

**Вычислительные аспекты построения
классификаторов разной сложности при
обработке гиперспектральных
аэрокосмических изображений**

В.В. Козодеров¹, Е.В. Дмитриев²,

В.Д. Егоров², В.В. Борзяк¹

*¹Московский государственный университет
им. М.В.Ломоносова,*

²Институт вычислительной математики РАН

Содержание доклада

- **Рассмотрение характерных особенностей совмещенных данных гиперспектральной и аэрофотосъемки в привязке к данным наземных обследований выбранной тестовой территории.**
- **Приложения специально созданного программно-алгоритмического обеспечения для автоматизации процесса обработки гиперспектральных изображений.**
- **Примеры характерных особенностей спектров лесной, травянистой и иной растительности, торфяников, открытых почв, водоемов и других объектов при наличии очагов пожаров и гарей, сильного и слабого задымления и т.д.**

Общие положения

На территории Тверской области проводится отработка новейших технологий использования данных дистанционного аэрокосмического зондирования для решения региональных задач природопользования и лесного хозяйства, включая летные испытания отечественной гиперспектральной аппаратуры и создание программно-алгоритмического обеспечения обработки данных многоспектральной (до десяти спектральных каналов) и гиперспектральной (сотни спектральных каналов) съемки совместно с наземными обследованиями выбранных участков территории.

Участники работ:

- НПО «Лептон», г. Зеленоград разрабатывает и совершенствует гиперспектральную аппаратуру;**
- Технопарк ТвГУ проводит установку комплекса аппаратных средств на летательные аппараты, обеспечивает сбор, анализ и систематизацию наземных данных, а также взаимодействие участников работ;**
- МГУ им.М.В.Ломоносова и Институт вычислительной математики Российской академии наук проводят обработку полученных данных аэрокосмического зондирования и наземных наблюдений на основе разрабатываемого оригинального программного обеспечения.**

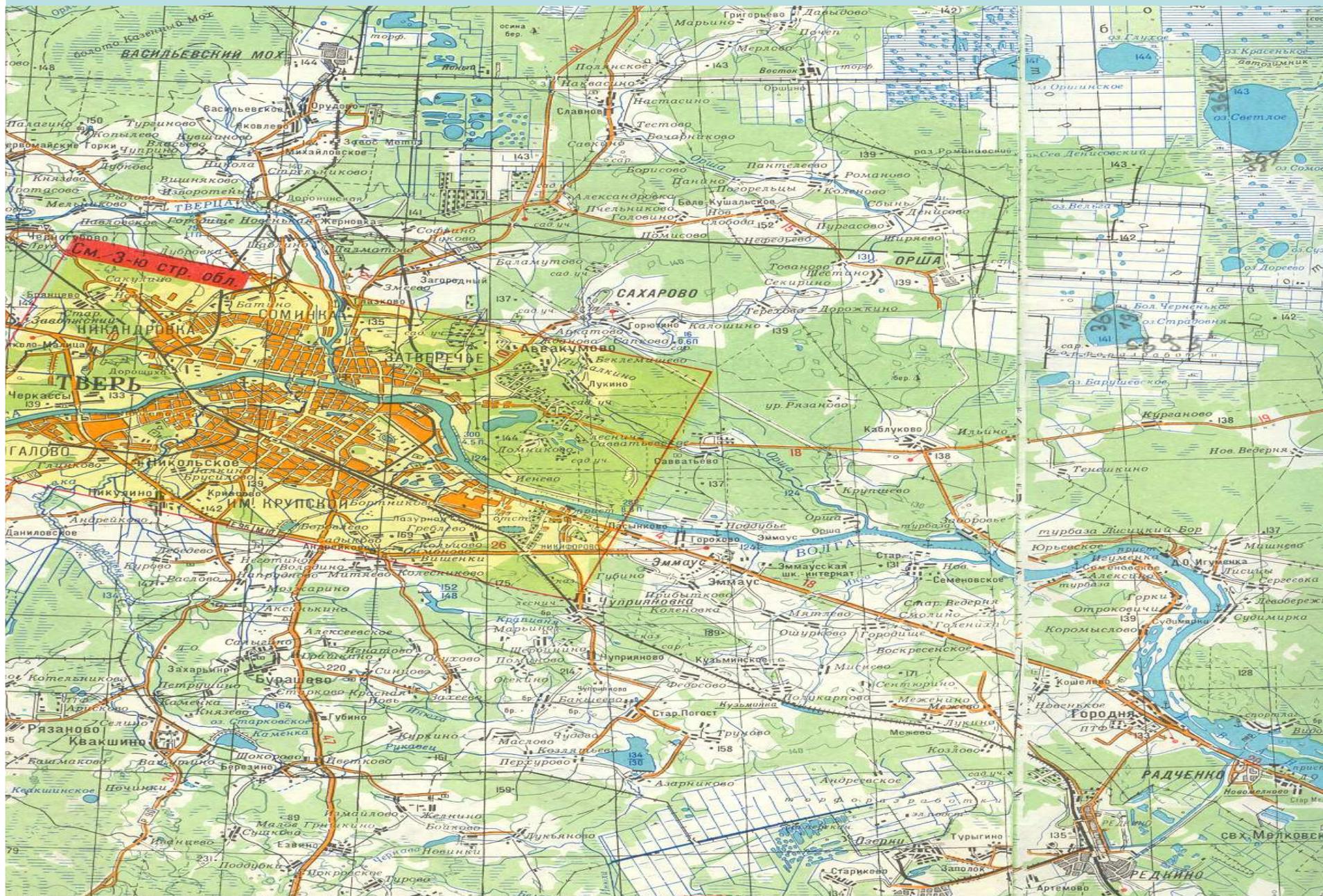
Исходные данные обработки

- **Гиперспектральные изображения в 230 спектральных каналах от 400 нм до 1000 нм с разрешением около 1 нм в коротковолновых каналах и 5-10 нм – в длинноволновых каналах. Высота полета около 1.5 км, пространственное разрешение аппаратуры порядка 1.5 м x 2.5 м.**
- **Синхронные аэрофотоизображения зондируемой территории.**
- **Картосхемы наземных лесотаксационных обследований территории в виде отдельных кварталов и выделов внутри них.**

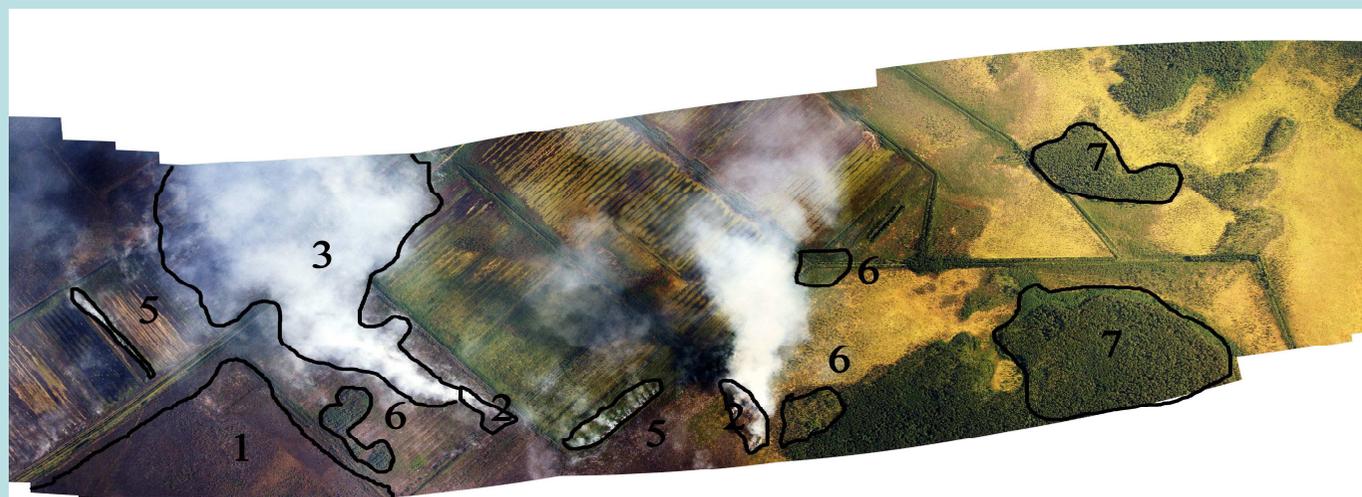
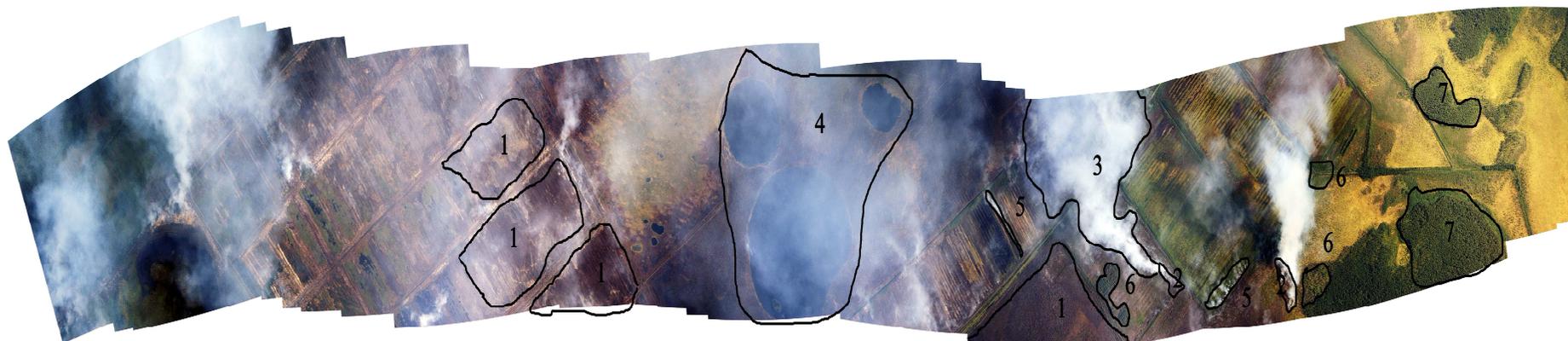
Специфика летно-полевой и научно-исследовательской кампаний 2010 года

- Наличие лесных и торфяных пожаров на тестовой территории Тверской области.**
- Создание специальных программ RGB-синтезирования обрабатываемых гиперспектральных изображений для выделения на них контуров характерных объектов по данным наземных лесотаксационных и других обследований территории.**
- Создание специальных расчетных программ выделения всех пикселов в пределах отобранных контуров.**
- Быстрый просмотр средних спектров и их дисперсий для этих контуров.**
- Реализация собственно программ распознавания объектов разными методами (дискриминантный анализ, метод опорных векторов и др.).**

Карта тестовой территории летно-полевых кампаний в Тверской области (пример пожаров в районе озера Дореево)

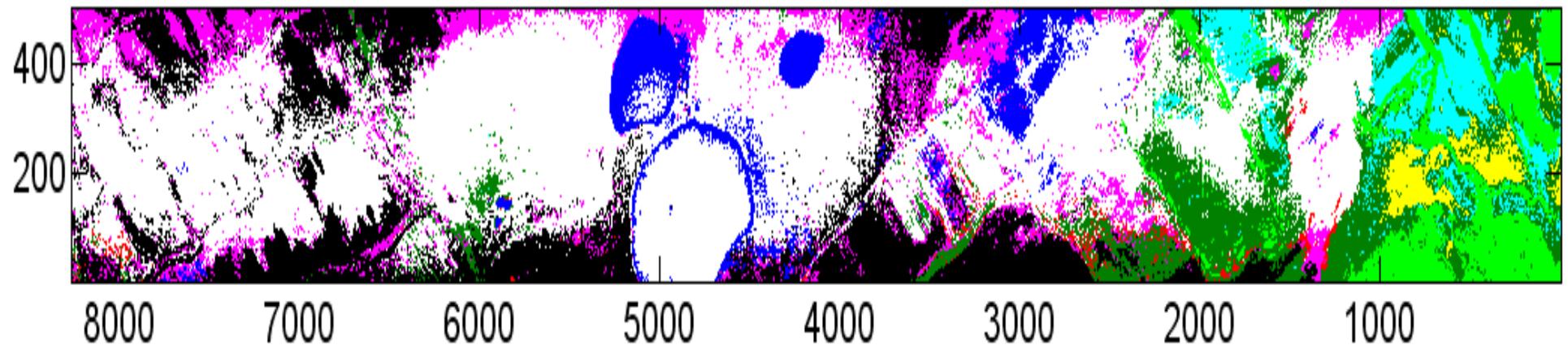


Аэрофотоизображения одной из тестовых территорий



1 – области закончившегося верхового пожара, с разной степенью обгорания; 2 - фронт интенсивного горения; 3 – область изменения интенсивности шлейфа дыма; 4 – дым средней и слабой интенсивности над поверхностью озер в районе торфяных болот; 5 – районы горящих лесов; 6 – леса вблизи очагов горения; 7 – леса, нетронутые пожарами.

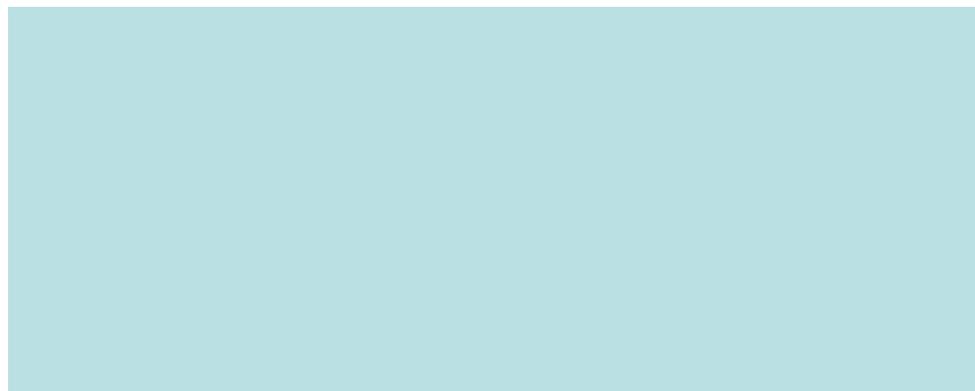
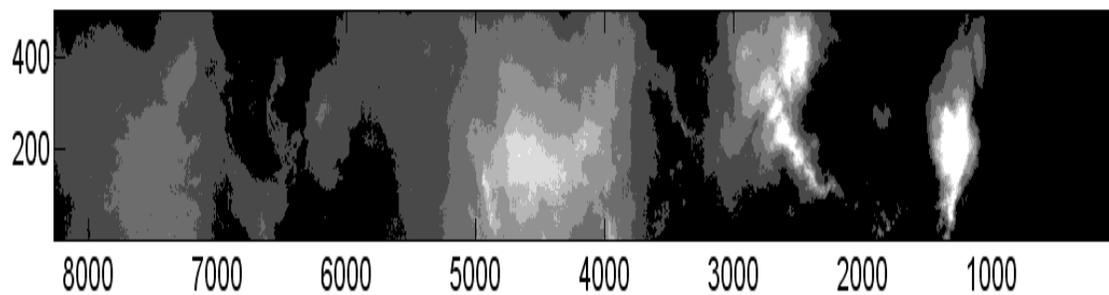
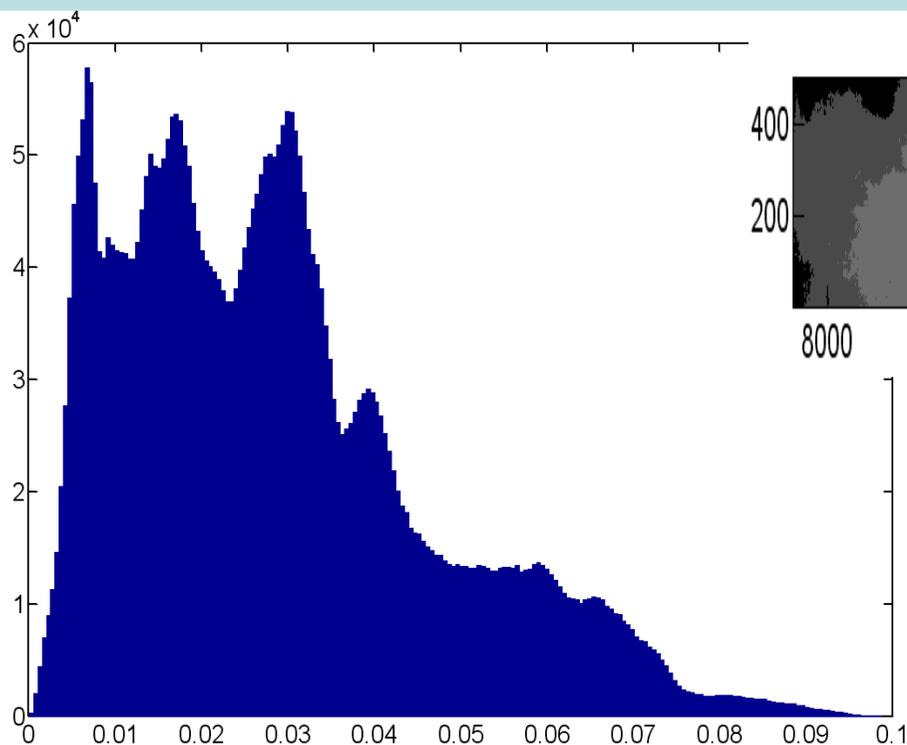
**RGB-синтезированное гиперспектральное изображение
размерностью 8262 x 500 пикселей. Цвета: белый – дым; синий
– водоемы; красный – очаги возгорания; черный – гари;
разные оттенки зеленого – растительность; желтый –
открытые почвы.**



