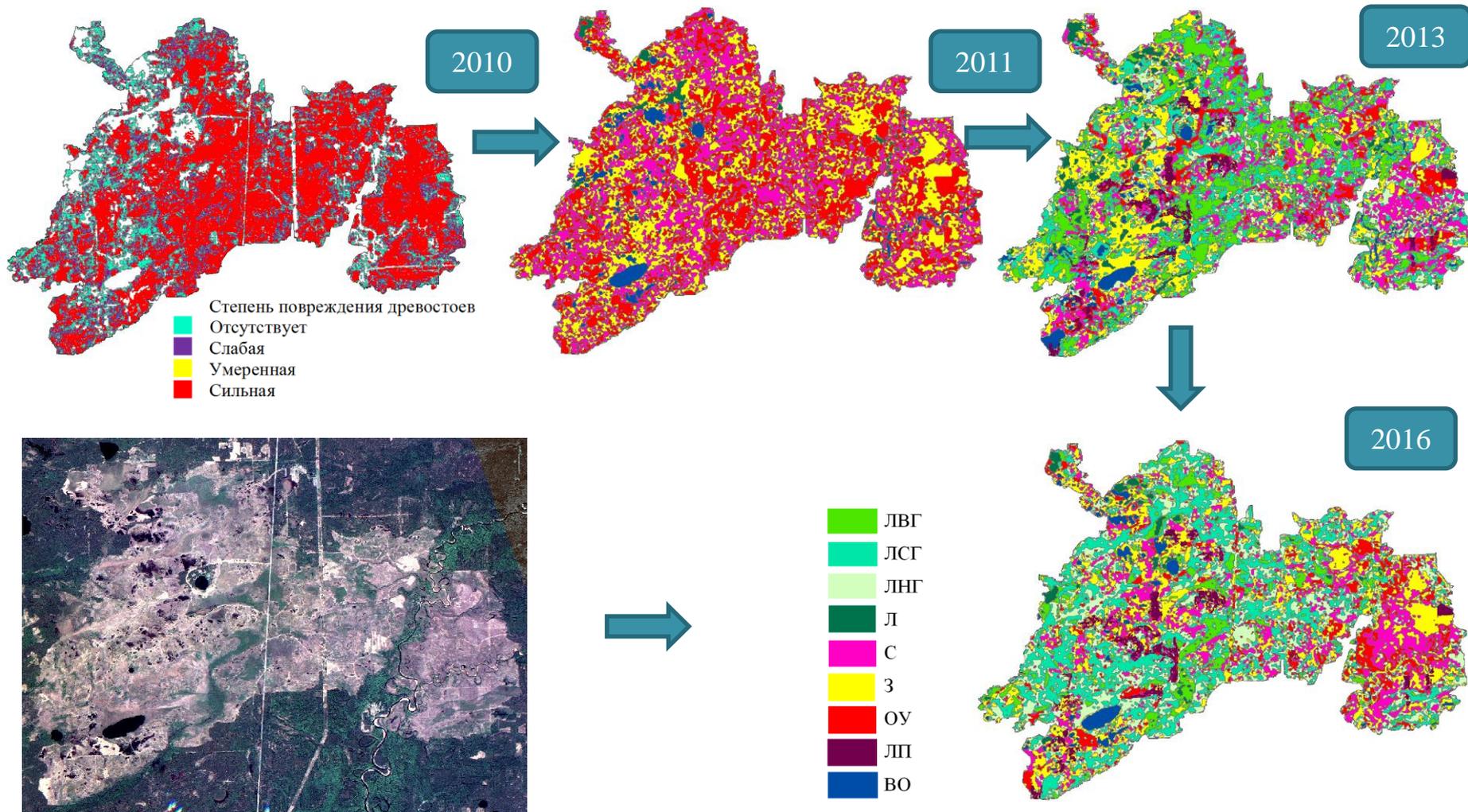


№	Лесничество
1	Козиковское
2	Килемарское
3	Волжское
4	Куярское
5	Моркинское

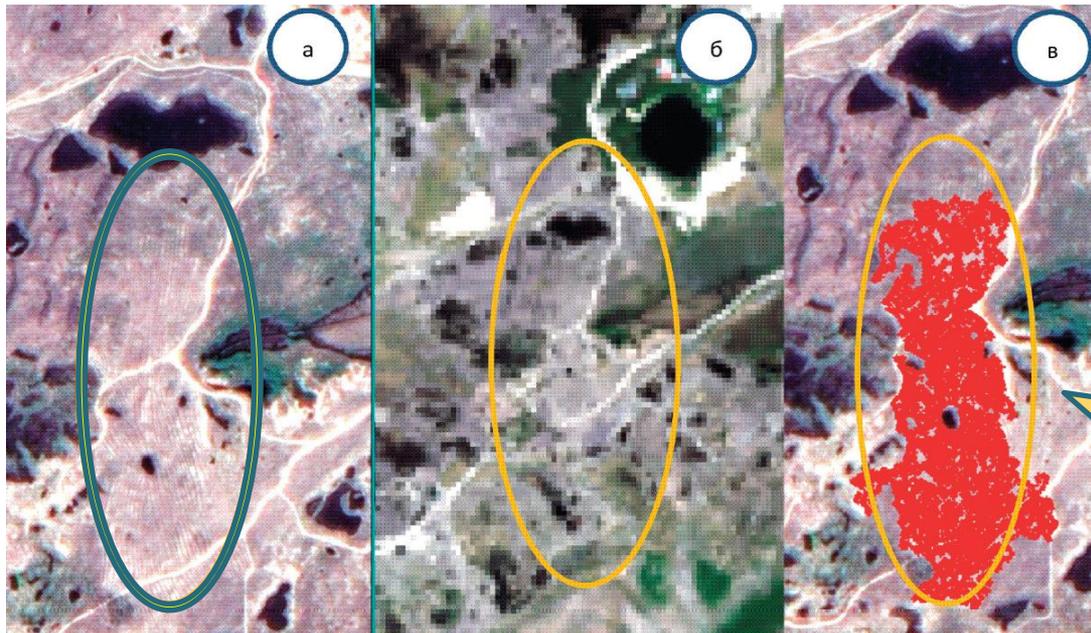


