

# **ПРЕДИКТОРЫ ПОВРЕЖДЕНИЯ НАСЕКОМЫМИ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ**

**<sup>1</sup>Ковалев А.В., <sup>1,2</sup>Суховольский В.Г.**

<sup>1</sup>ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск

<sup>2</sup>Институт леса им.В.Н.Сукачева СО РАН, Красноярск



Мониторинг состояния насаждений и развития вспышек массового размножения сибирского шелкопряда в таежных лесах Сибири крайне затруднен в связи с гигантскими территориями лесов.

В связи с этим возникает задача выявления территорий, на которых потенциально возможно развитие вспышек массового размножения вредителя. Мониторинг таких неустойчивых к атакам сибирского шелкопряда лесов можно вести только с помощью дистанционных методов.





# Задача

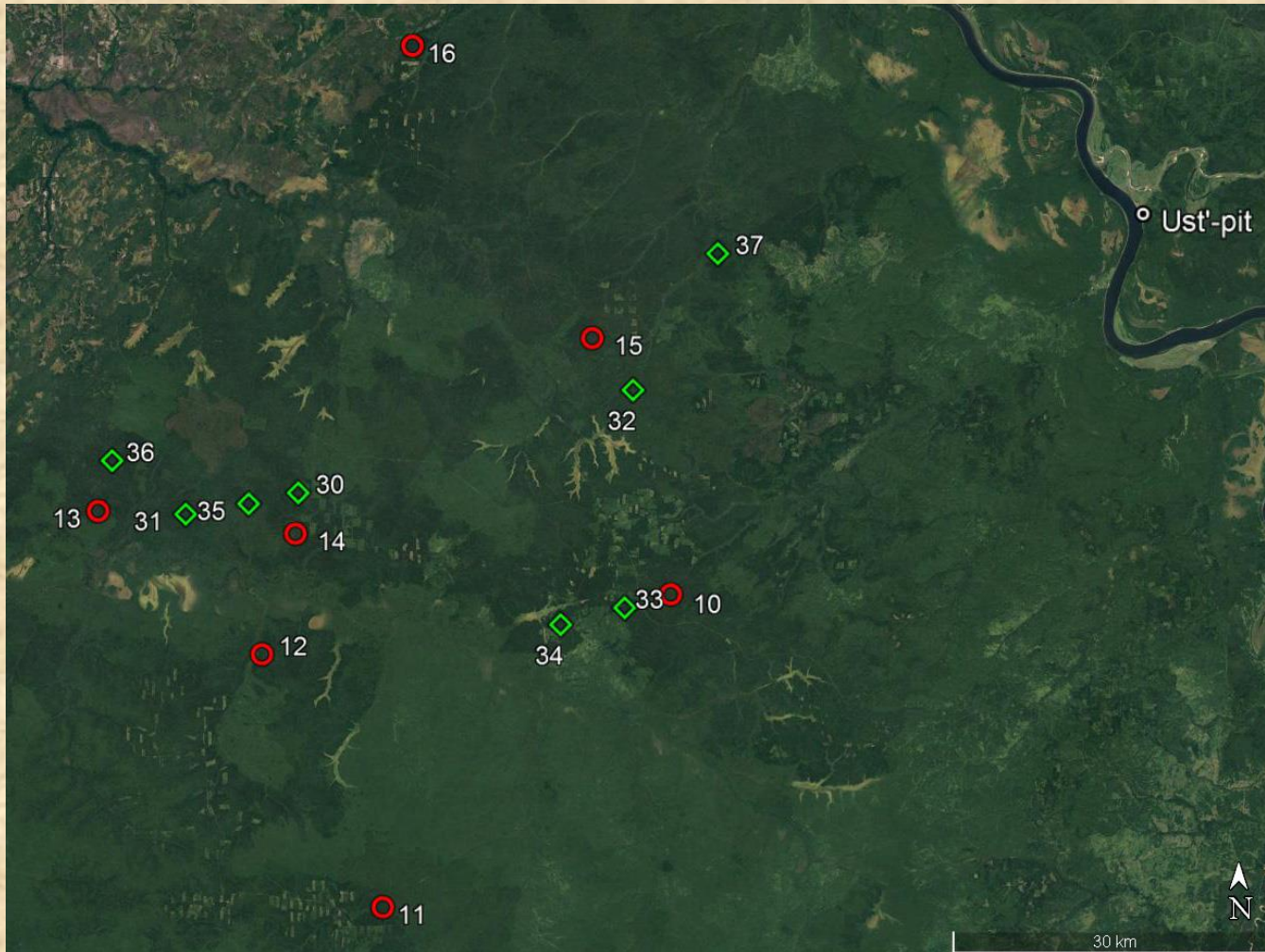
- Разработка ранних признаков появления лесных территории, потенциально неустойчивых к нападению насекомых-вредителей по данным дистанционного зондирования земли.