Некоторые общие сведения о дымах и пожарах

- **Горение – сложный физико-химический процесс; если при горении образуются горючие газы, то горение сопровождается пламенем.**
- **Дым – устойчивая дисперсная система, состоящая из мелких твердых частиц, находящихся во взвешенном состоянии в газах. Дым – типичный аэрозоль с размером твердых частиц от 0.1 мкм до 10 мкм. В отличие от пыли – более грубодисперсной системы, частицы дыма практически не оседают под действием силы тяжести.**
- **Древесина состоит в основном из углерода, водорода и кислорода. При горении древесины выделяется тепло, образуется водяной пар, двуокись и окись углерода, а также кислоты и различные газы. При торфяных пожарах ощущают запас торфяных соединений (по сути молодого угля), а угарный газ (СО) имеет свойство вступать в реакцию с гемоглобином крови, что приводит к кислородному голоданию (удушью).**

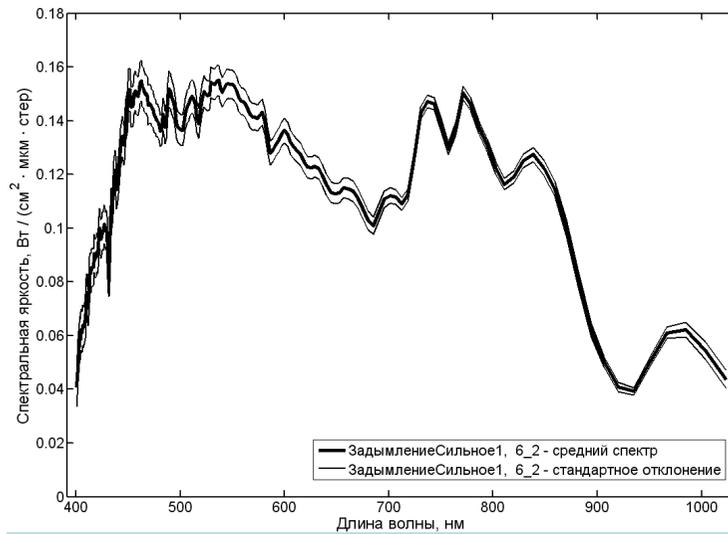
Гистограмма яркостей объединенного коротковолнового канала и распределение 7 классов интенсивности дымов по территории



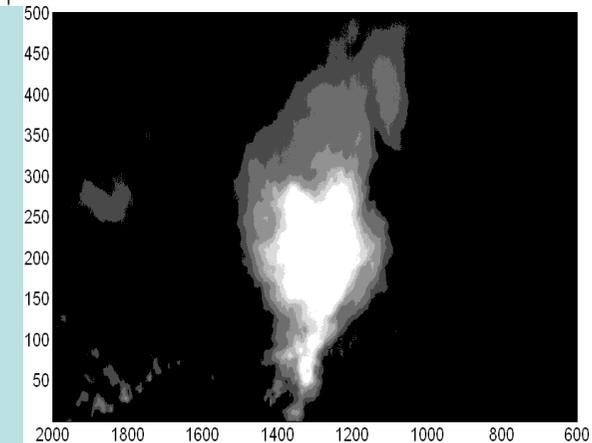
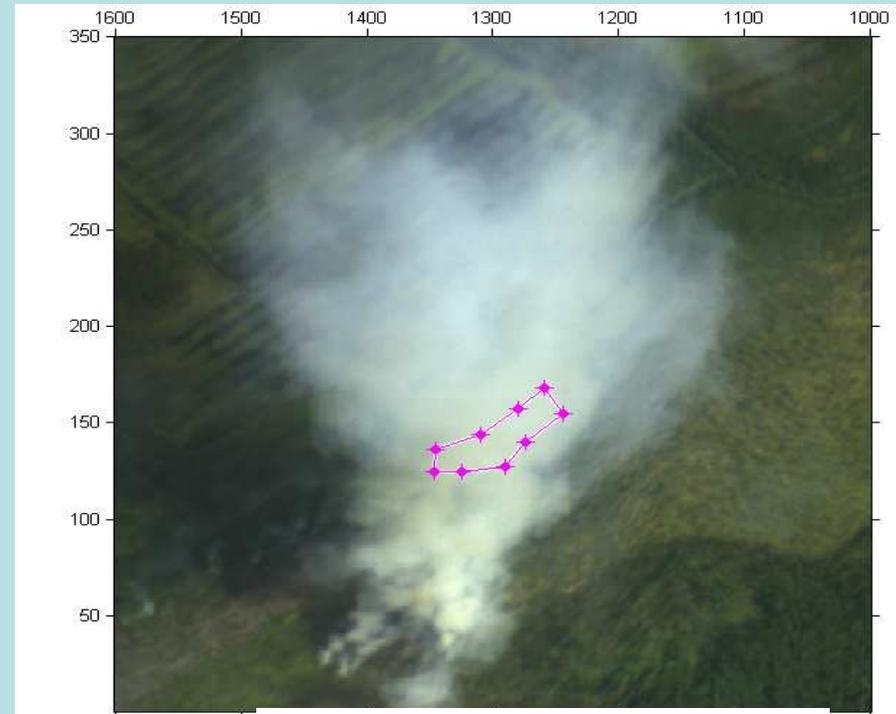
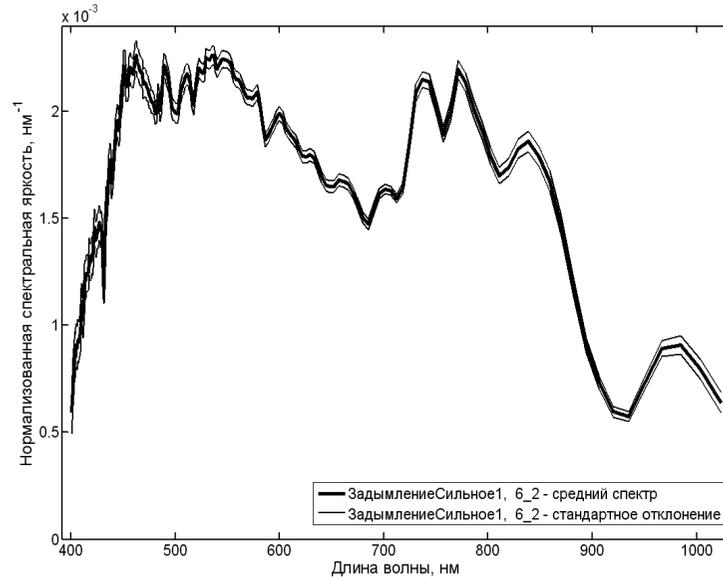
N	1	2	3	4	5	6	7	8
Границы интервалов – градаций яркости в объединенном канале 414 нм (разрешение 30 нм)	0	0.023	0.0363	0.0521	0.063	0.0694	0.0758	0.11

Область сильного задымления над растительностью (регион 1). В оконтуренной области 1813 спектров. Слева – средние (исходные и нормализованные) спектры и их среднеквадратические отклонения

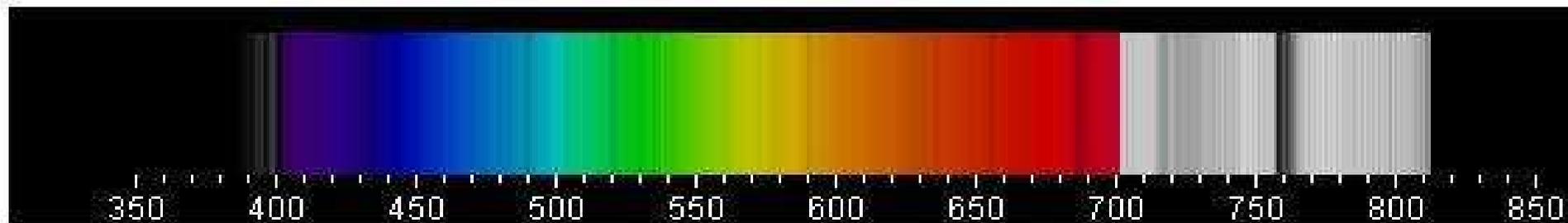
Сравнение средних спектров



Сравнение средних нормализованных спектров



Некоторые сведения из оптической спектроскопии. Приведены известные линии водорода (бальмеровская серия: $\alpha\beta\gamma\delta$), видны также линии кислорода 687, 718, 862 нм. Для сравнения внизу - набор линий азота

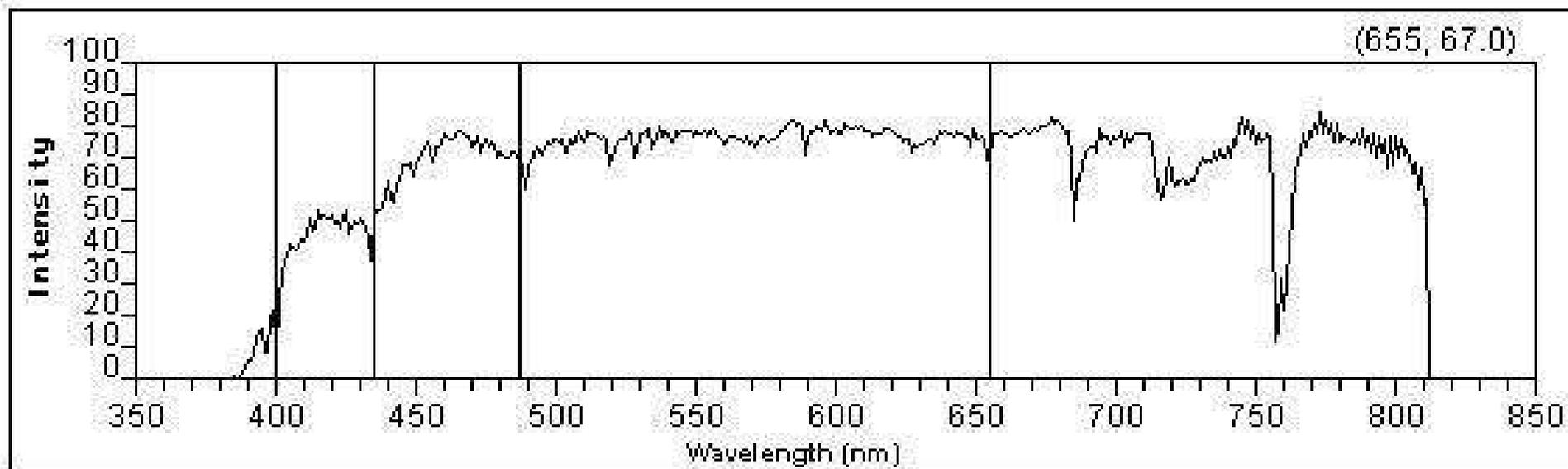


H δ 410

H γ 434

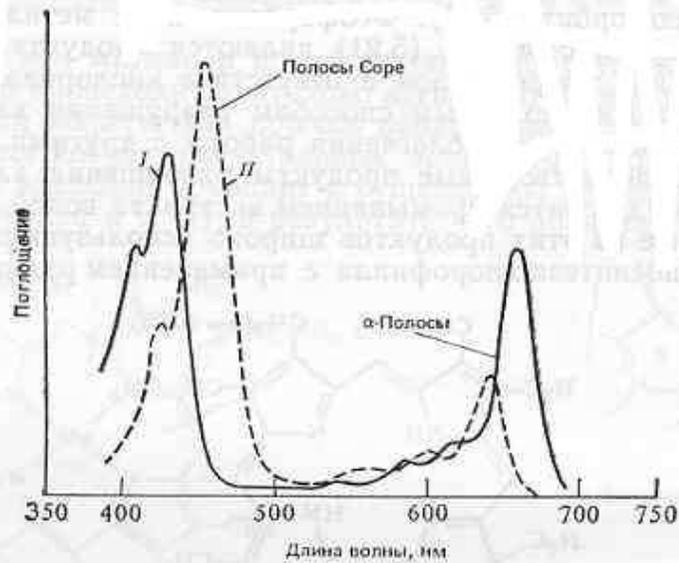
H β 486

H α 656

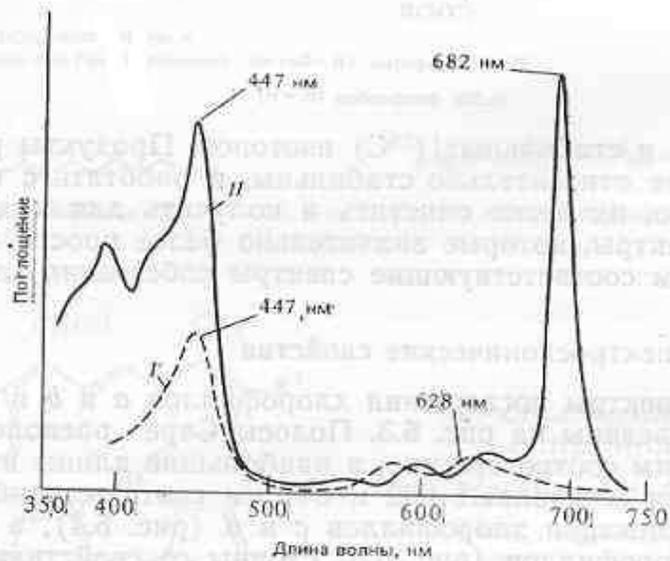


Хлорофилл – основной пигмент фитопланктона, обеспечивающий характерную форму спектра отражения вегетирующей растительности

Хлорофиллы - зеленые пигменты растений, с помощью которых они улавливают энергию солнечного света и осуществляют процесс фотосинтеза. В состав молекулы хлорофилла входит магний и азот, железо является обязательным катализатором этого процесса. В клетке молекулы хлорофиллов сосредоточены в хлоропластах. Существует несколько типов хлорофиллов (*a, b, c, d*), отличающихся системой связей и заместителями. Высшие растения и водоросли содержат в качестве основного пигмента хлорофилл *a*, а в качестве сопровождающих дополнительных - хлорофилл *b* (высшие растения и зелёные водоросли), хлорофилл *c* (бурые и диатомовые водоросли), хлорофилл *d* (красные водоросли).



Спектры поглощения света хлорофиллом *a* (I) и хлорофиллом *b* (II) в диэтиловом эфире.

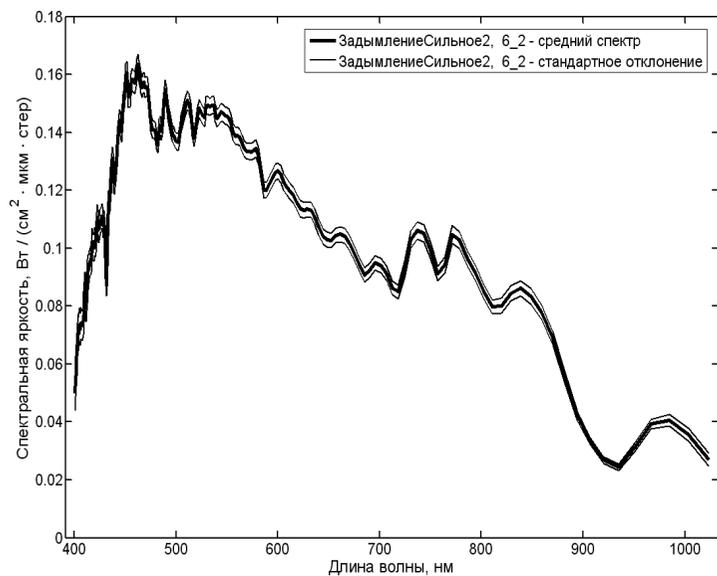


Спектры поглощения света хлорофиллом *c* (I) и хлорофиллом *d* (II) в диэтиловом эфире.

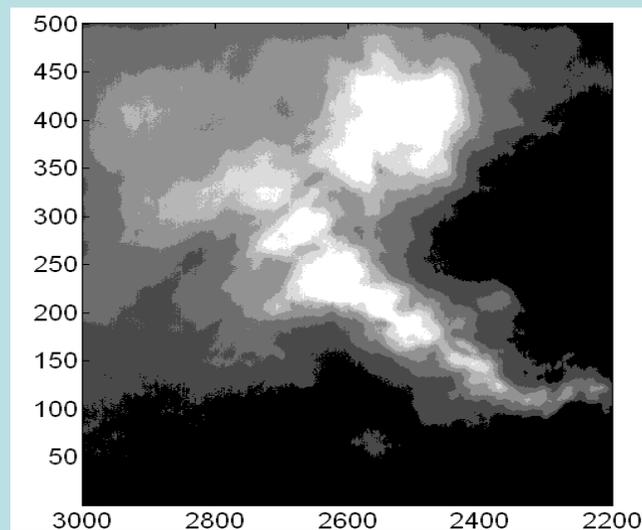
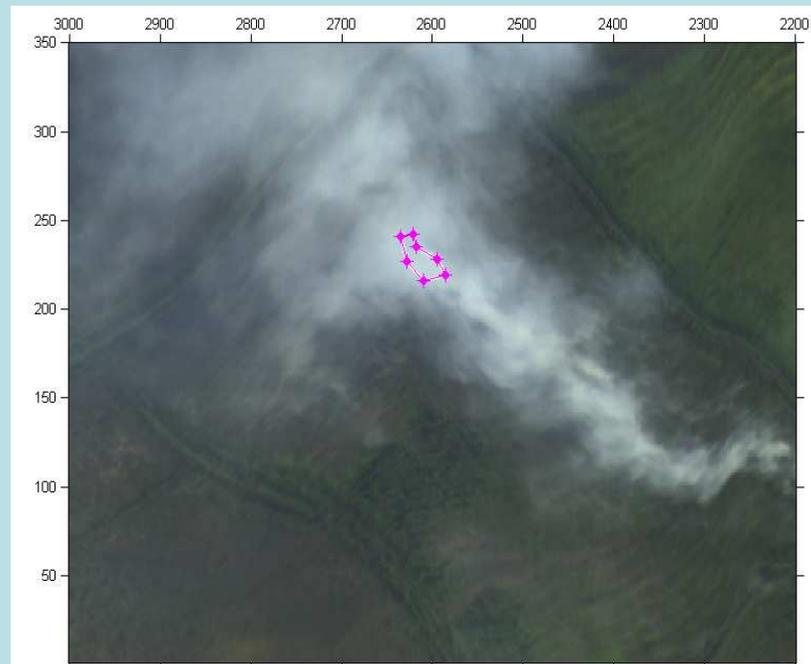
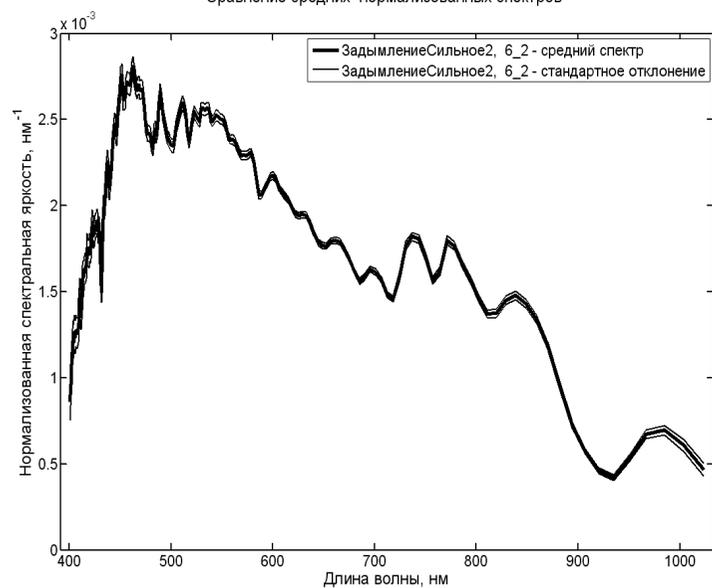
Спектры поглощения хлорофиллов *a* и *b* имеют полосы поглощения при 430 и 455 нм, а также при 662 и 641 нм, соответственно. Главные свойства спектров хлорофиллов *c* и *d* сходны со свойствами спектров хлорофиллов *a* и *b*, однако максимумы поглощения их спектров различаются.