- ЛВГ
- ЛСГ
- ЛНГ
- Л
- С
- З
- ОУ
- ЛП
- ВО

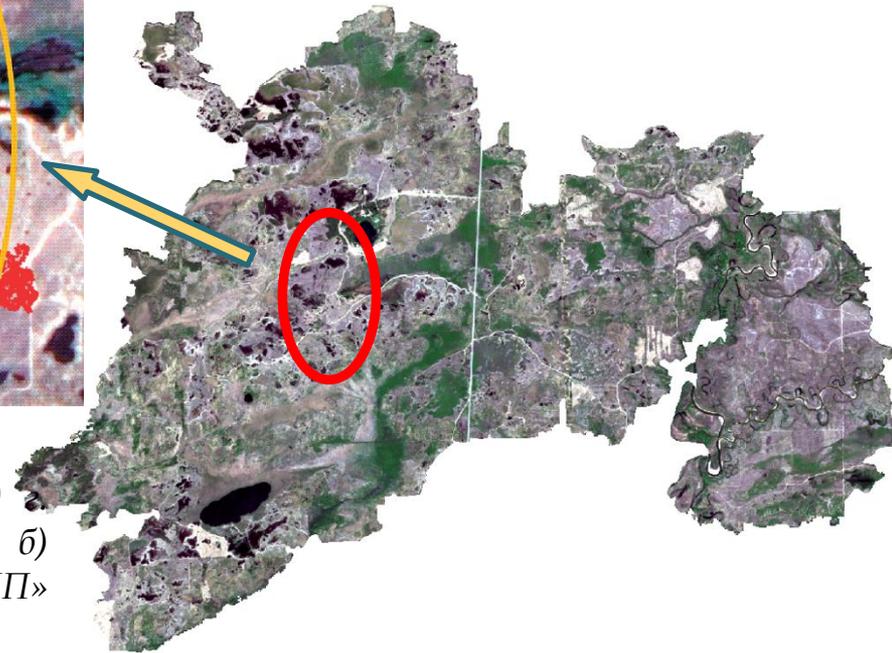
Пост-сукцессионная динамика на гари 2010 г. (Кокшайское лесничество)