В частности, для мониторинга можно использовать данные со спутника NASA AQUA/TERRA с оборудованием MODIS – восьмидневные композиты NDVI и радиационной оценки температуры LST.

NDVI – нормализованный вегетативный индекс, отражающий количество и состояние растительного покрова на изучаемой площади.

В течение сезона рассматриваются временные ряды NDVI(t) и LST(t) длиной 46 членов.

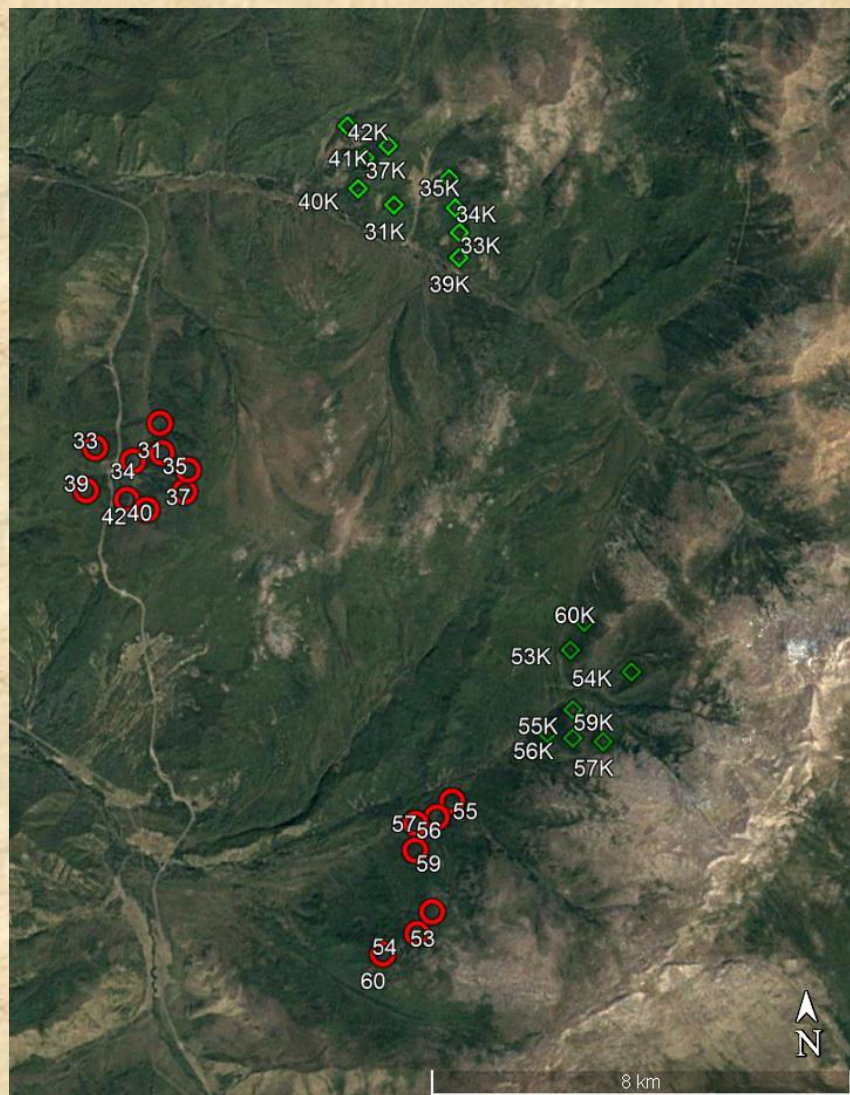
# Пробные площади вблизи очага массового размножения сибирского шелкопряда (бассейн Енисея вблизи п.Усть-Пит) 2016-2017гг.