Область сильного задымления над растительностью (регион 2). 600 спектров в пределах выделенного контура

Сравнение средних спектров

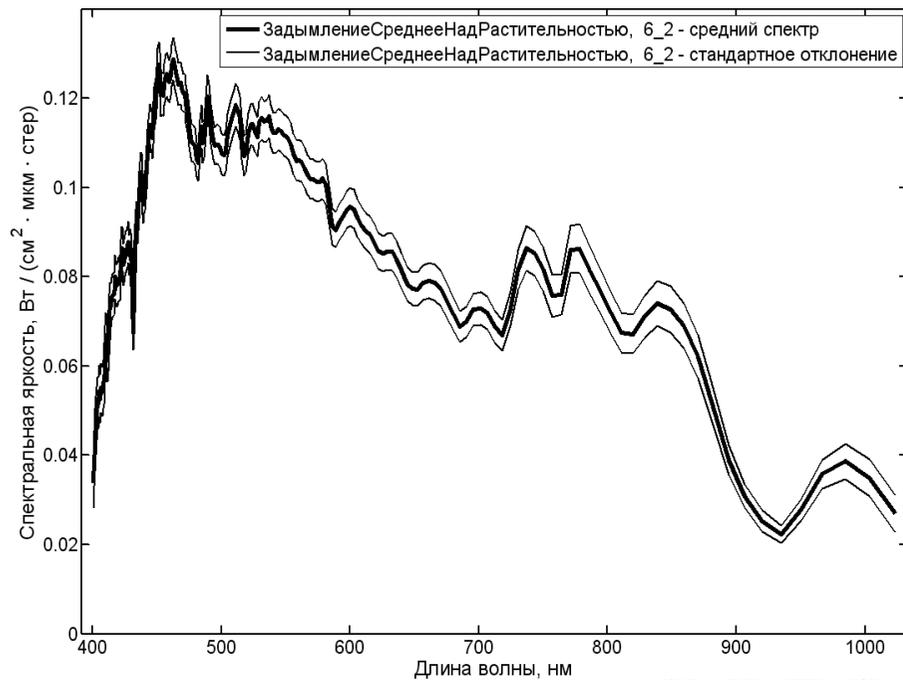


Сравнение средних нормализованных спектров

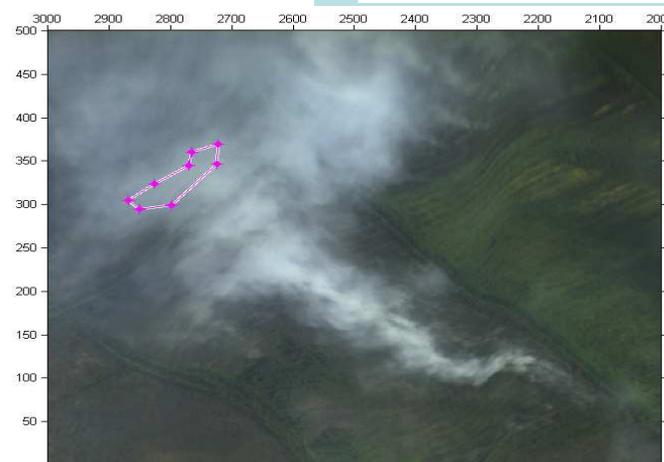
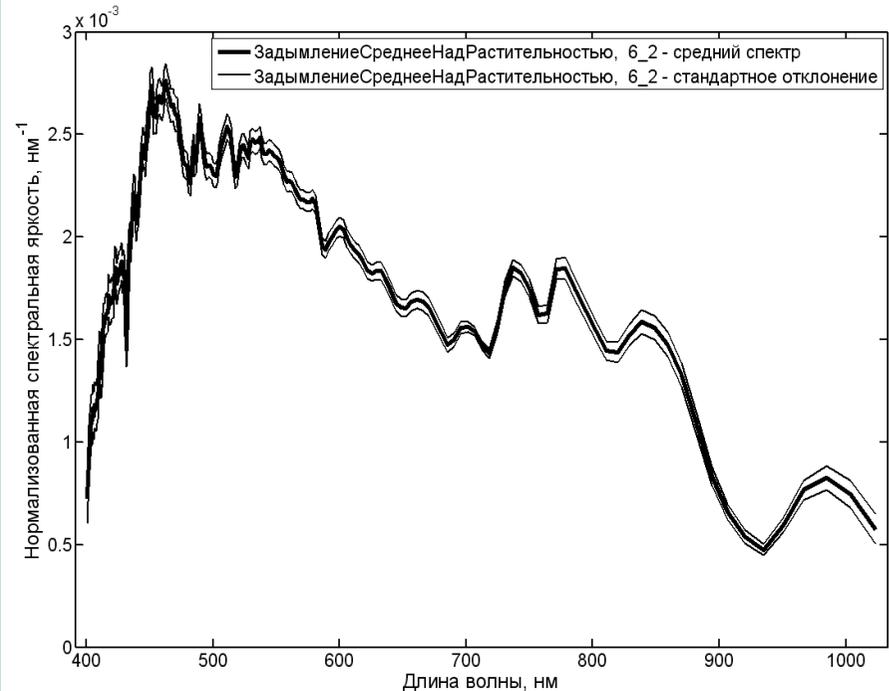


Область среднего задымления на фоне растительности. 3958 спектров (исходных слева и нормализованных справа)

Сравнение средних спектров

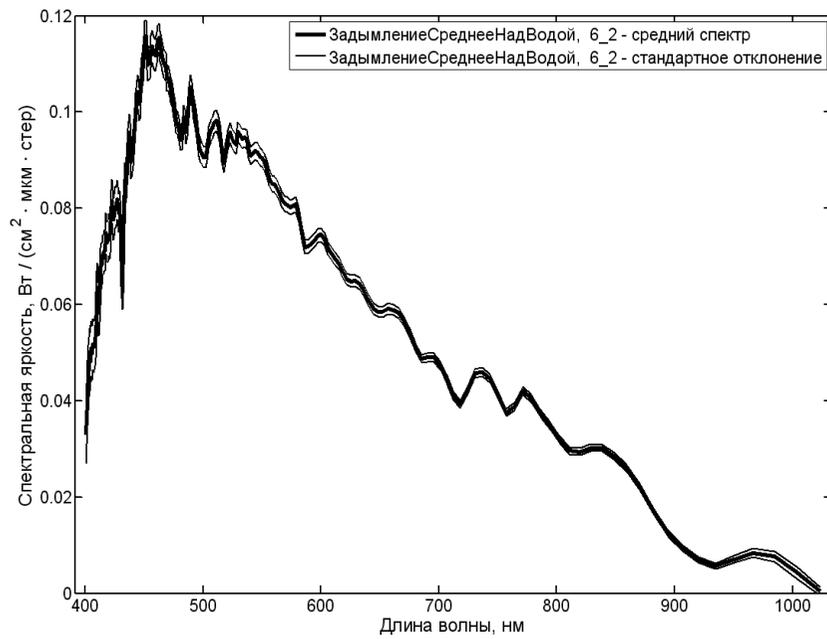


Сравнение средних нормализованных спектров

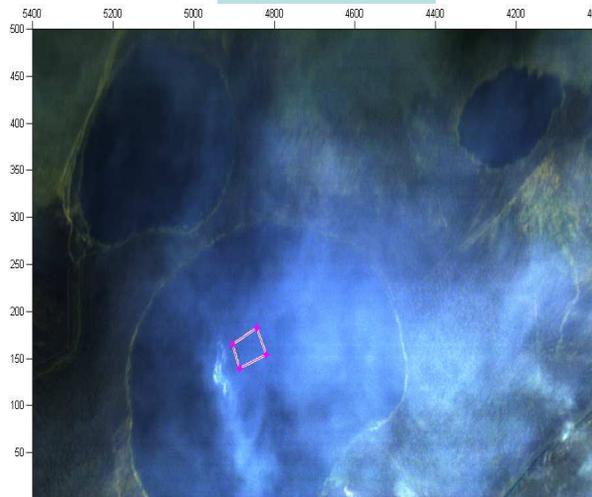
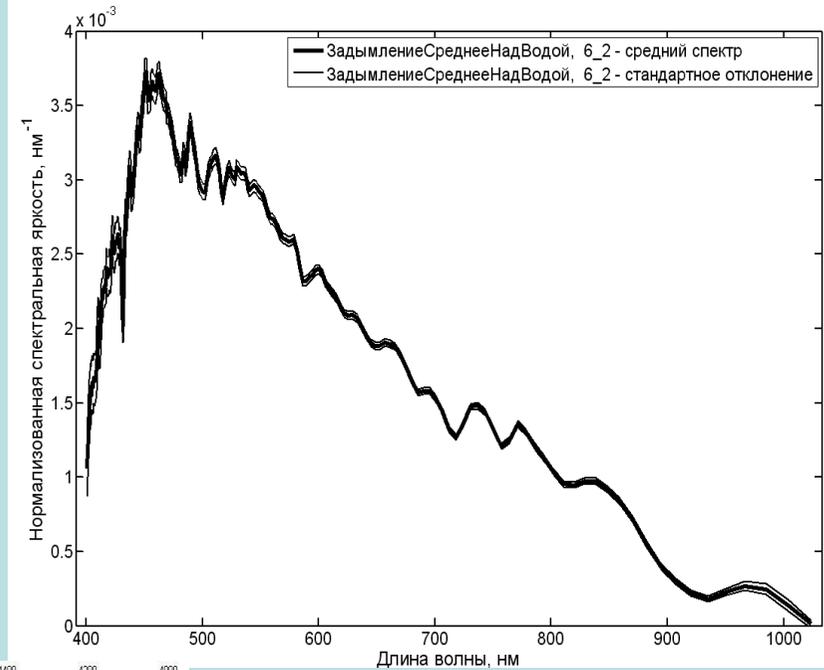


Среднее задымление над водной поверхностью. 2021 спектр. Здесь среднеквадратическое отклонение почти не изменяется при нормализации

Сравнение средних спектров

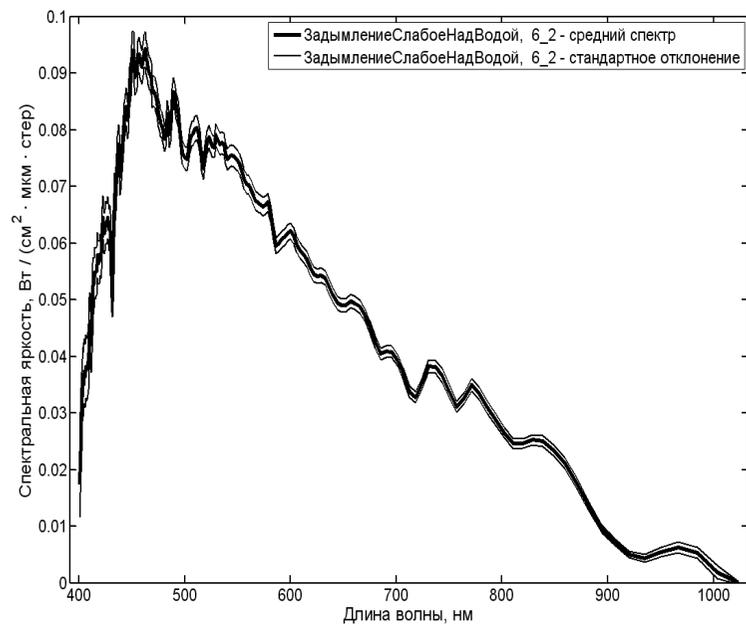


Сравнение средних нормализованных спектров

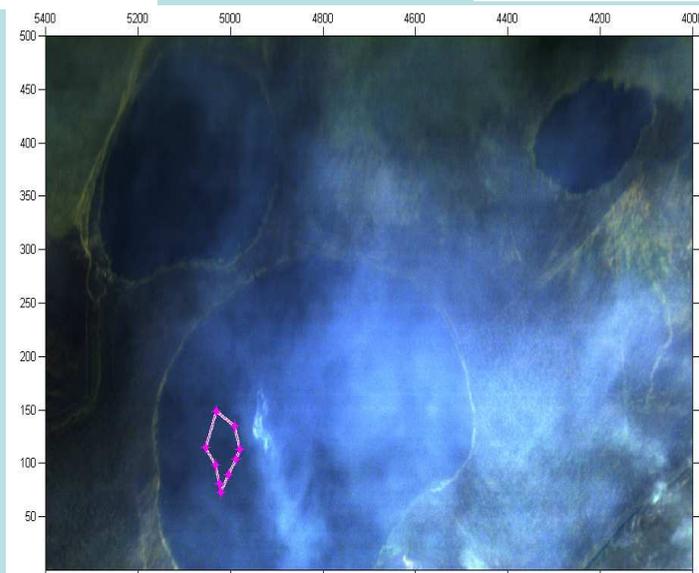
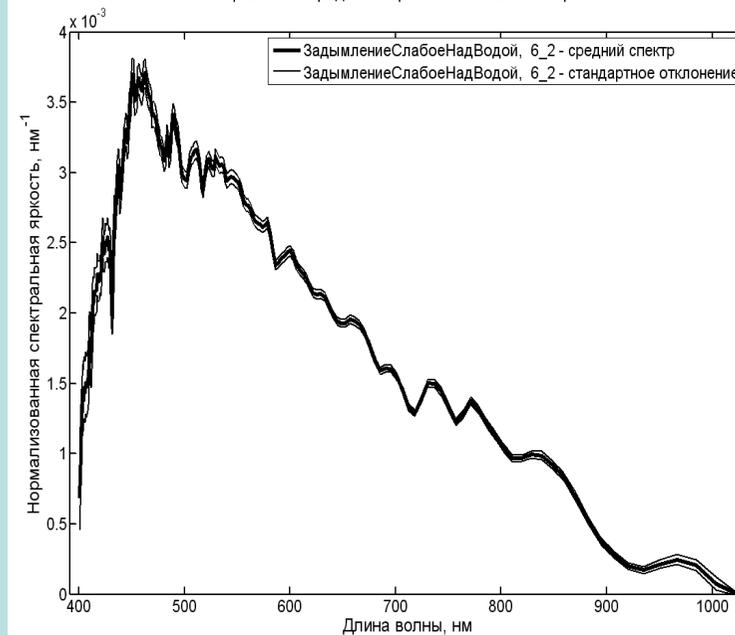


Слабое задымление над водной поверхностью. 2987 спектров. Амплитуда коротковолнового максимума уменьшается

Сравнение средних спектров



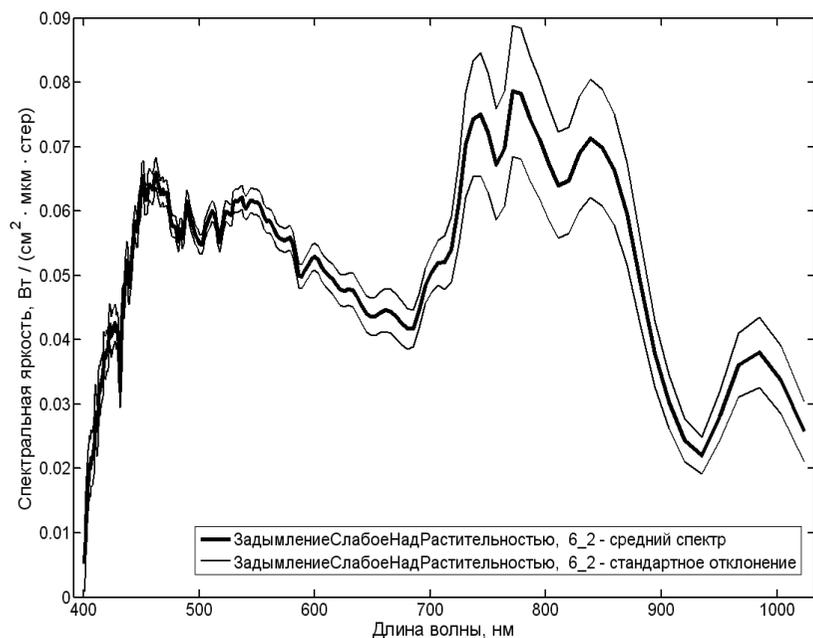
Сравнение средних нормализованных спектров



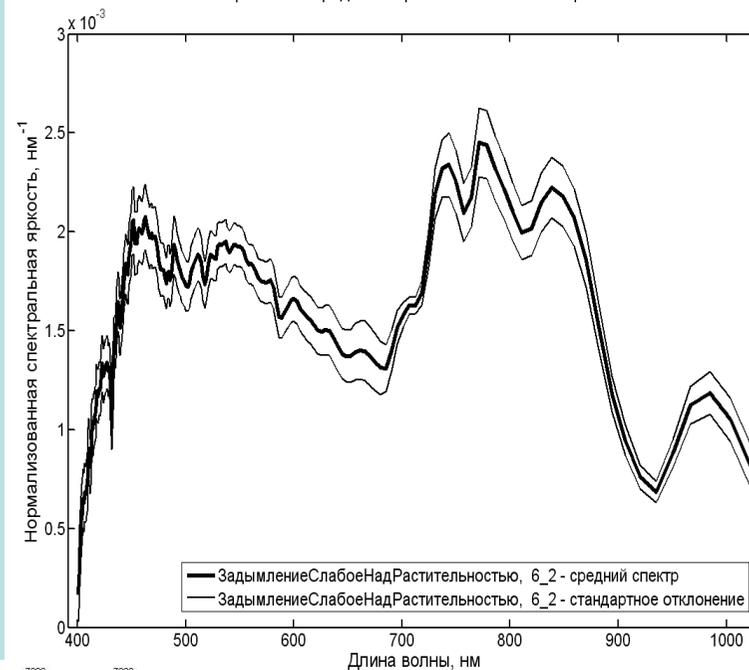
Слабое задымление над растительностью.