Гари 2010 г., Канопус-В, 2016 г.



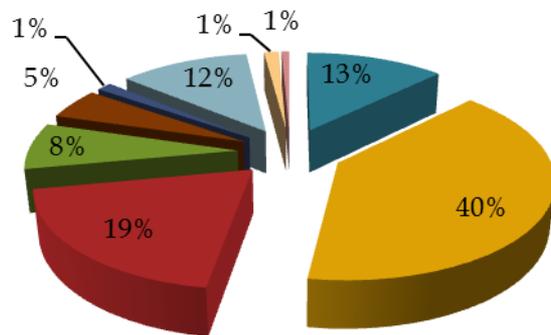
Sentinel-2 (RGB), 2016 г.



Дешифрирование лесных плантаций сосны на гари 2010 Куярского лесничества по снимкам: а) Канопус-В, 2016 г.; б) Landsat 8 OLI, 2016 г.; в) выделение тематического класса «ЛП» по результатам классификации снимка Канопус-В

Воробьев, О.Н. Оценка динамики и нарушенности лесного покрова в Среднем Поволжье по снимкам Landsat / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов, Ю.А. Полевщикова, С.А. Лежнин // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. - № 4 (13). - 2016. - С. 124-134.

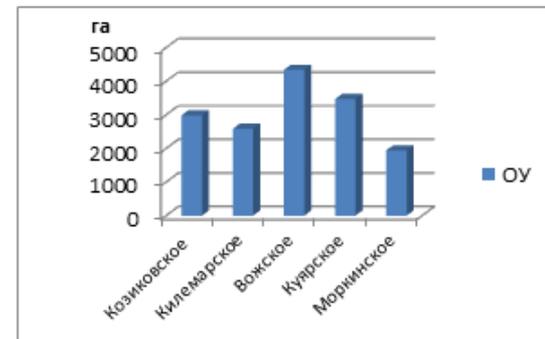
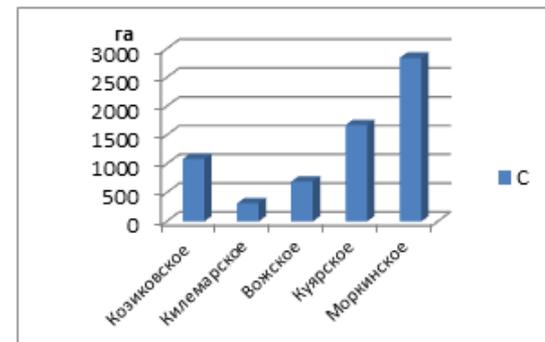
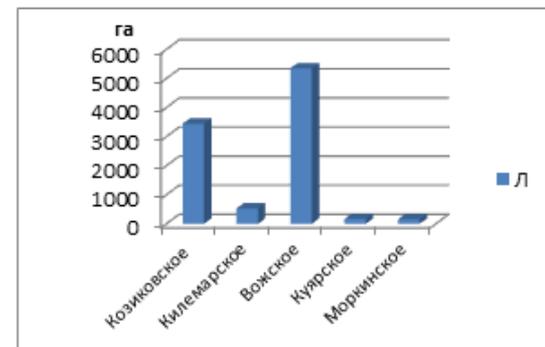
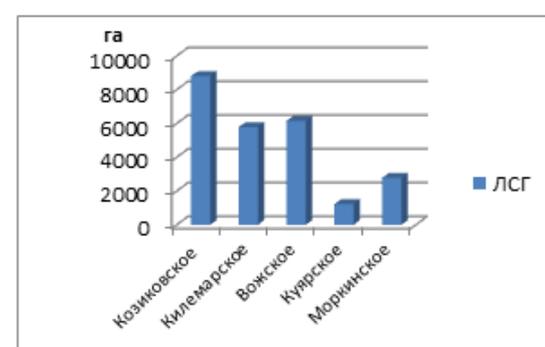
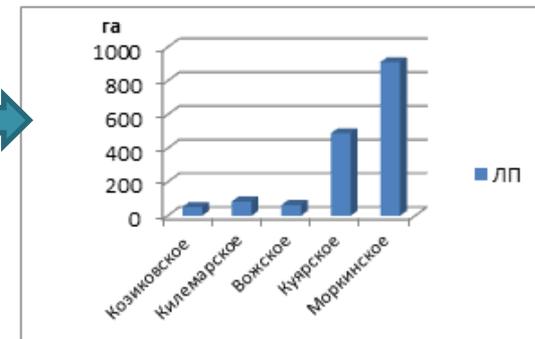
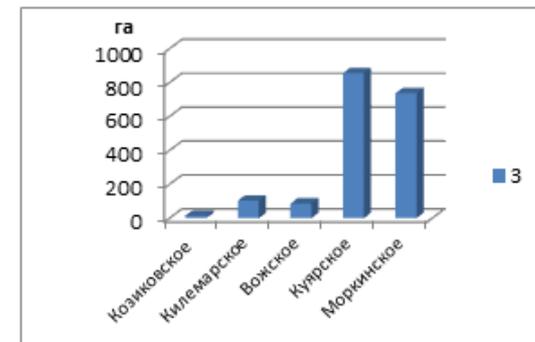
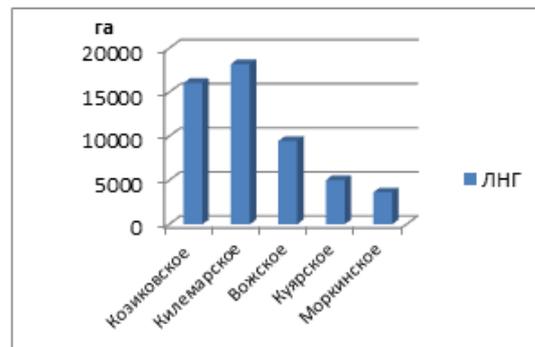
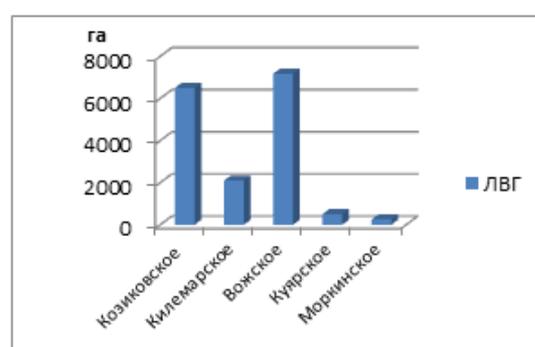
Результаты пост-пирогенного мониторинга