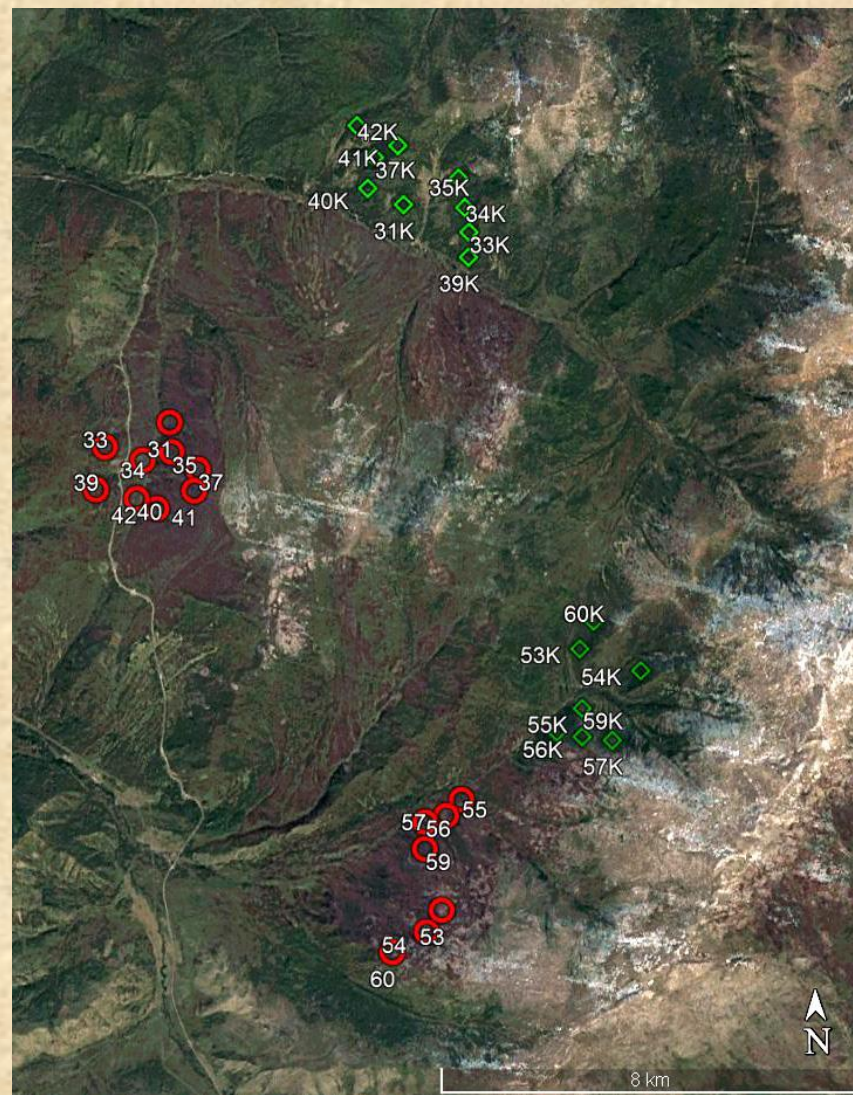
Красные точки – насаждения, поврежденные вредителем, синие точки – неповрежденные насаждения (по данным Красноярского Центра защиты леса)



Пробные площади в Ермаковском районе на юге Красноярского края, поврежденные в 2013 году черным пихтовым усачем *Monochamus urussovi* Fischer .