4426 спектров. После нормализации среднеквадратическое отклонение увеличивается в видимой и уменьшается в ближней инфракрасной области

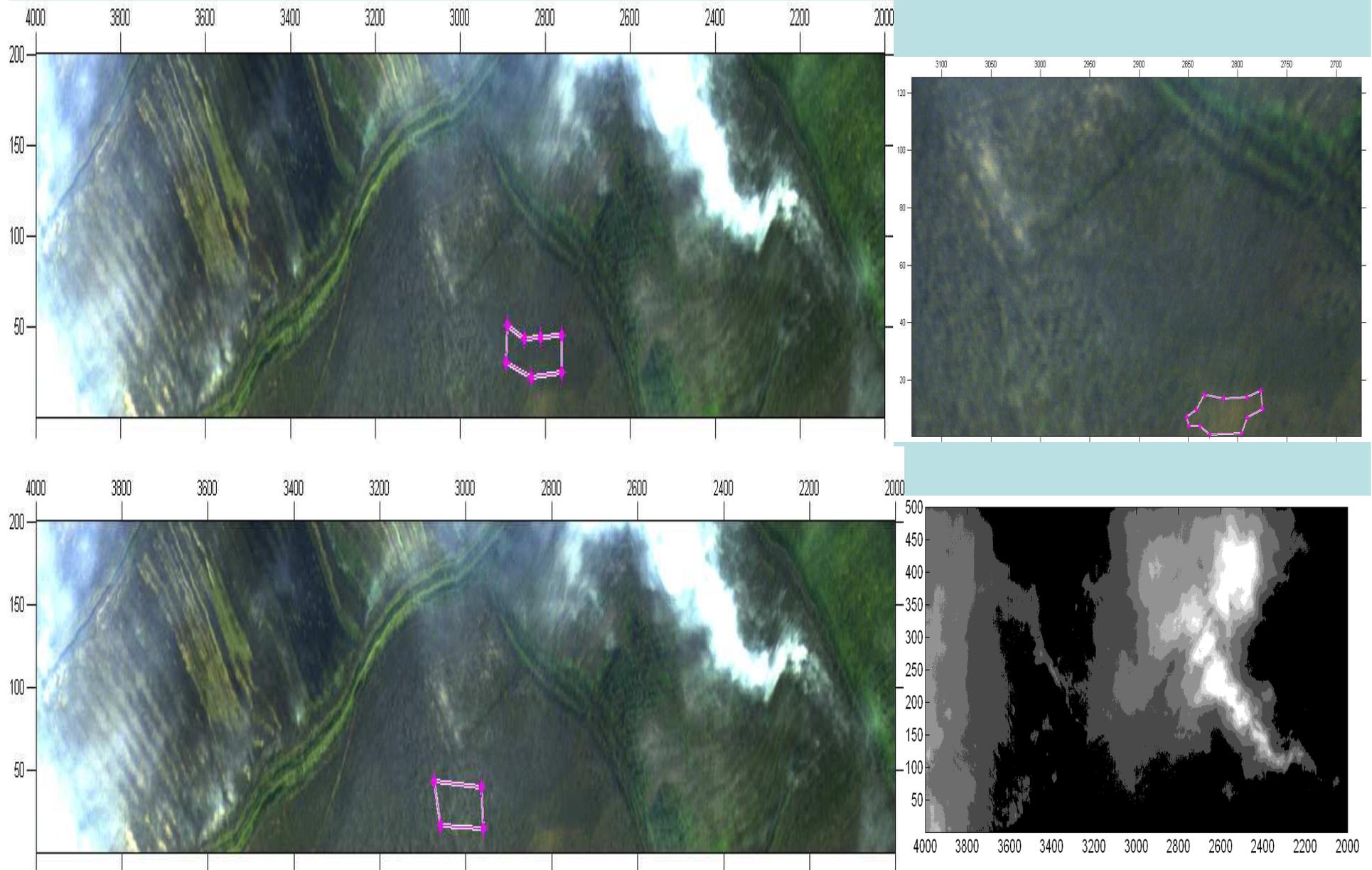
Сравнение средних спектров



Сравнение средних нормализованных спектров

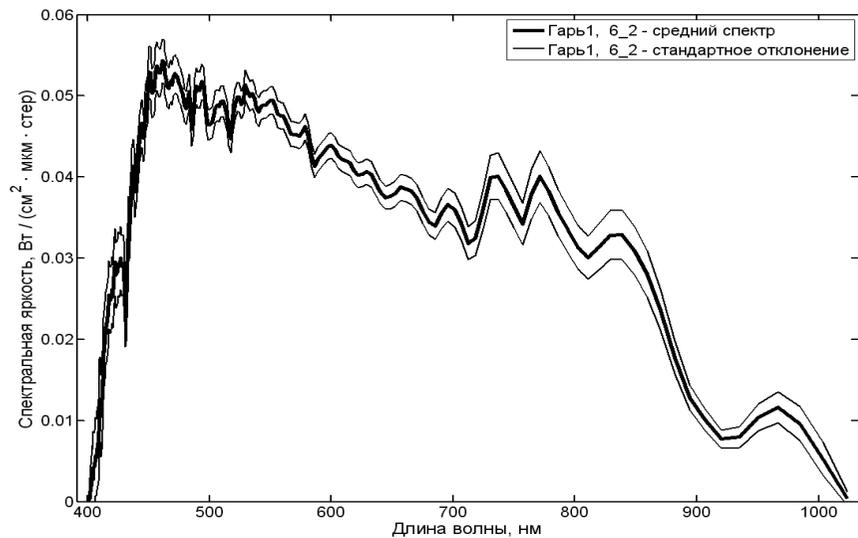


Гарь – типы 1,2,3 (влияние дыма незначимо в представленной выше градации). Число спектров: 1 – 2740, 2 – 2707, 3 - 771

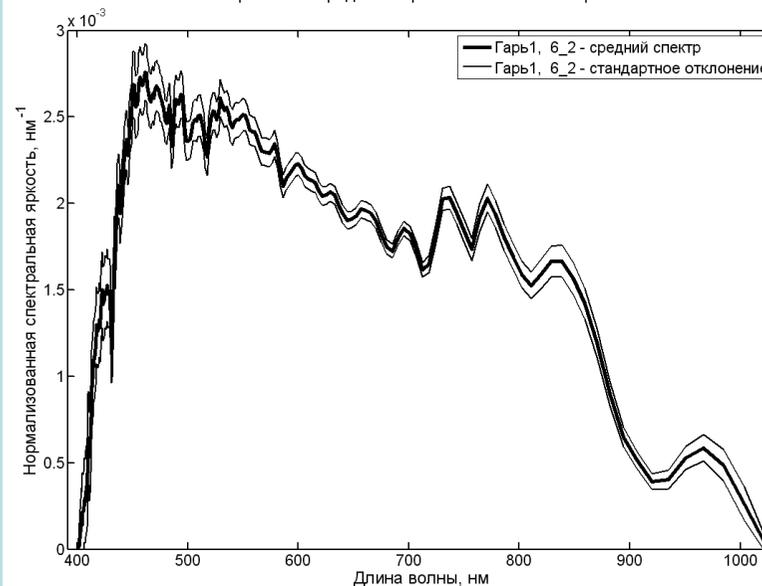


Спектры гарей 1 и 3 (слева исходные, справа нормализованные; среднеквадратические отклонения уменьшаются после нормализации). Гарь 3 – больше видна растительность

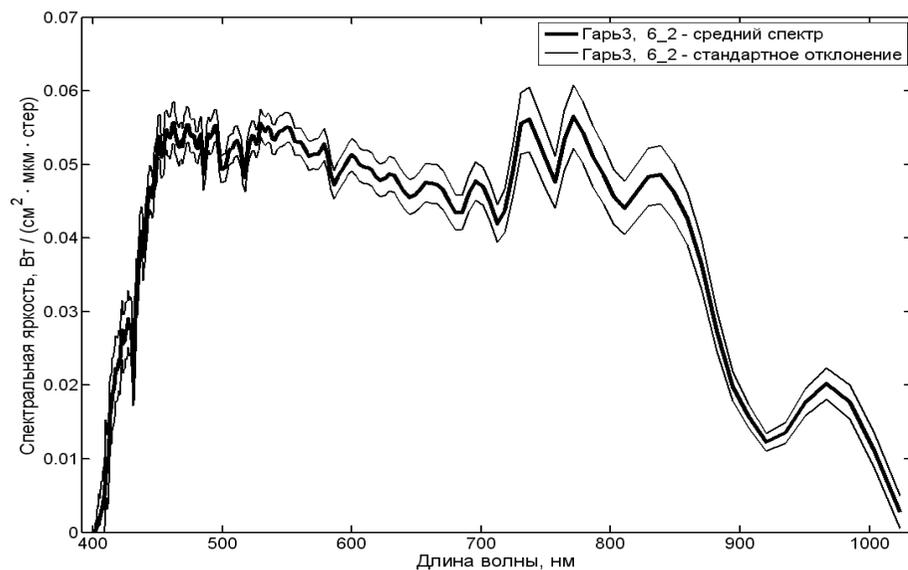
Сравнение средних спектров



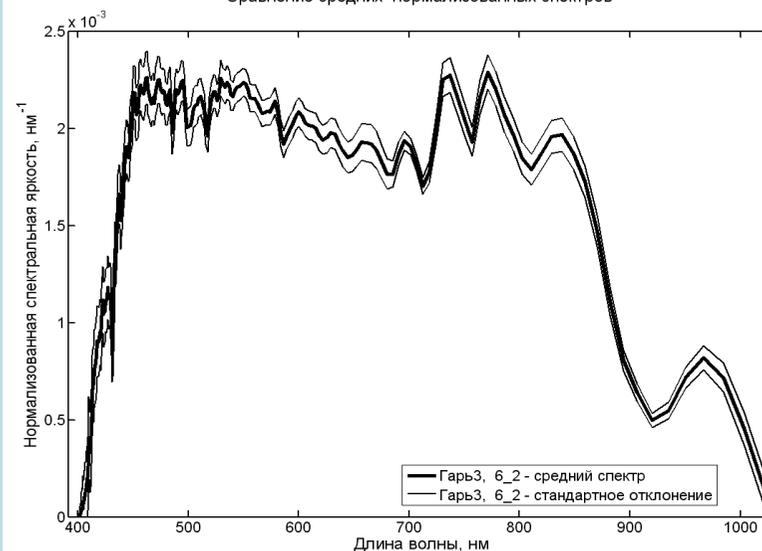
Сравнение средних нормализованных спектров



Сравнение средних спектров



Сравнение средних нормализованных спектров

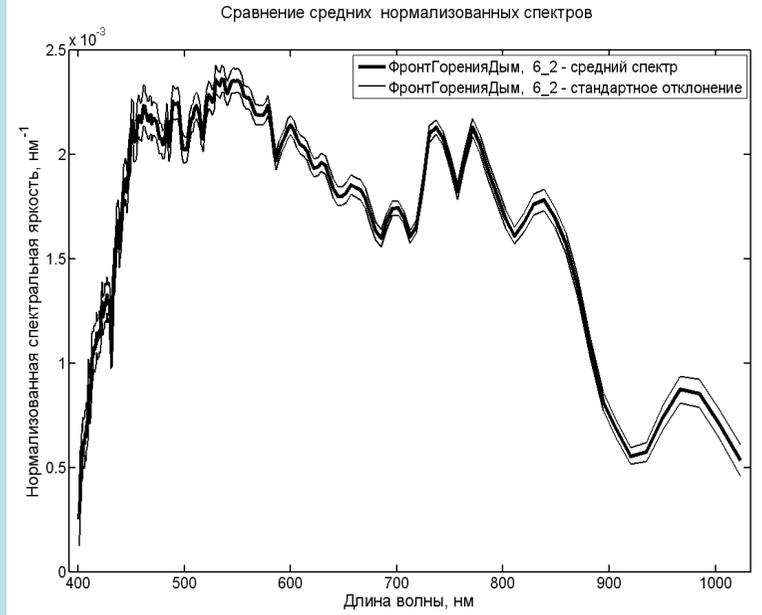
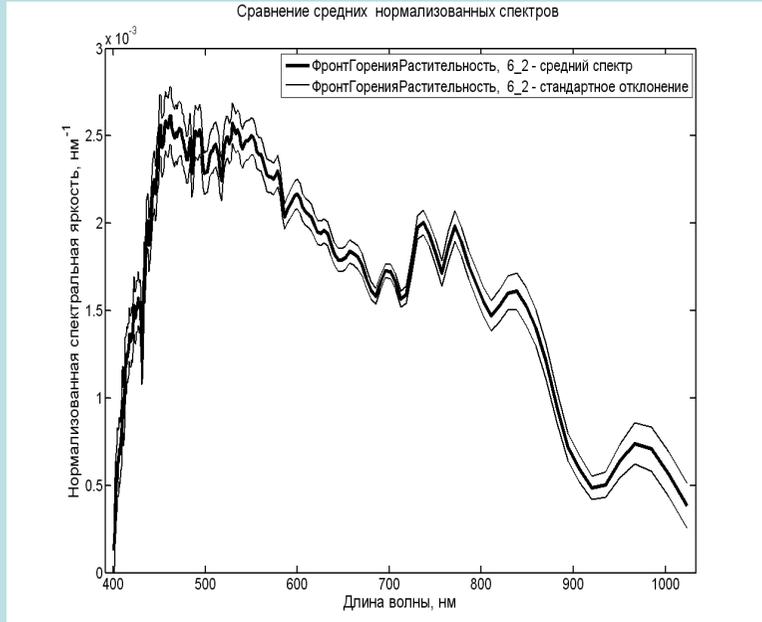
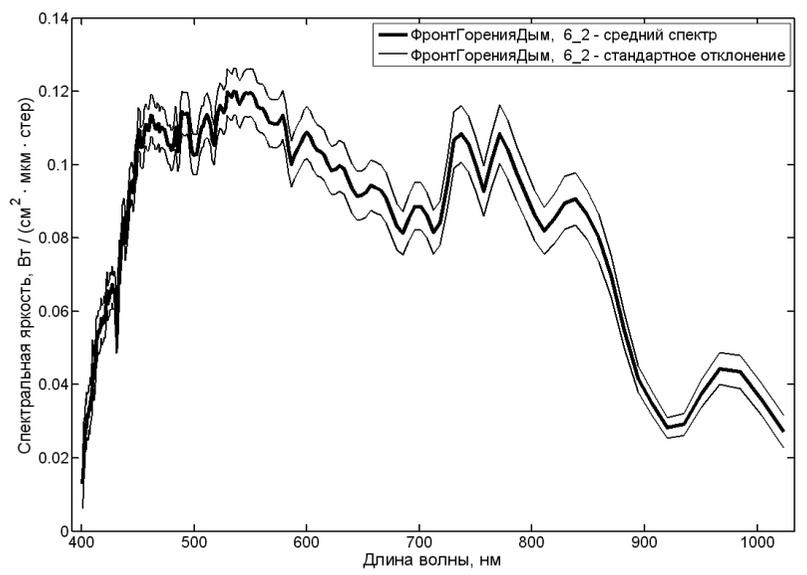
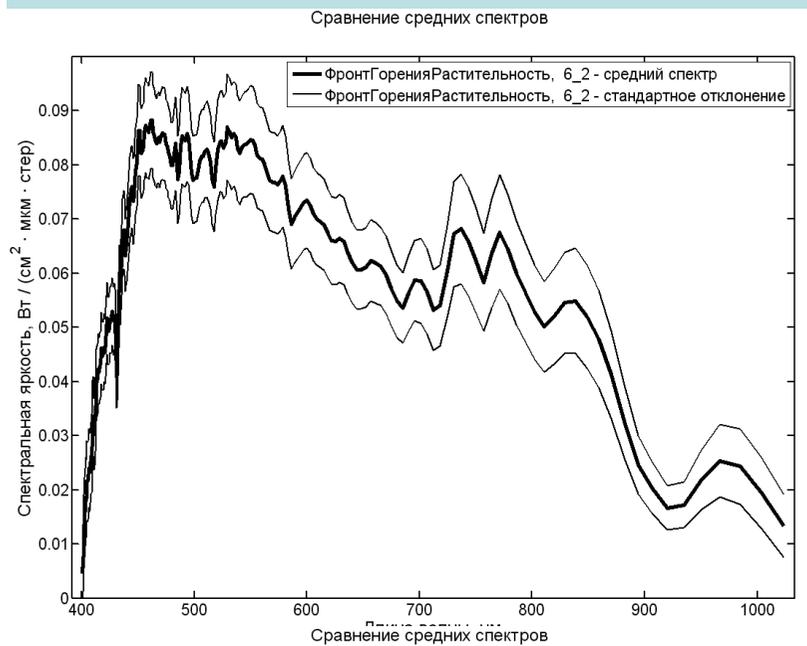


Фронт интенсивного горения. Слева: растительность - 390 спектров; справа - дым - 194 спектра