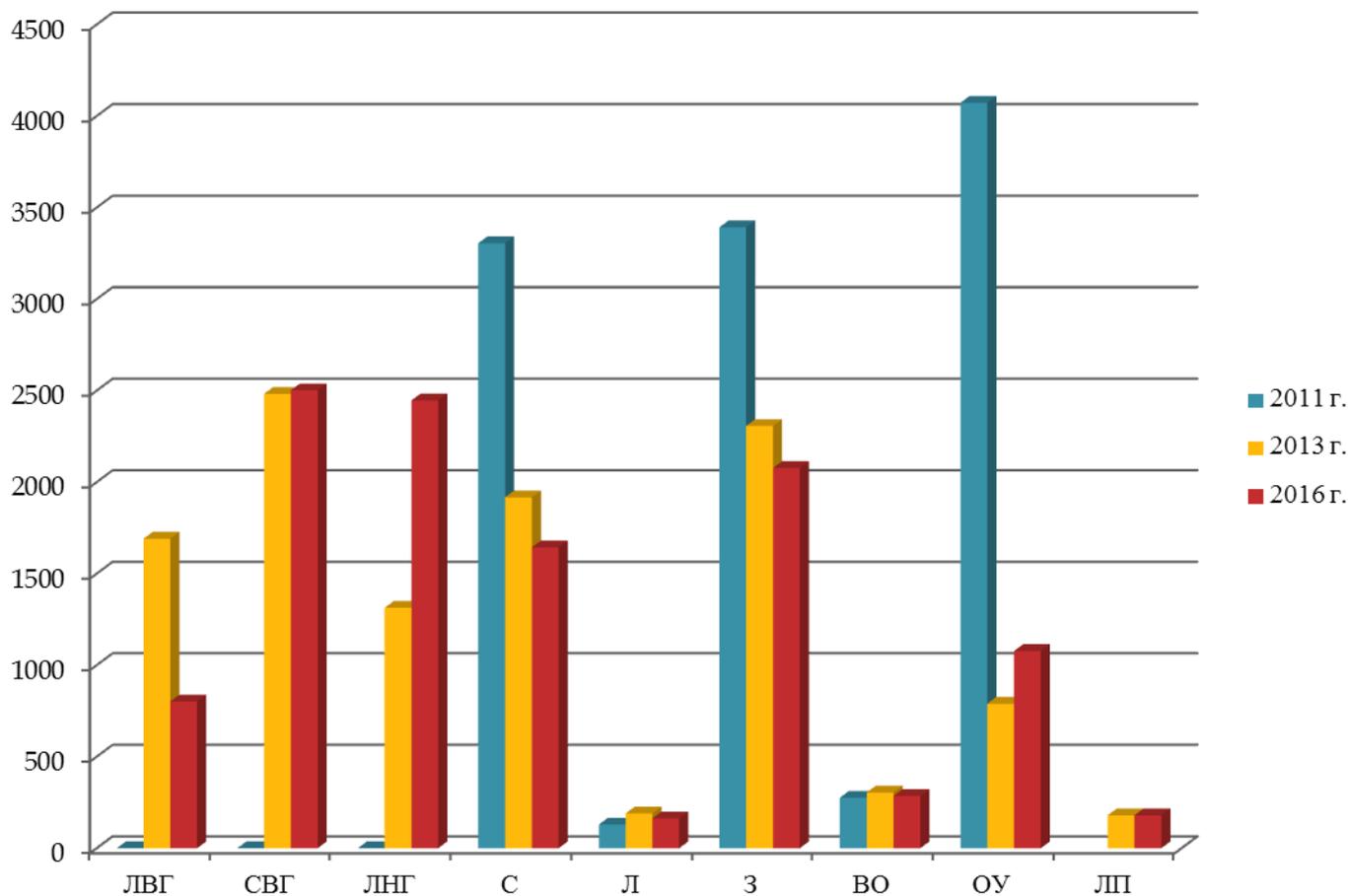
■ ЛВГ ■ ЛСГ ■ ЛНГ ■ Л ■ С ■ З ■ ОУ ■ ЛП ■ ВО

Распределение тематических классов
на всей площади гари 2010 г.