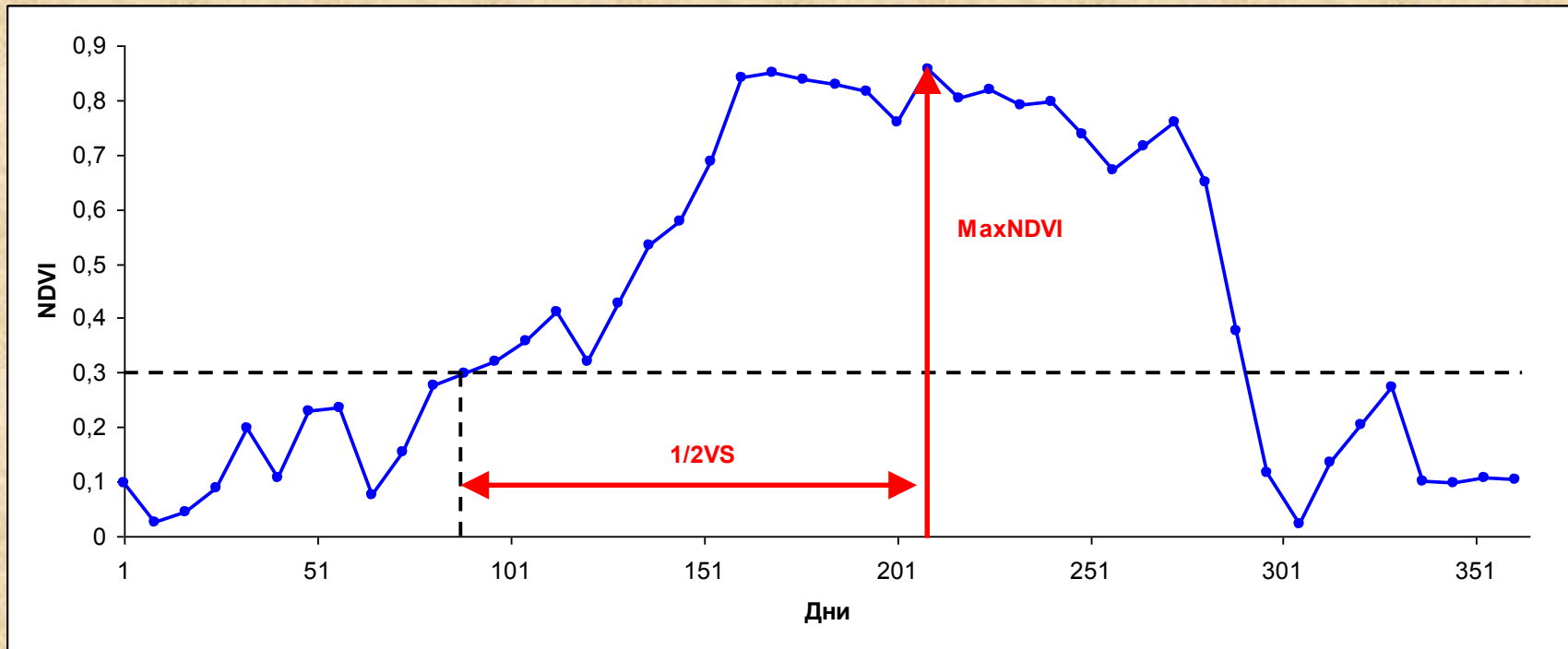


2012 г.