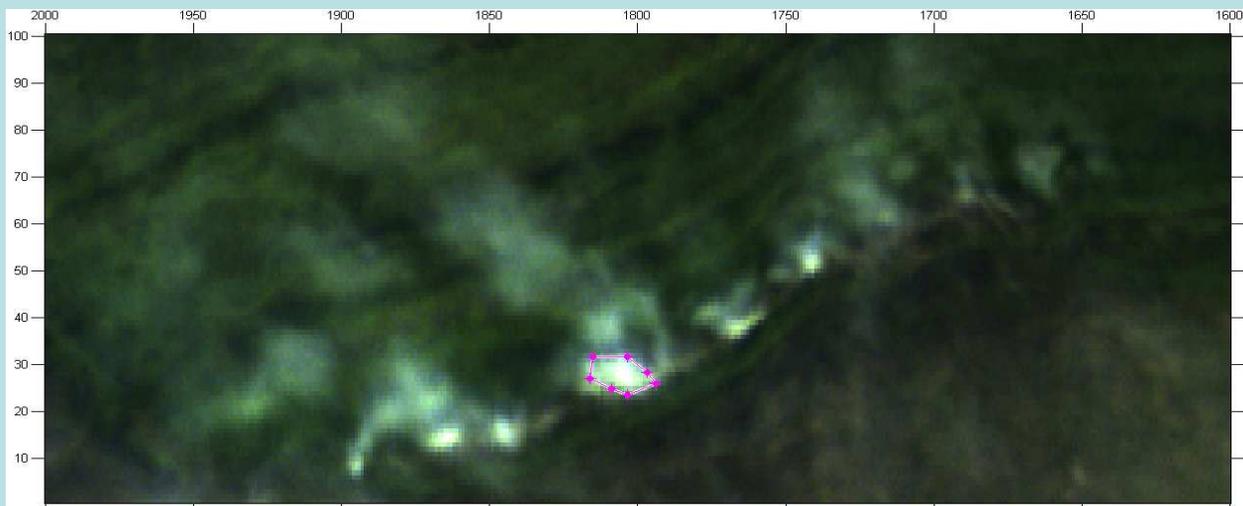


Спектры (слева исходные, справа нормализованные) контуров фронта горения над растительностью и при сплошном дыме. Видно: нормализация приводит к уменьшению изменчивости

спектров

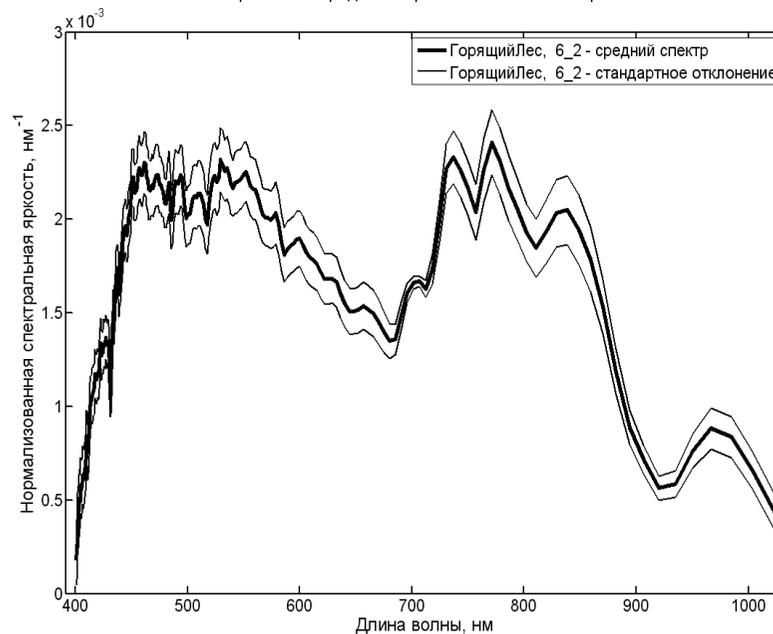
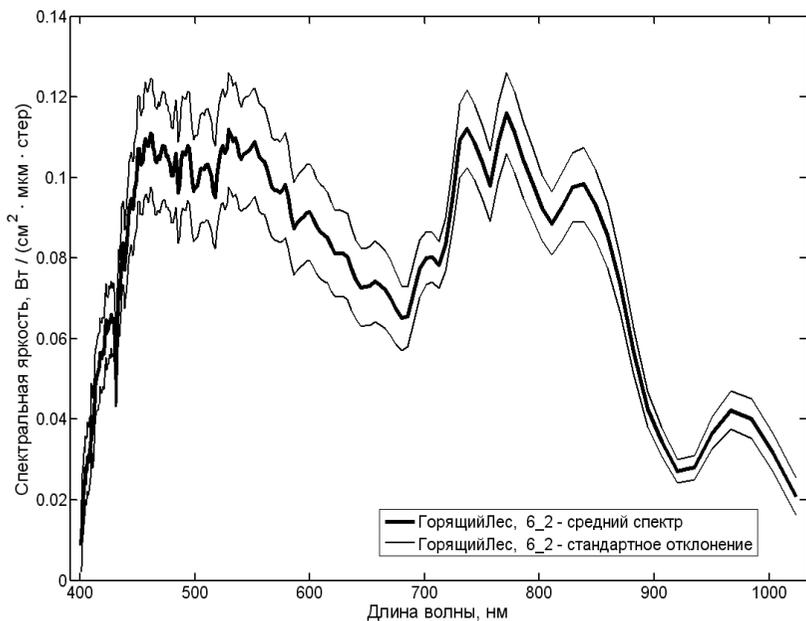


Горящий лес. В пределах контура - 131 спектр (слева исходные, справа - нормализованные). Видно: изменчивость спектров существенно уменьшается после нормализации; по значениям типа NDVI этот объект вполне можно отнести к «нормально вегетирующей растительности»

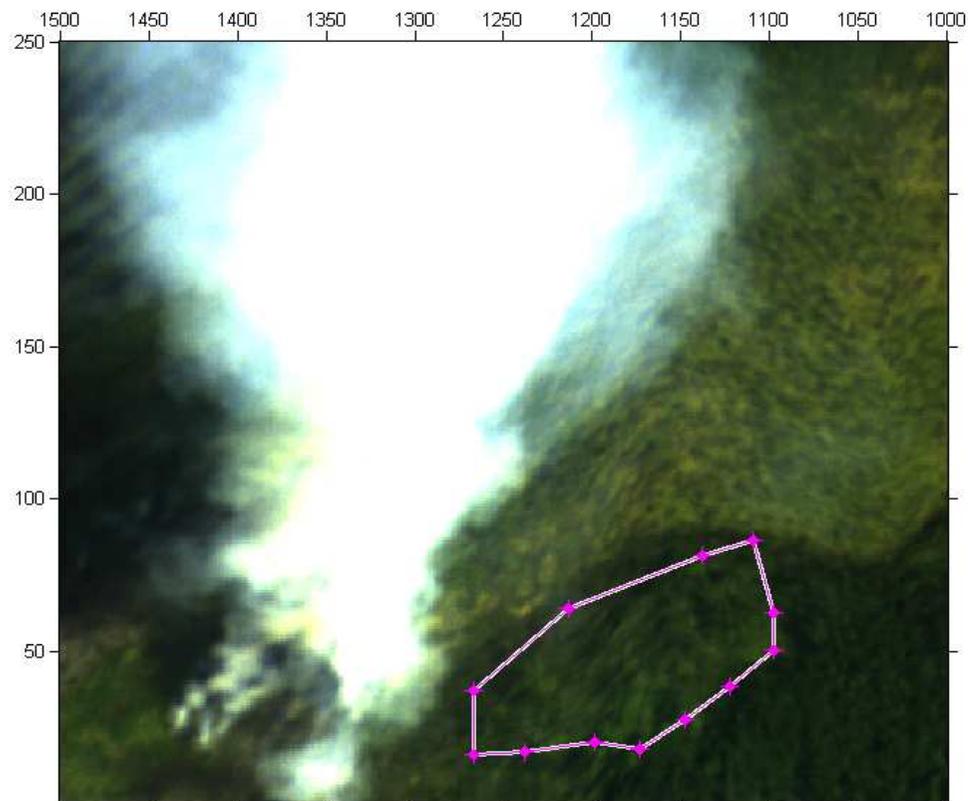


Сравнение средних спектров

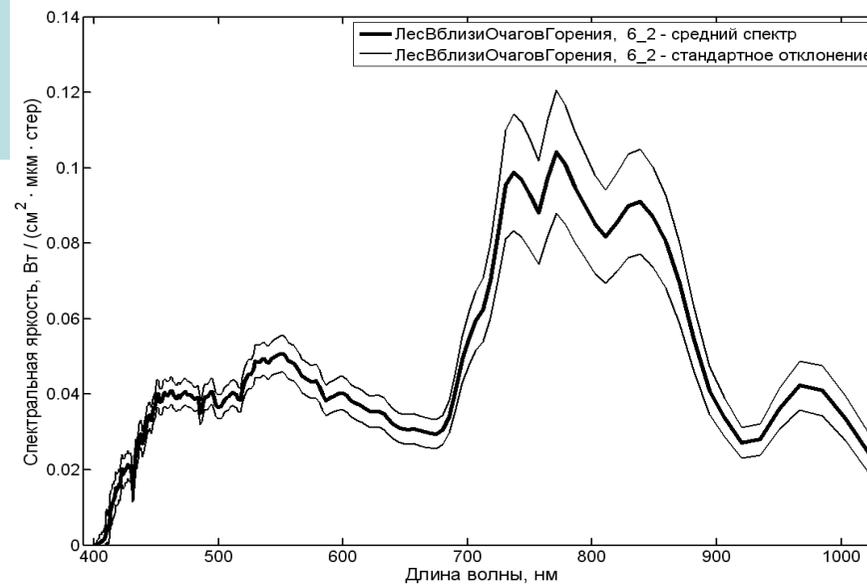
Сравнение средних нормализованных спектров



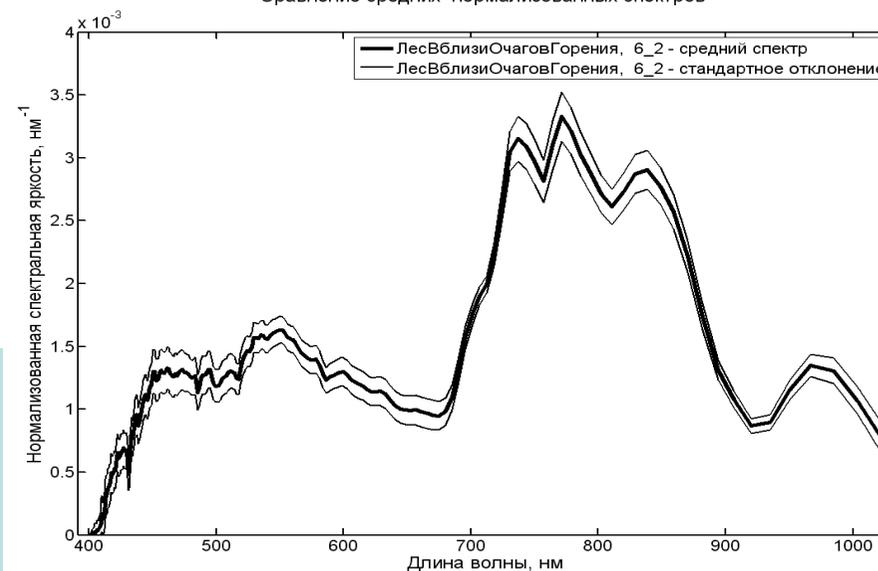
Лес вблизи очага горения: 7237 спектров в пределах контура с явными признаками растительности; изменчивость нормализованных спектров уменьшается



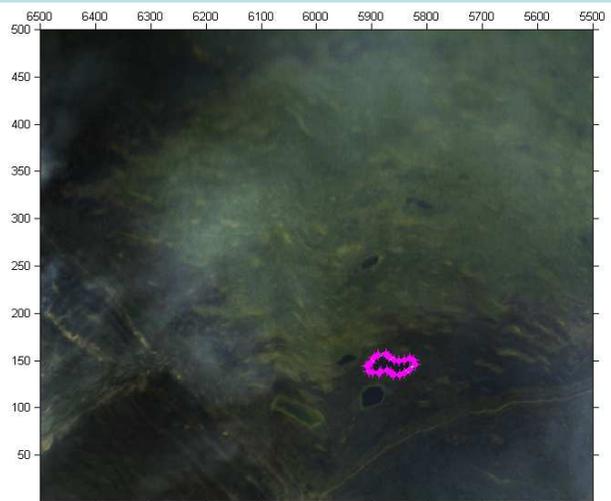
Сравнение средних спектров



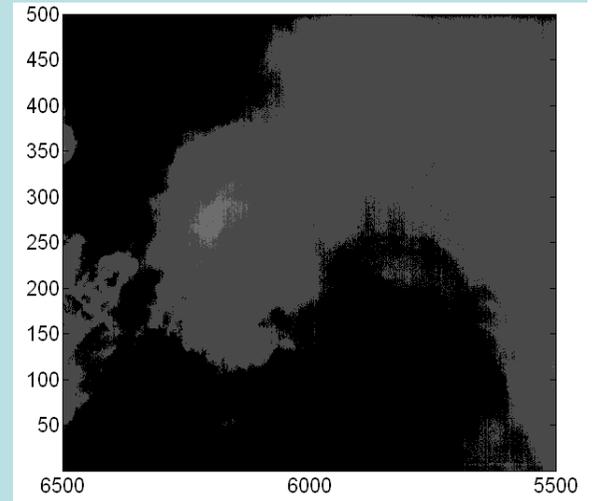
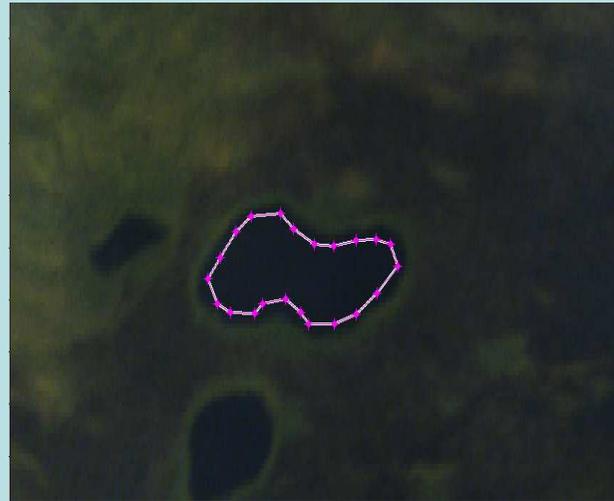
Сравнение средних нормализованных спектров



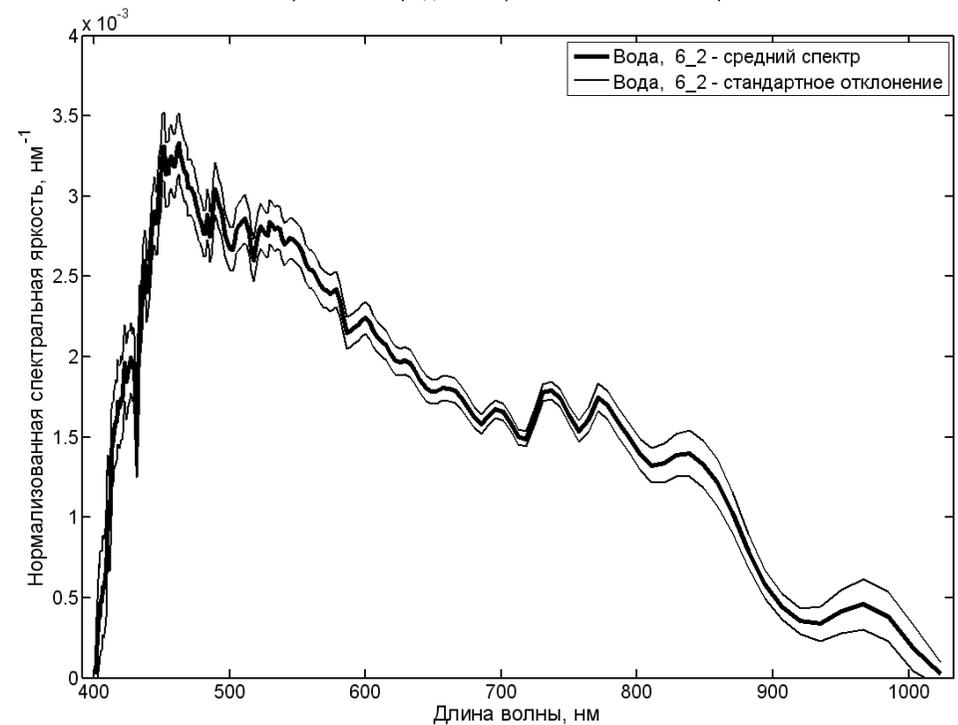
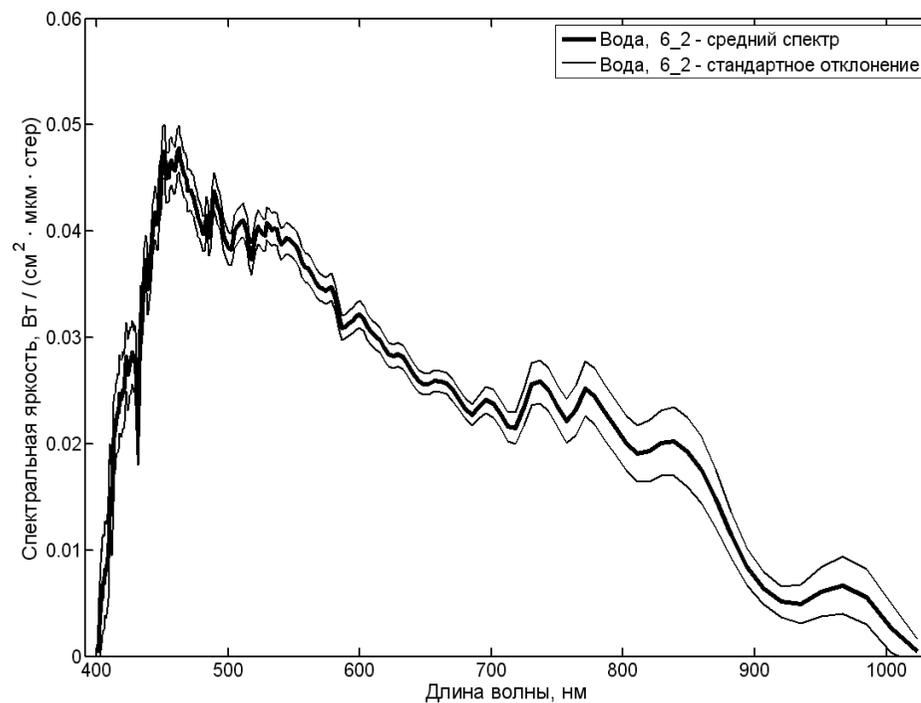
Водная поверхность в районе, где влияние дыма незначительно. В пределах контура: 1224 спектра, после нормализации их изменчивость слабо уменьшается