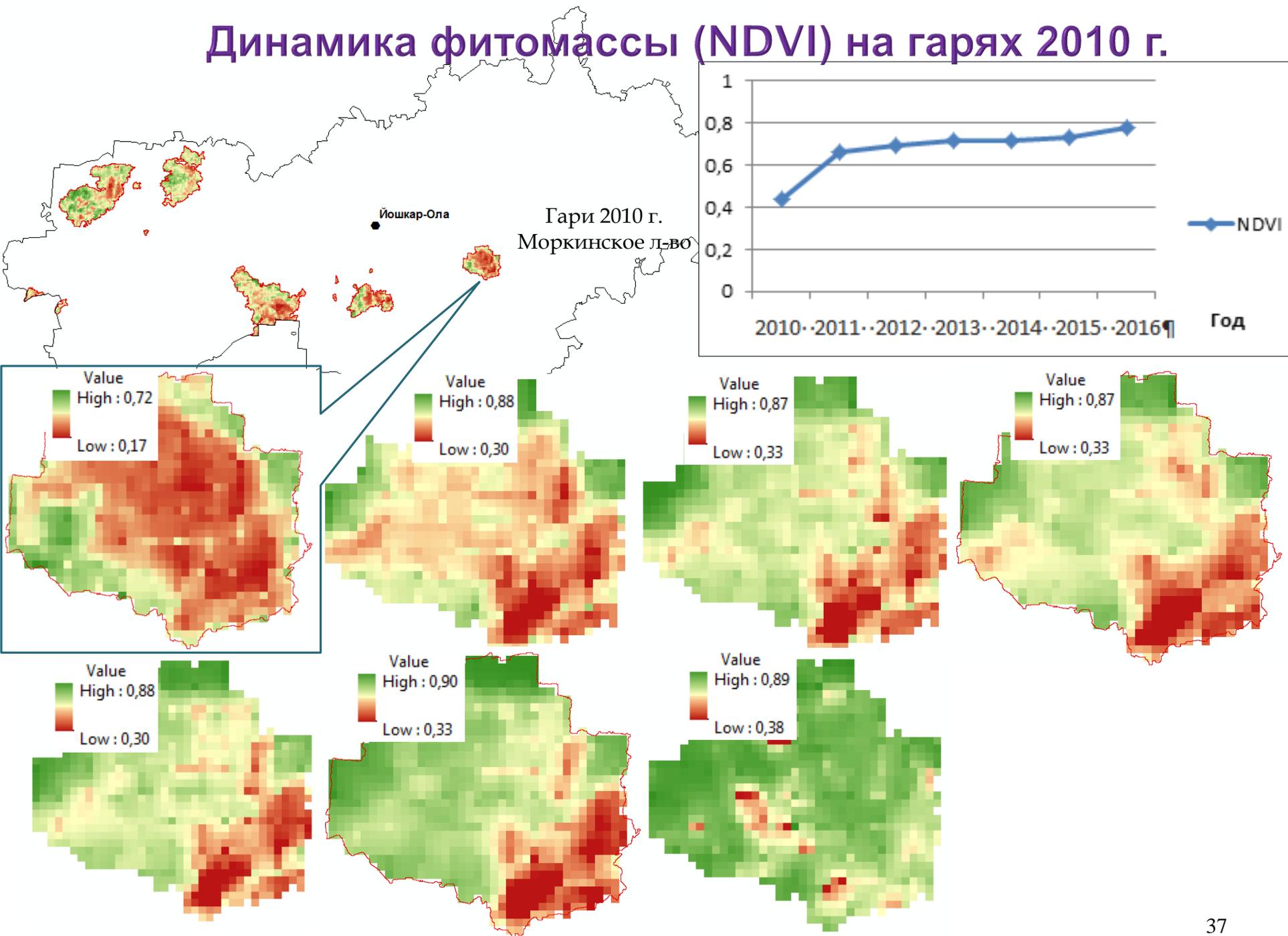
Распределение площади
тематических классов на гари
2010 г. по лесничествам



Сукцессионная динамика на горях 2010 г.



Динамика фитомассы (NDVI) на гарях 2010 г.