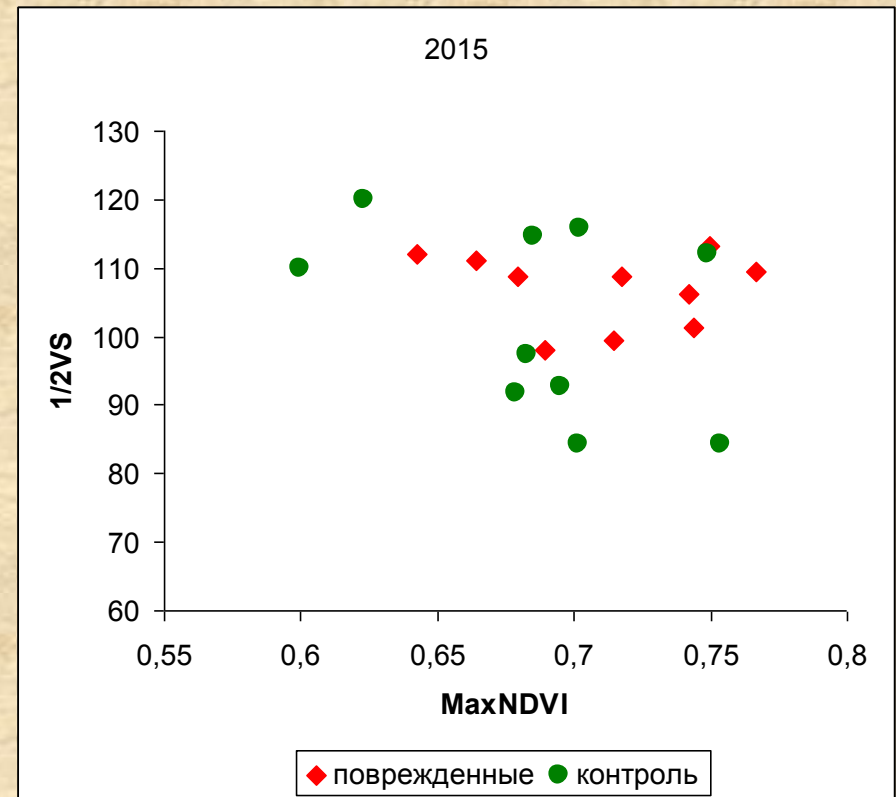
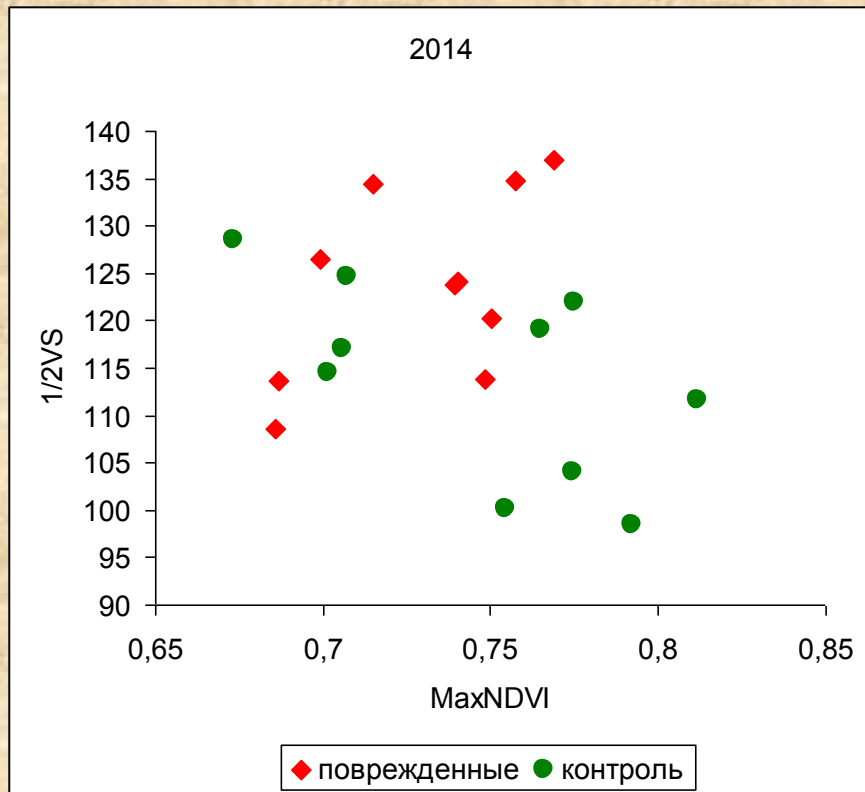
2014 г.

# Основные показатели сезонной динамики NDVI



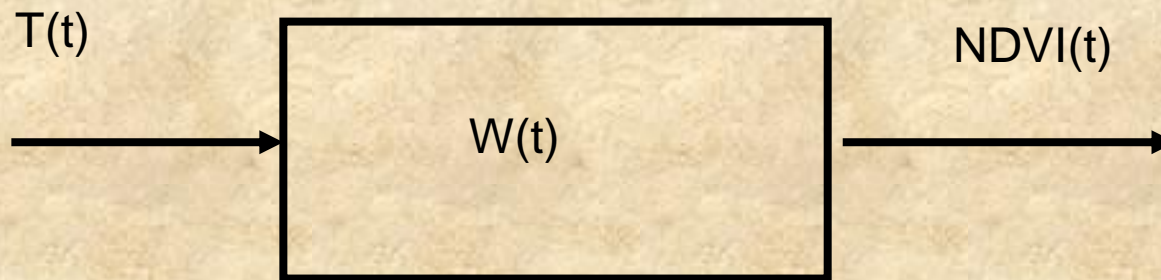


# Оценка различия пробных участков по кривой сезонной динамики NDVI





# Отклик NDVI на изменение температуры T среды



Интеграл Фредгольма описывает отклик зависимой переменной ( $NDVI(t)$ ) на воздействие независимой переменной  $T(t)$ :

$$NDVI(t) = \int_0^t h(\tau)T(t - \tau)d\tau$$

# Обратная задача: нахождение функции отклика $h(w)$ при известных значениях NDVI и температуры

$$NDVI(t) = \int_0^t h(w)T(t - \tau)d\tau \quad \begin{array}{l} \text{Уравнение} \\ \text{Фредгольма} \end{array}$$

где:  $T(t)$  – временной ряд температуры;  $h(w)$  – функция отклика (ядро интегрального преобразования).

По данным со спутника можно получить временные ряды NDVI(t) и температуры  $T(t)$ . Зная эти данные, можно вычислить кросс-корреляционную функцию. Таким образом, для интегрального уравнения Фредгольма нужно решить обратную задачу: найти функцию отклика  $h(w)$  по известным входным и выходным данным.