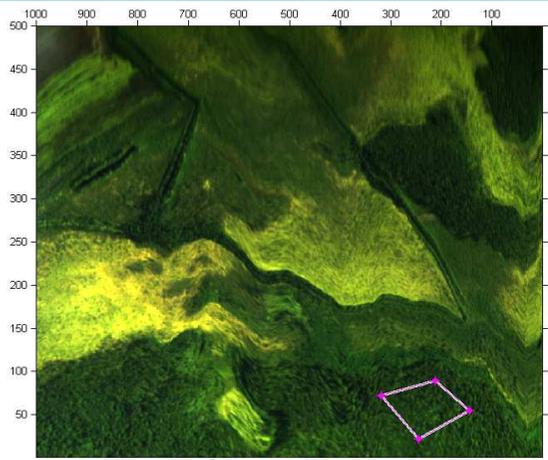
Сравнение средних спектров



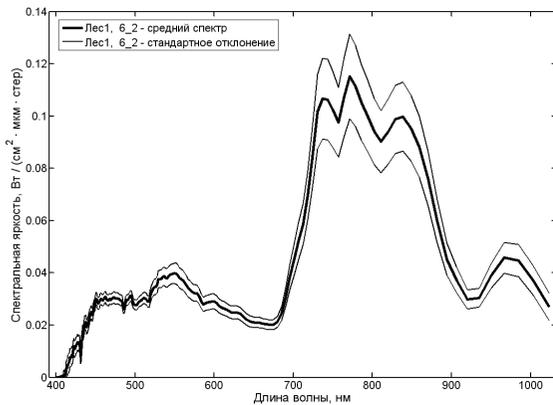
Сравнение средних нормализованных спектров



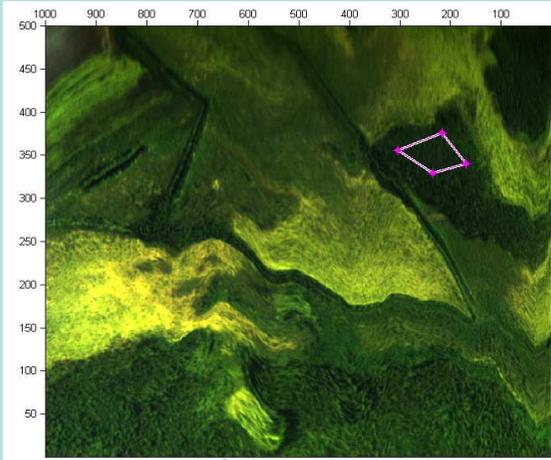
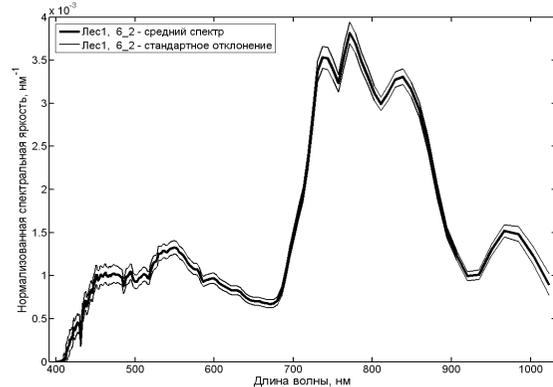
Лесная растительность, незатронутая пожаром (без дыма). Лес1 - 6113 спектров. Лес2 - 3297 спектров. Лес3 - 1674 спектров



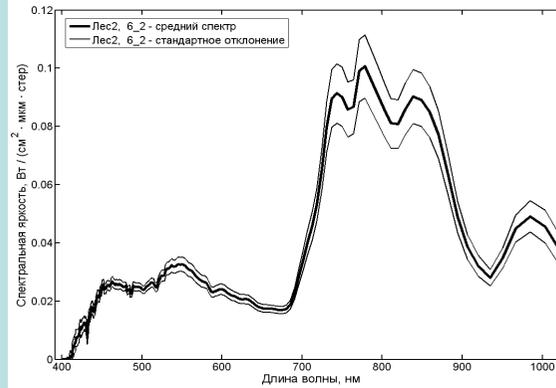
Сравнение средних спектров



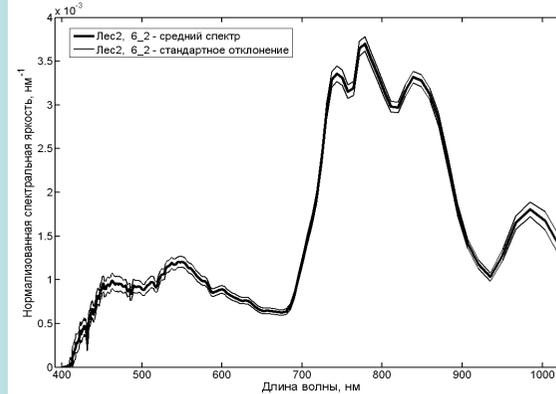
Сравнение средних нормализованных спектров



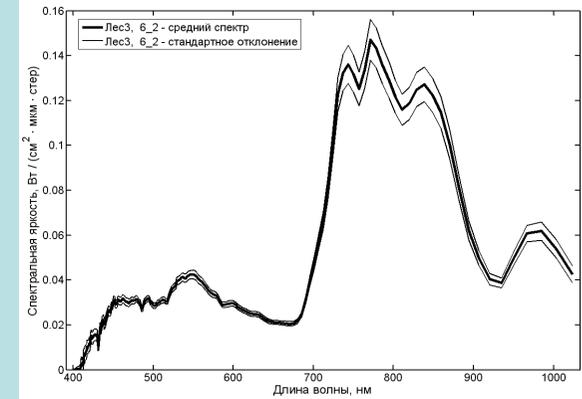
Сравнение средних спектров



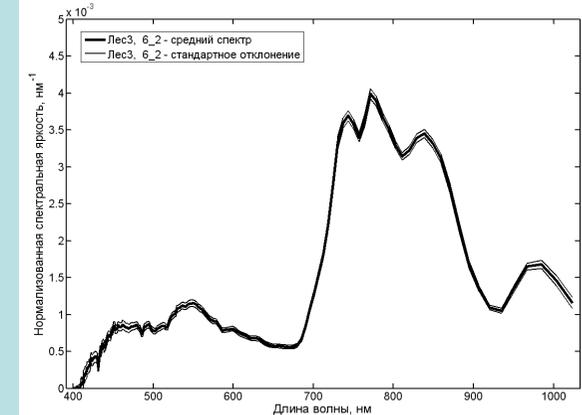
Сравнение средних нормализованных спектров



Сравнение средних спектров

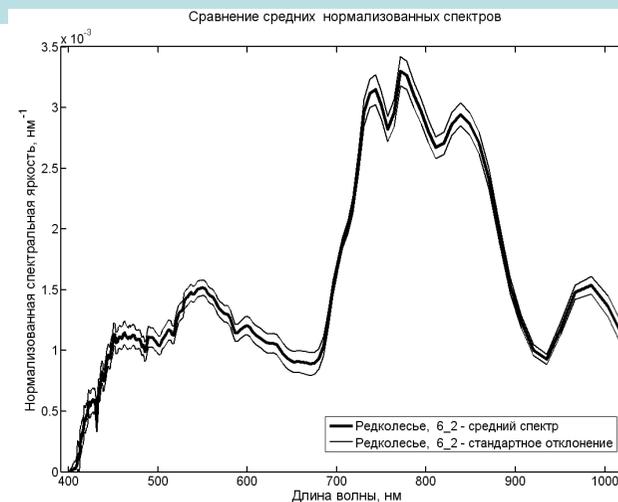
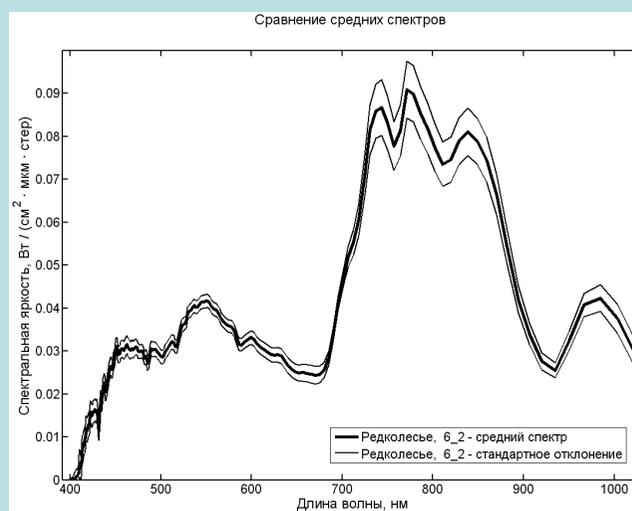
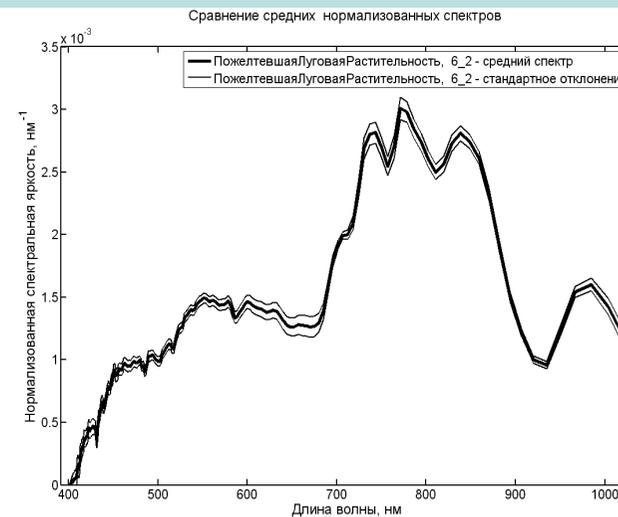
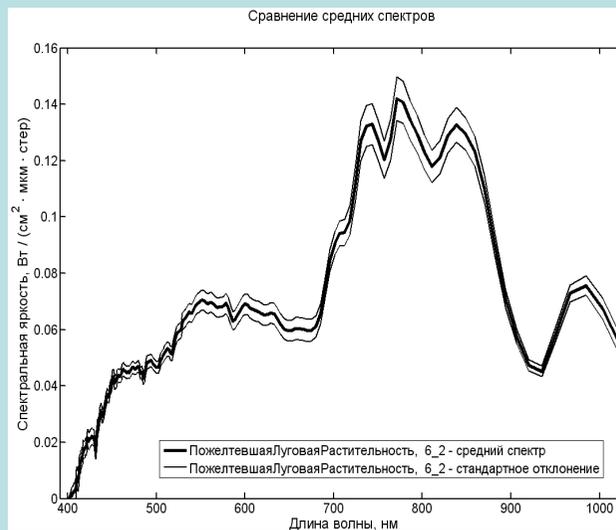
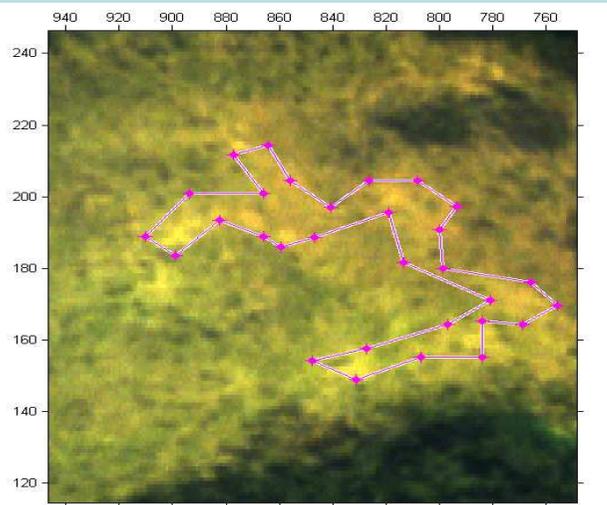


Сравнение средних нормализованных спектров



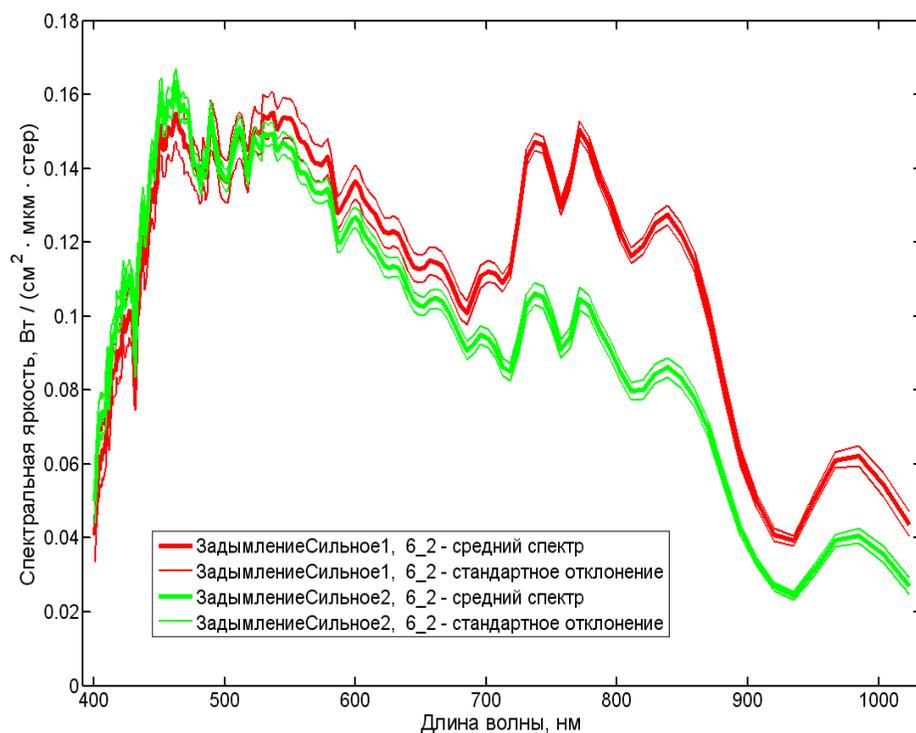
Пожелтевшая луговая растительность: 2421 спектр.

Редколесье: 1894 спектр

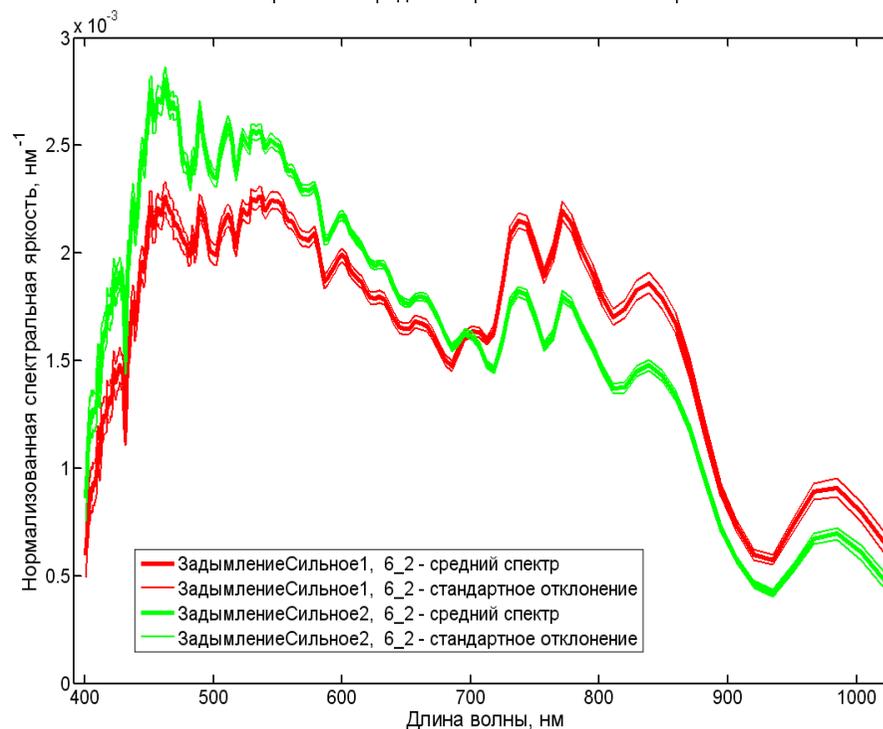


Сравнение средних исходных (слева) и нормализованных (справа) спектров сильного задымления и среднеквадратических отклонений спектров в разных областях изображения (кривые красного и зеленого цвета сильно различаются)