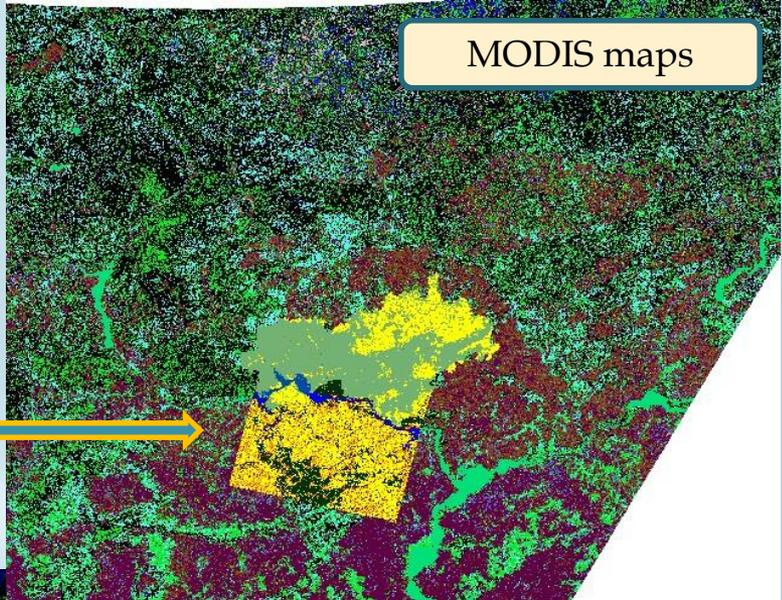
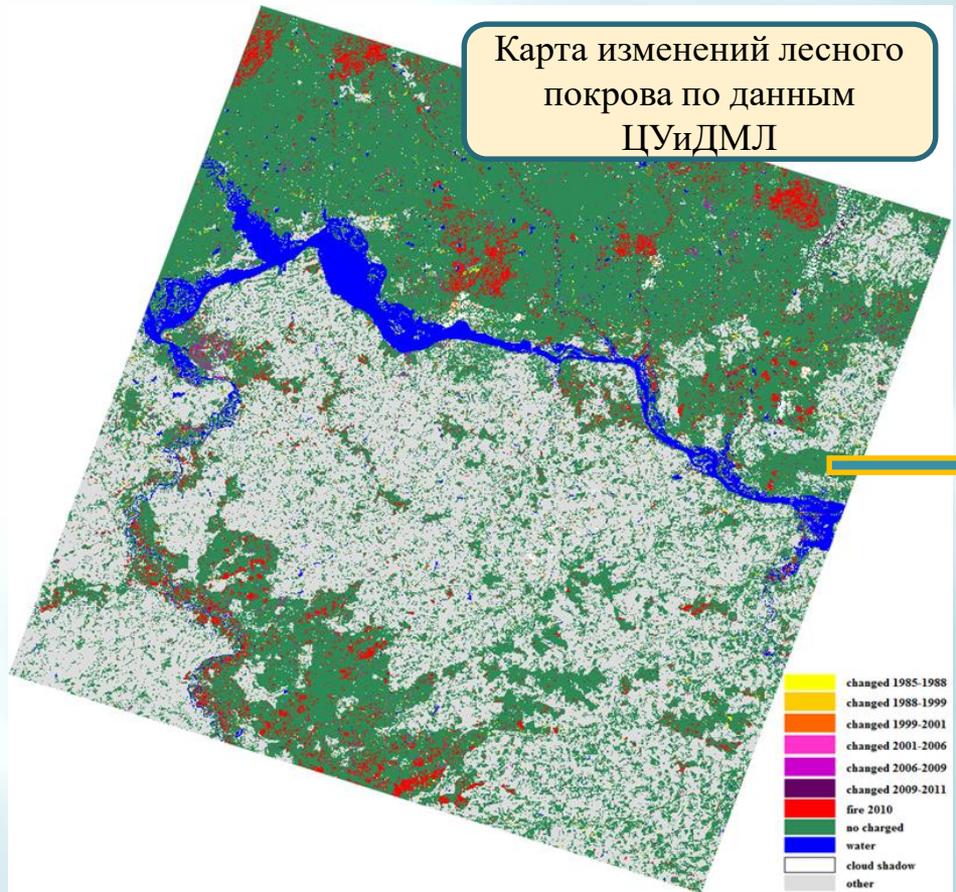