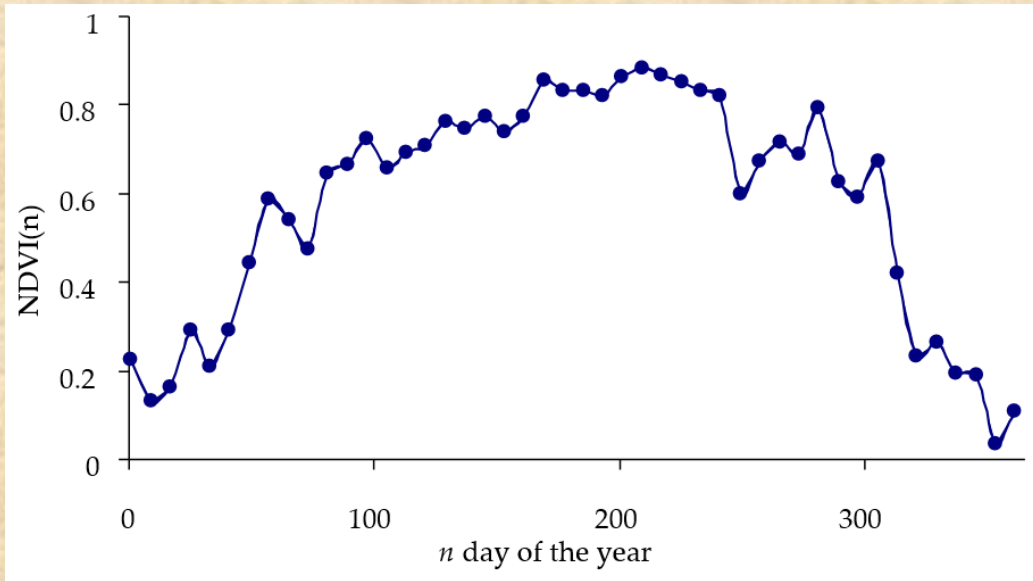
Для решения обратной задачи и нахождения функции отклика необходимо выполнить преобразование Фурье уравнения Фредгольма.

Для расчетов необходимо, чтобы анализируемые временные ряды были бы стационарными. Для этого перейдем от рядов NDVI(t) и T(t) к рядам первых разностей. Тогда можно записать спектр функции отклика H(f):

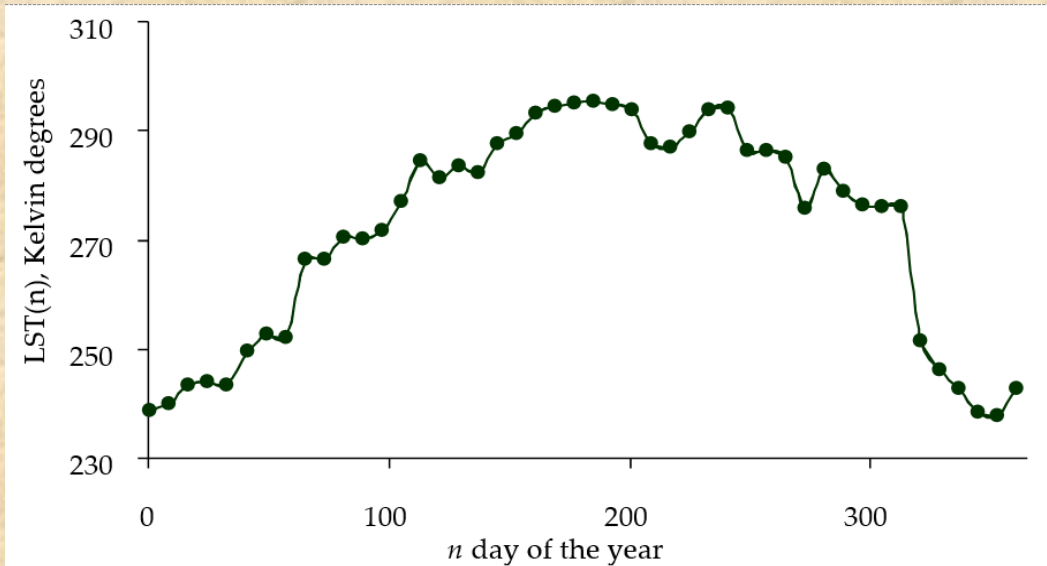
$$H(f) = \frac{FFT(C_{12}(dT, dNDVI))}{FFT(T_{11}(dT))}$$

где: FFT – спектральное преобразование Фурье,  $C_{12}$  – кросскорреляционная функция рядов первых разностей T и NDVI,  $T_{11}$  – автокорреляционная функция ряда первых разностей T.