Сравнение средних спектров

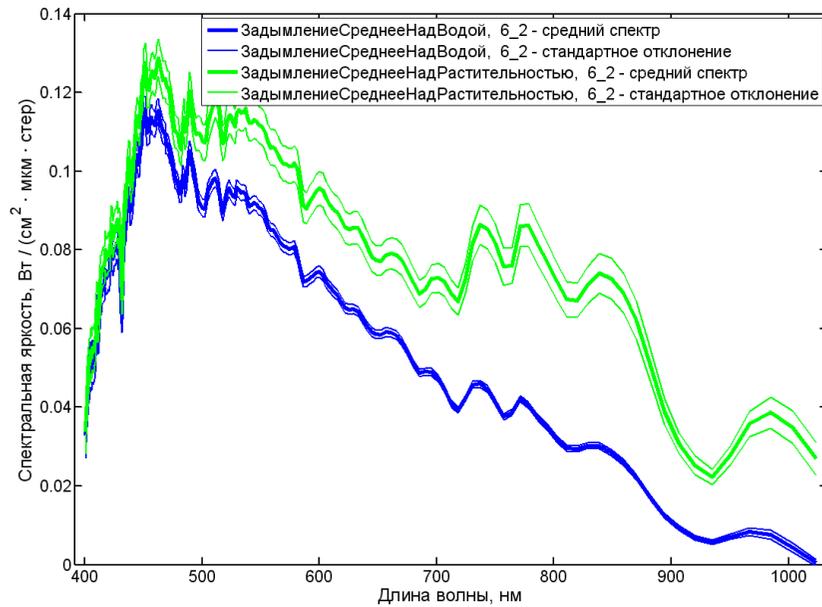


Сравнение средних нормализованных спектров

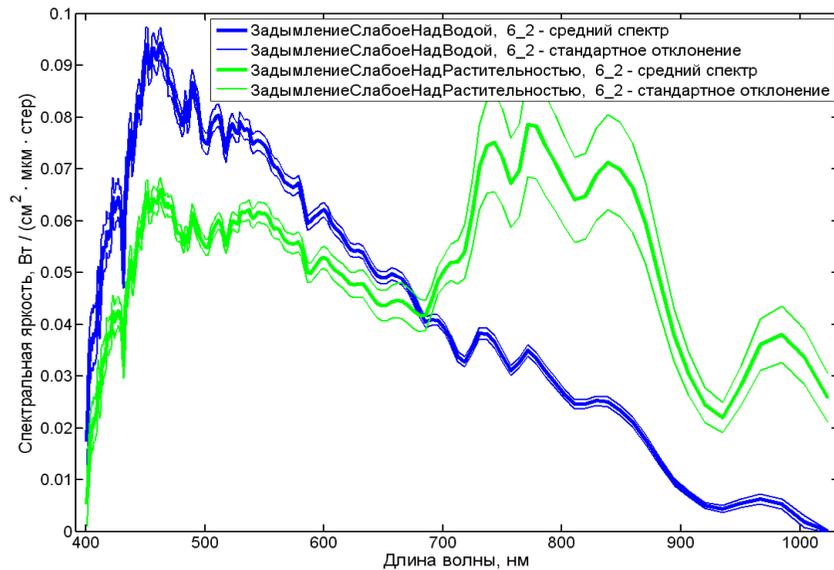


Сравнение средних (слева) и нормализованных (справа) спектров для среднего (вверху) и слабого (внизу) задымления над различными объектами (растительность – зеленый цвет, вода – синий цвет)

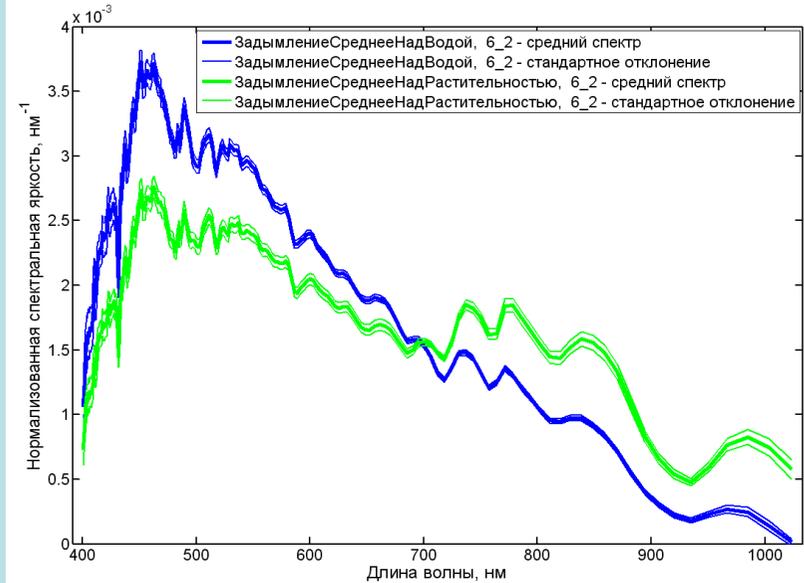
Сравнение средних спектров



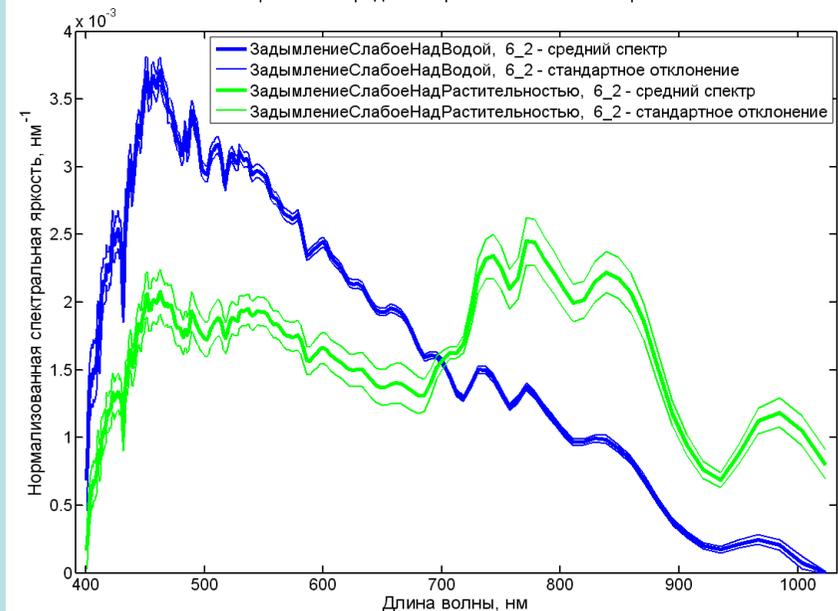
Сравнение средних спектров



Сравнение средних нормализованных спектров

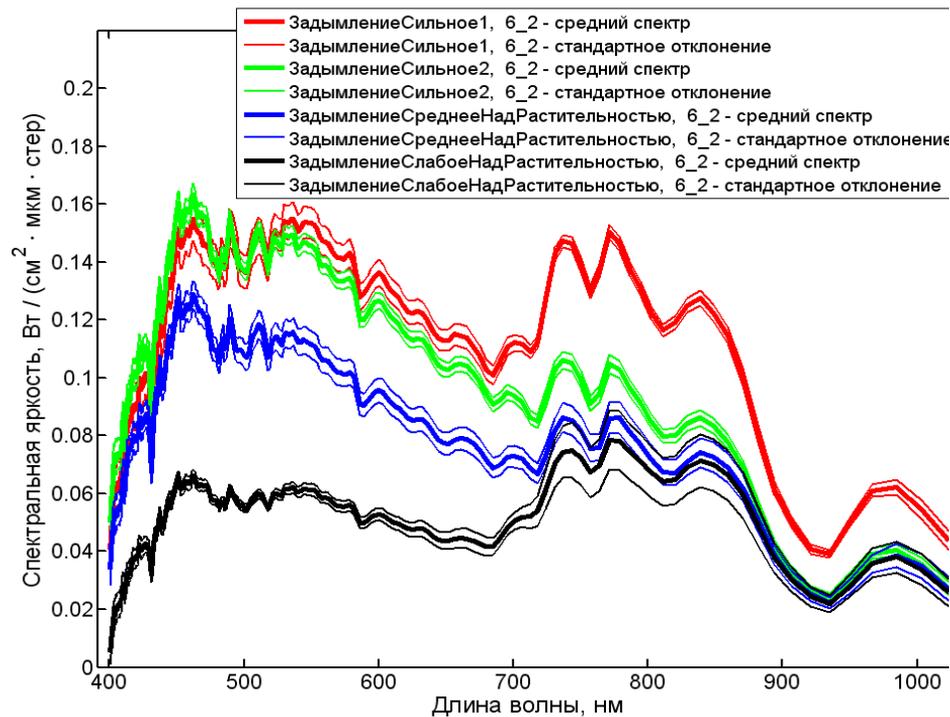


Сравнение средних нормализованных спектров

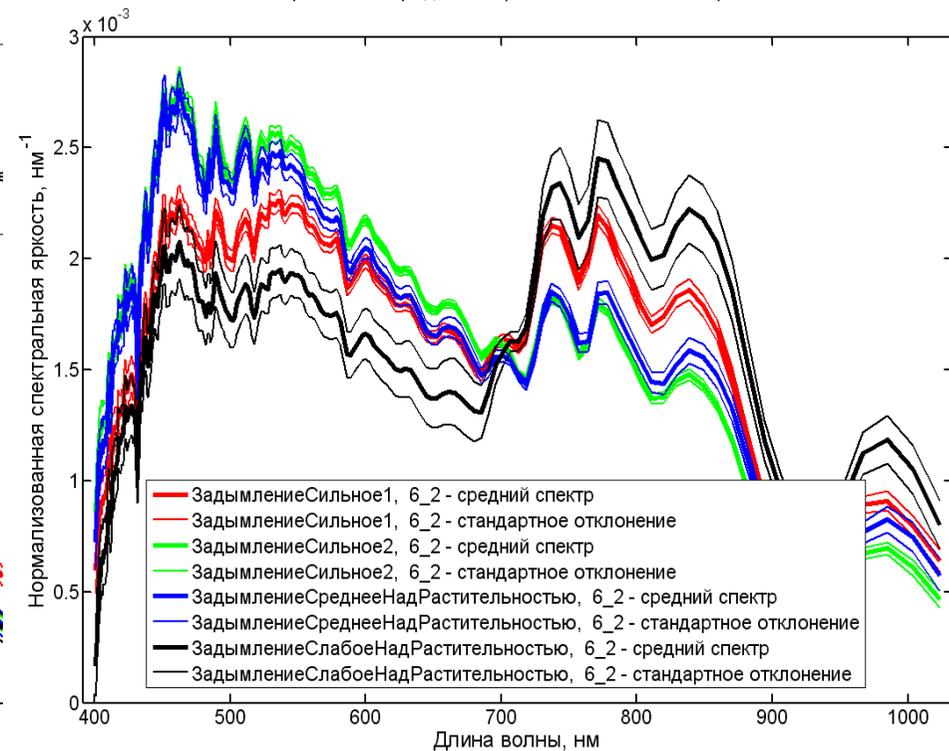


Сравнение средних (слева) и нормализованных (справа) спектров и их среднеквадратических отклонений для районов сильного (красный и зеленый цвета), среднего (синий цвет) и слабого (черный цвет) задымления над растительностью

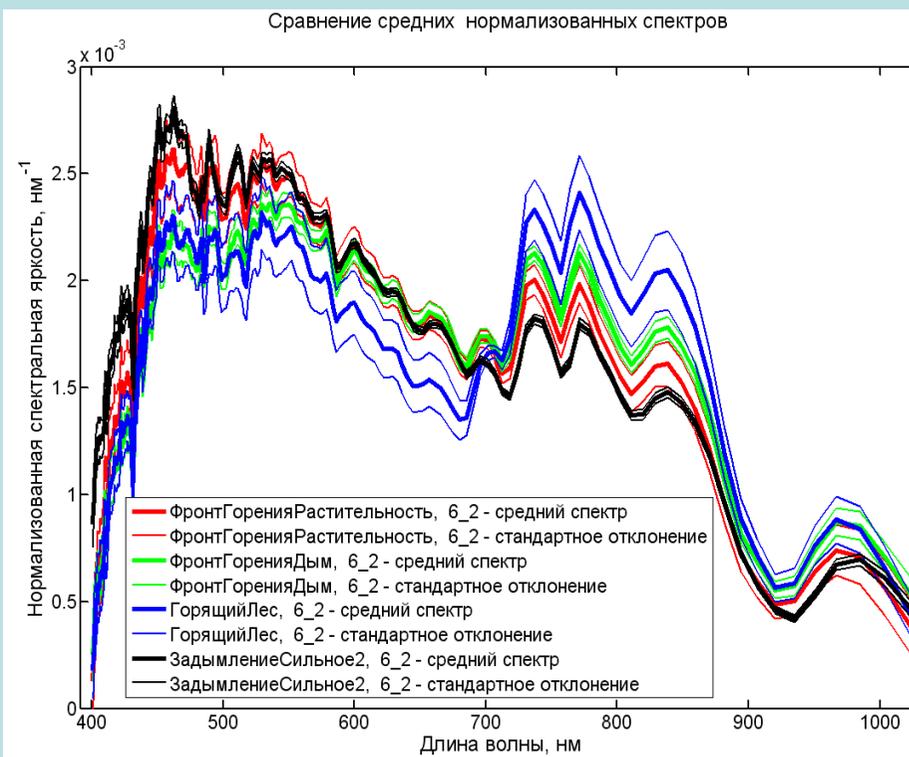
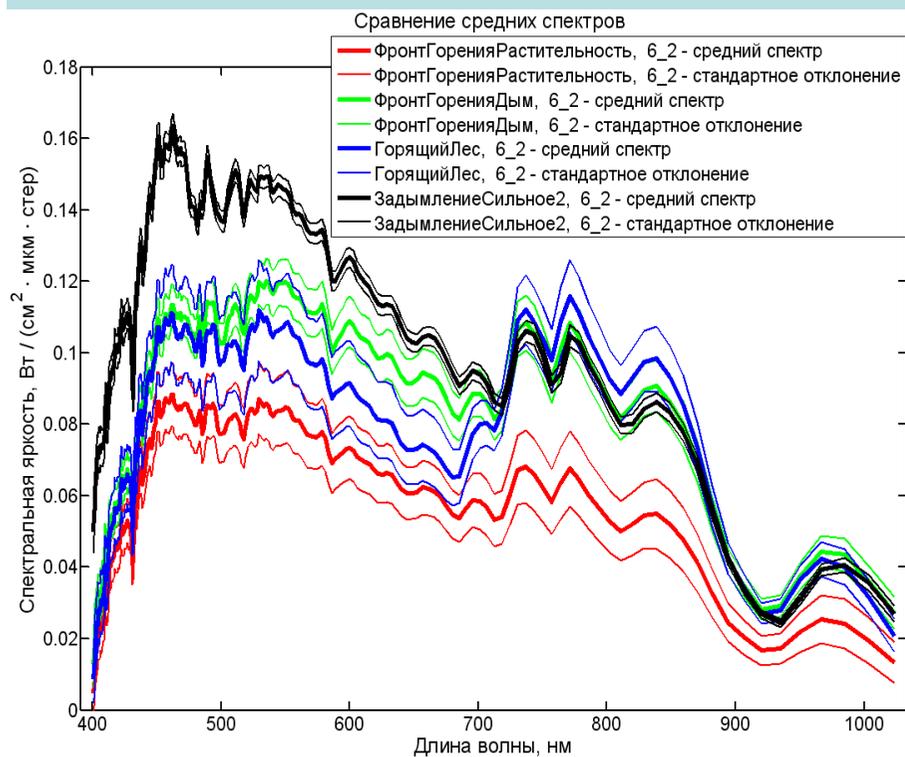
Сравнение средних спектров



Сравнение средних нормализованных спектров

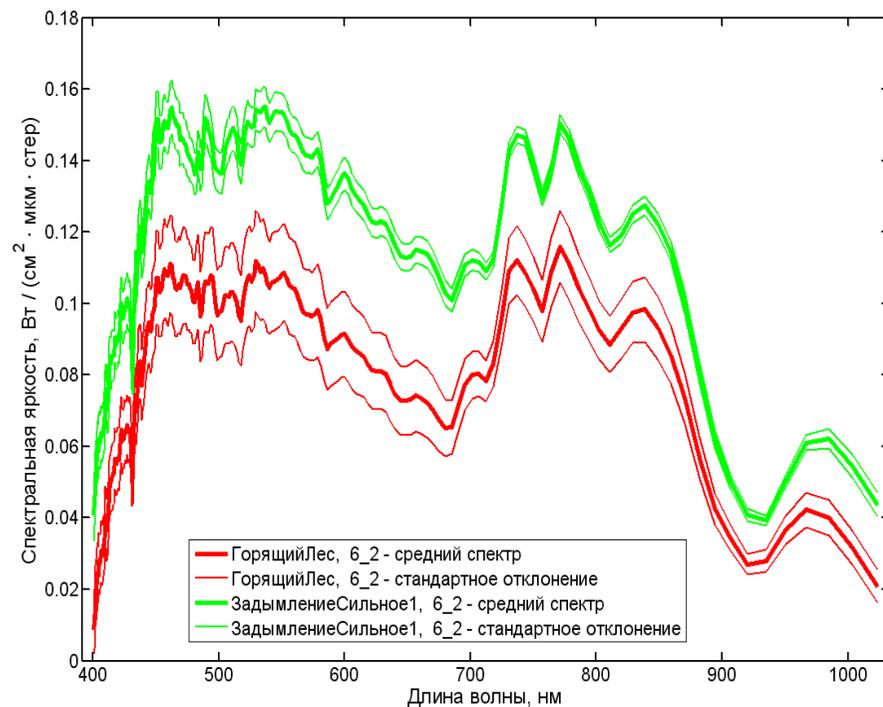


Сравнение спектров зоны горения: красный цвет – фронт горения (растительность); зеленый цвет – фронт горения (дым); синий цвет – горящий лес; черный цвет – сильное задымление.
Исходные спектры синего, зеленого и черного цветов близки между собой в области 750-800 нм – под шлейфом сильного дыма находится зона горения