Сравнительный анализ региональных тематических карт и карт глобального масштаба

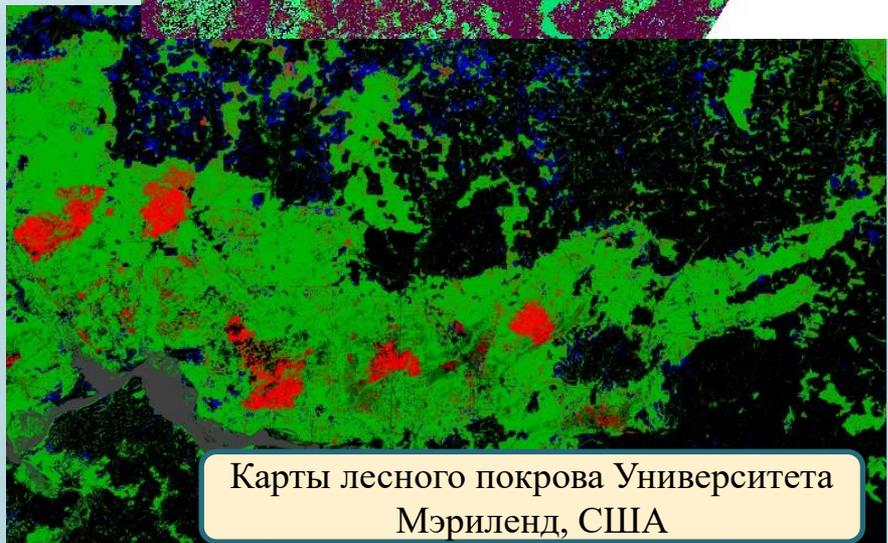
Comparative analysis of global and regional maps



Карта изменений лесного покрова по данным ЦУиДМЛ



MODIS maps



Карты лесного покрова Университета Мэриленд, США

Валидация данных

Результаты исследований

- ▣ Общая уточненная площадь гарей 2010 г. на территории исследования составила более 124 тыс. га.
- ▣ По результатам классификации спутниковых снимков и данным полевых исследований 2015-16 гг. на территории исследования выделены границы (тематических классов) ценопопуляций различных типов возобновления, приуроченных к определённым биотопам.
- ▣ Состояние и морфологическая структура послепожарного состояния всего наземного покрова на гарях, в большей степени зависит от состава почв, степени нарушенности древостоев после пожара и уровня осадков.
- ▣ На первичных этапах восстановительных процессов на гарях доминирующей породой являются лиственные, с преобладанием березы (*Betula pendula*) и ивы (*Salix caprea*), даже на не характерных для этих пород среднеподзолистых песчаных почвах.
- ▣ Доминирующими, в процессе возобновления древостоев на гарях 2010 г., являются лиственные молодняки средней густоты.
- ▣ Максимальная степень дифференциации наземного покрова по выбранным классам легенды приходится на крупные участки гари расположенные в зоне до пожарного произрастания светлохвойных насаждений, в первую очередь, в районах сухих и свежих боров.
- ▣ На эти же участки приходится и максимум лесохозяйственных работ по искусственному лесовозобновлению.
- ▣ Важным фактором полезности использования Landsat для мониторинга сукцессионных процессов является универсализм технологических процессов при ведении такого рода работ, влияющих на принятие ответственных решений специализированными органами и организациями. Удешевление всей производственной цепочки ведения мониторинга и оперативность получения необходимых результатов, а так же и возможность комплексного использования снимков более высокого разрешения.

Спасибо за внимание