## Типичный восьмидневный композит NDVI

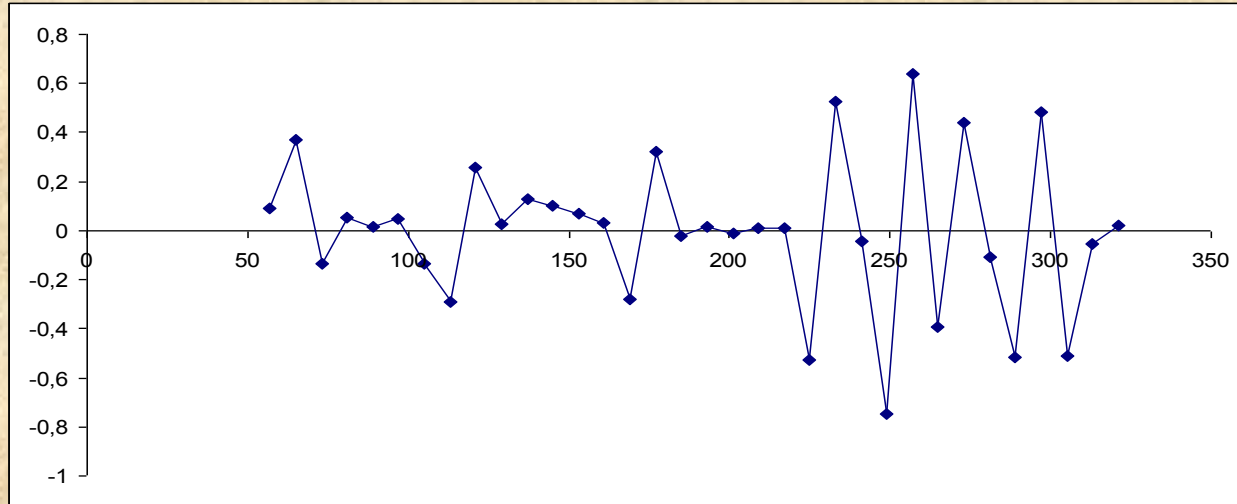


## Типичный восьмидневный композит LST

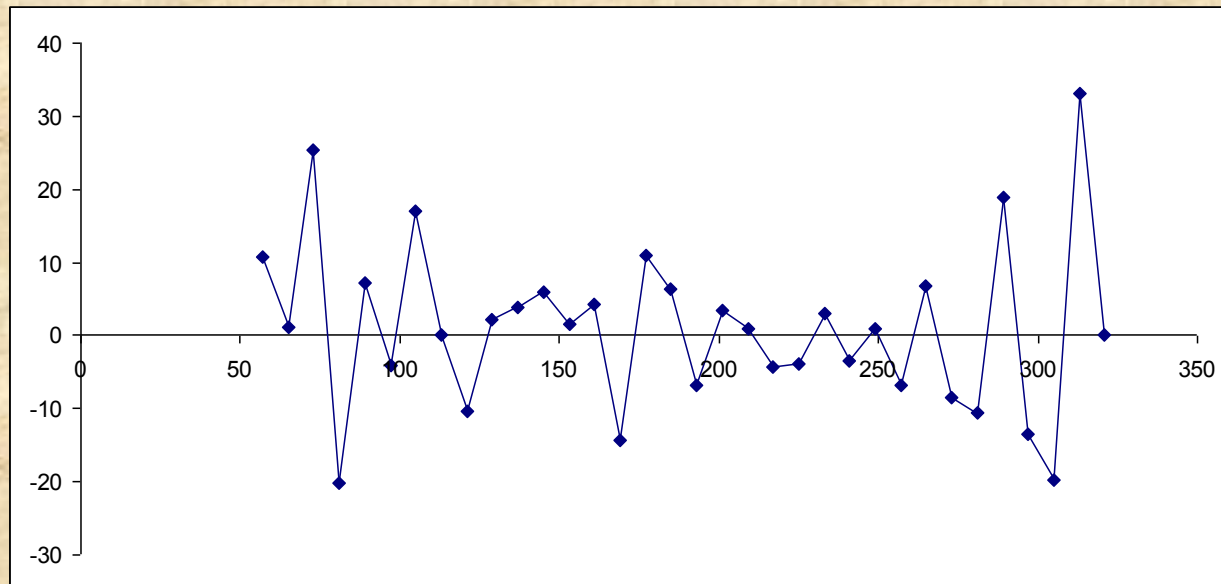