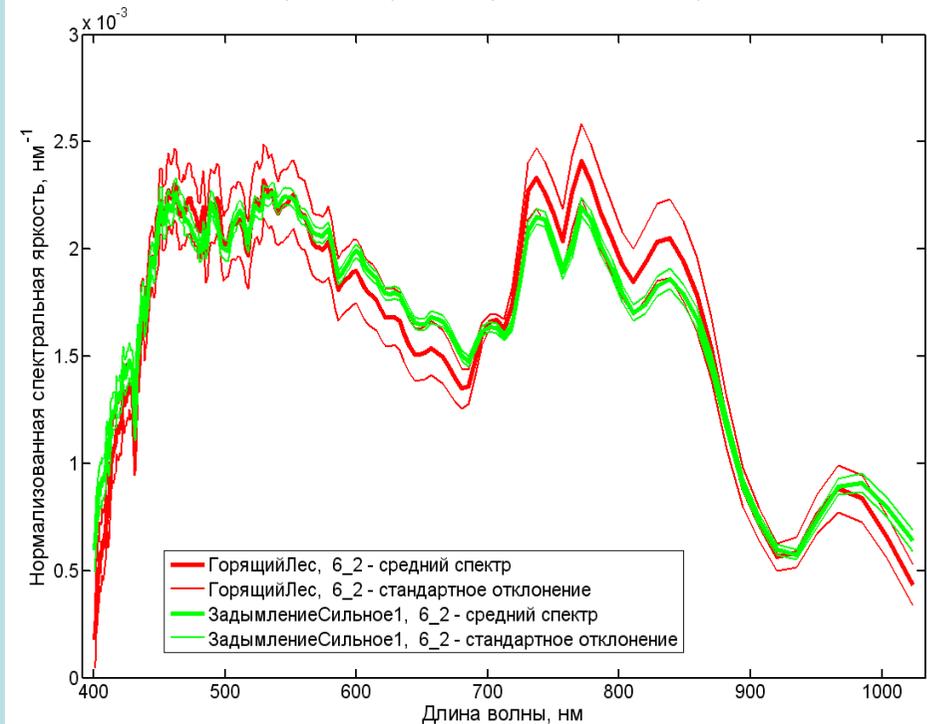


Сравнение спектров горящего леса (красный цвет) и сильного задымления (зеленый цвет). Спектры совпадают по форме, но отражение от дымового шлейфа просто более яркое. Вывод: под шлейфом дыма, по-видимому, находится зона интенсивного горения

Сравнение средних спектров

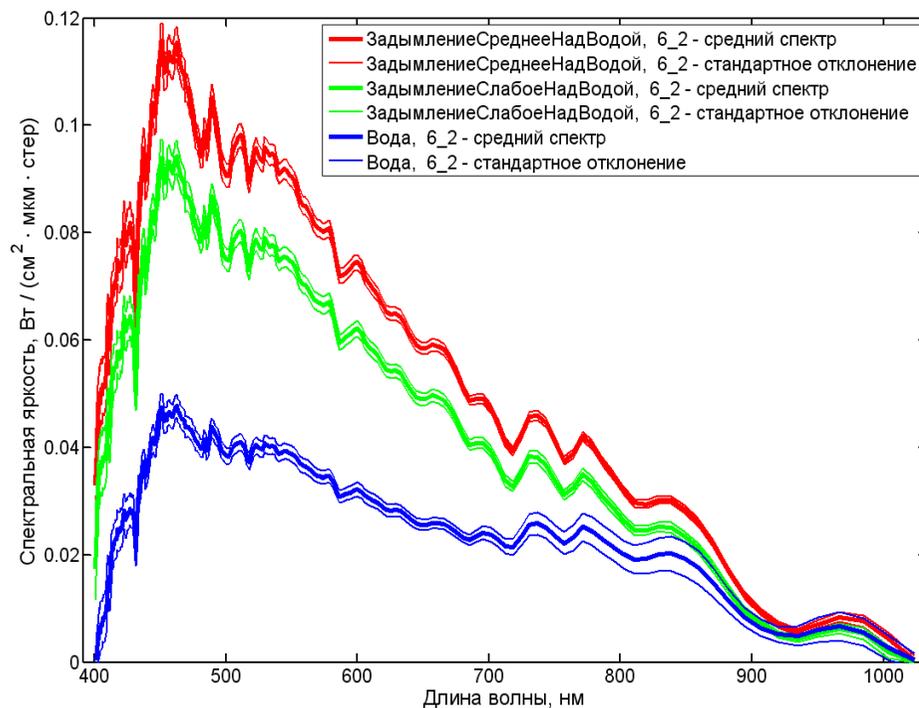


Сравнение средних нормализованных спектров

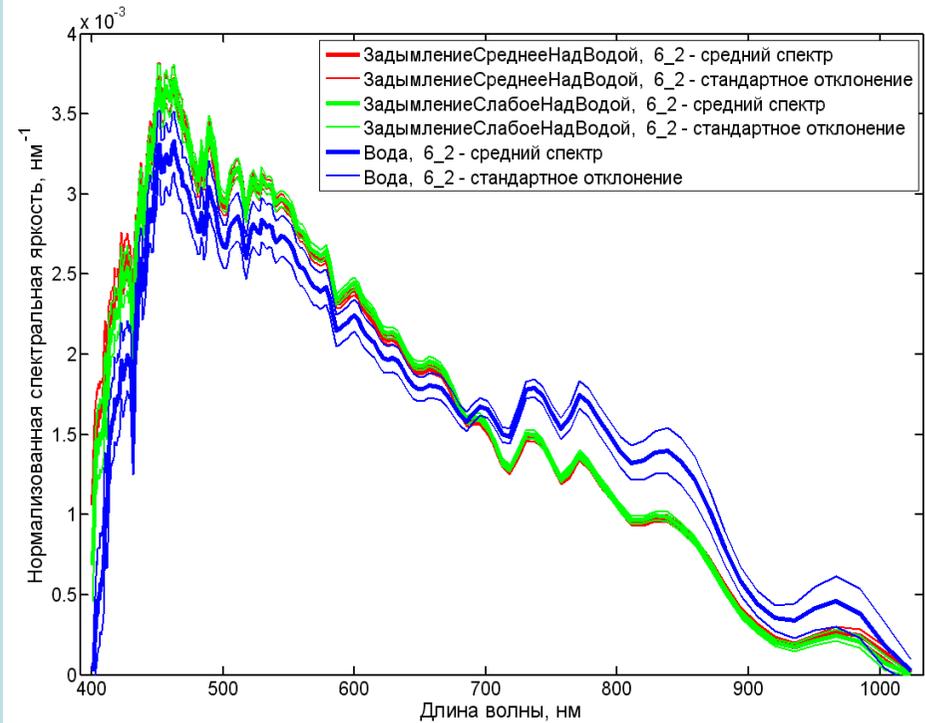


Сравнение спектров водной поверхности при различной степени задымления: красный цвет – задымление среднее, зеленый цвет – задымление слабое, синий цвет вода при отсутствие дыма. Видно: спектры дыма и воды похожи по форме, но эти объекты можно распознать по градациям яркости в коротковолновой области спектра

Сравнение средних спектров

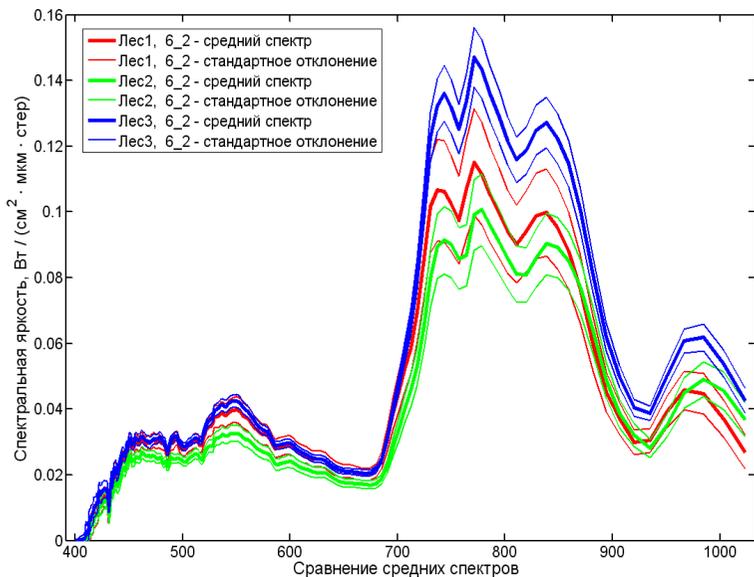


Сравнение средних нормализованных спектров

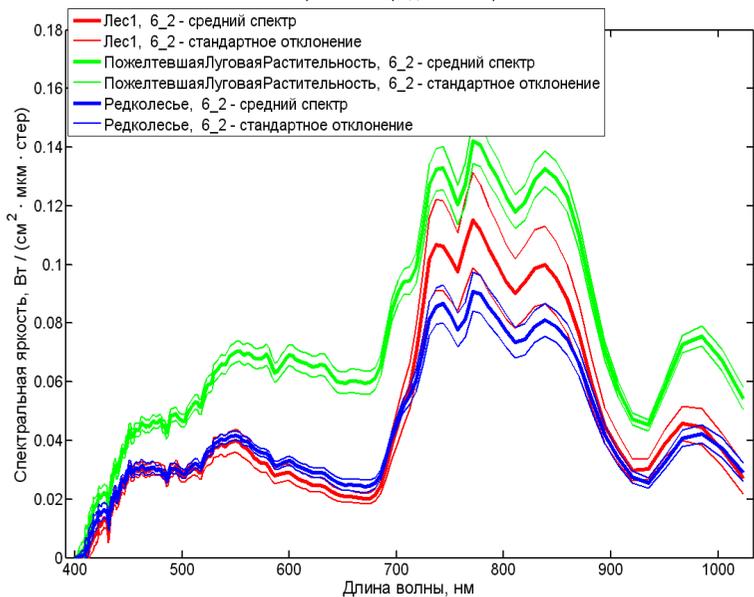
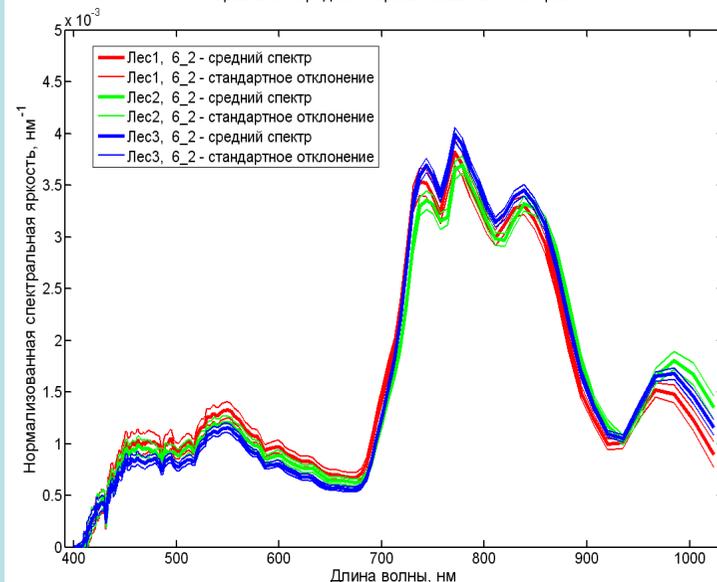


Сравнение спектров (слева – исходных, справа - нормализованных) различных типов леса – вверху, луговой и пожелтевшей растительности, редколесья - внизу

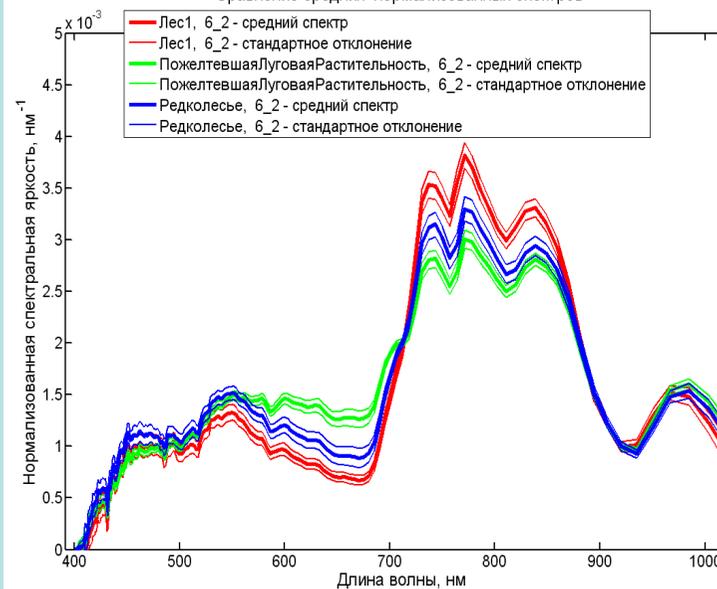
Сравнение средних спектров



Сравнение средних нормализованных спектров



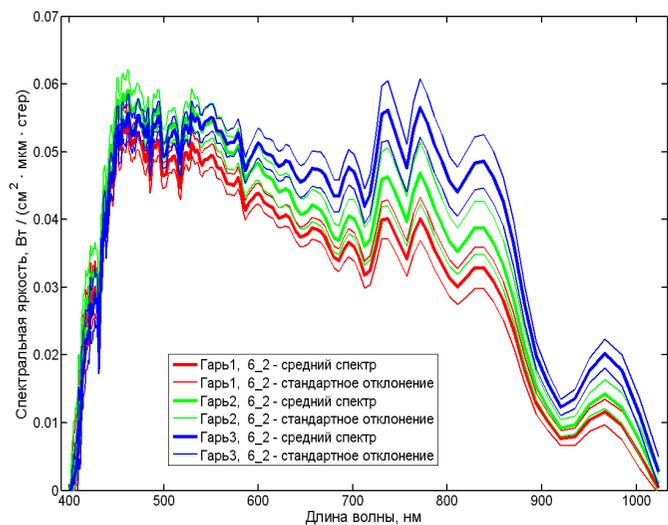
Сравнение средних нормализованных спектров



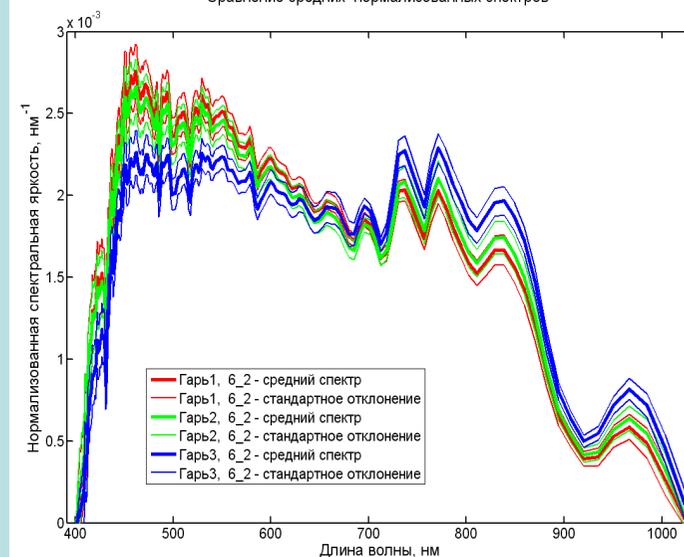
Сравнение спектров (слева – исходных, справа - нормализованных) различных видов гари и различных видов лесной растительности, подвергшейся воздействию

пожаров

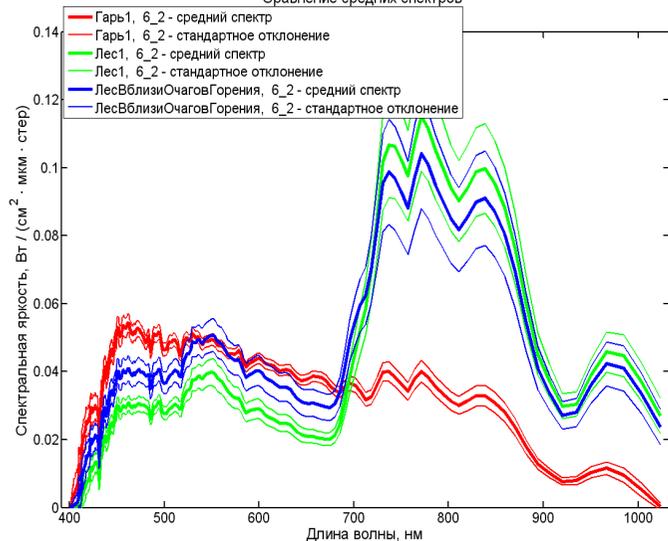
Сравнение средних спектров



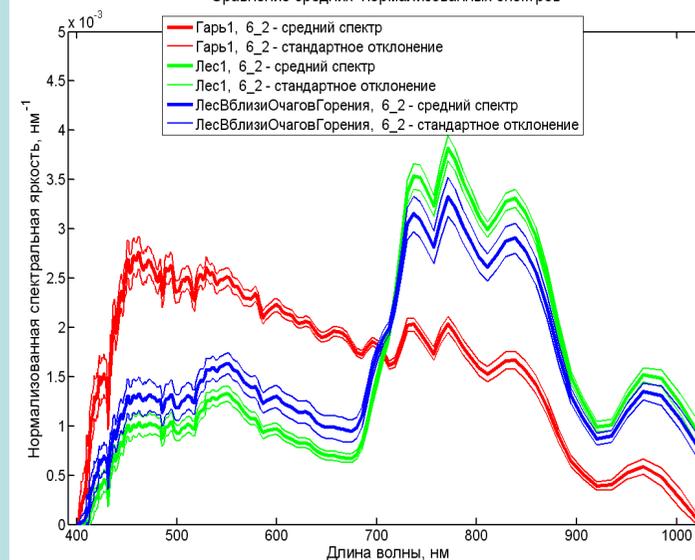
Сравнение средних нормализованных спектров



Сравнение средних спектров



Сравнение средних нормализованных спектров



Выводы

- **Отличительное свойство дымов, обнаруженное по данным аэрогиперспектрального зондирования - существование характерного максимума в коротковолновой области 400-500 нм, который уменьшается по мере уменьшения плотности дыма.**
- **В области 750-800 нм для дымов появляется другой максимум, который существенно возрастает (становится близким по амплитуде к максимуму в коротковолновой области) для горящего леса, характеризует наличие возможного очага горения при сильном задымлении и связан с высокой температурой этого источника.**
- **Изменчивость нормализованных спектров может служить мерой горизонтальной неоднородности подстилающей поверхности: например, эта изменчивость значительно уменьшается для дымов над однородной водной поверхностью в сравнении с неоднородной растительностью.**