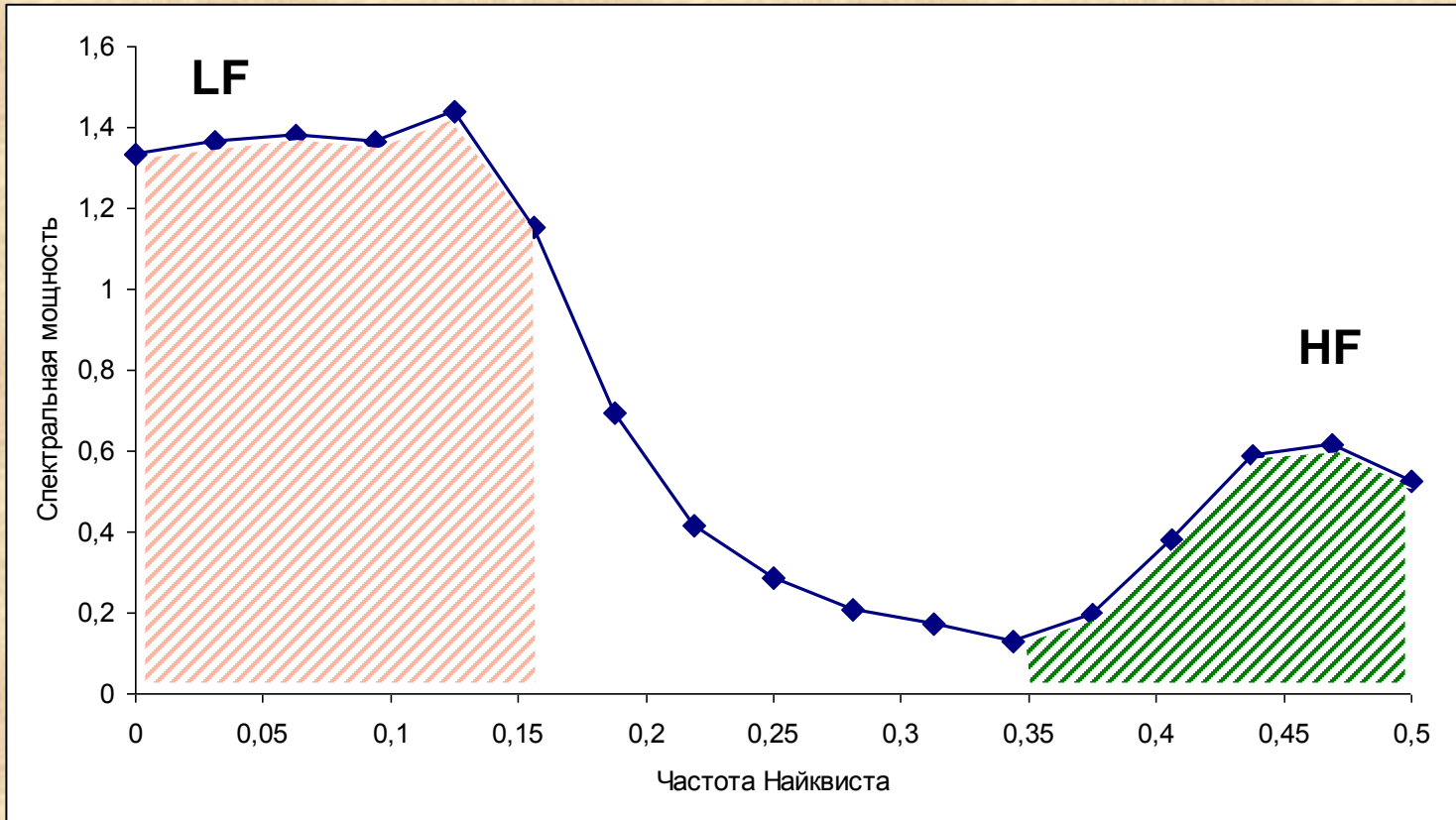
# Ряд первых разностей NDVI (с 57 по 321 день)



# Ряд первых разностей LST (с 57 по 321 день)

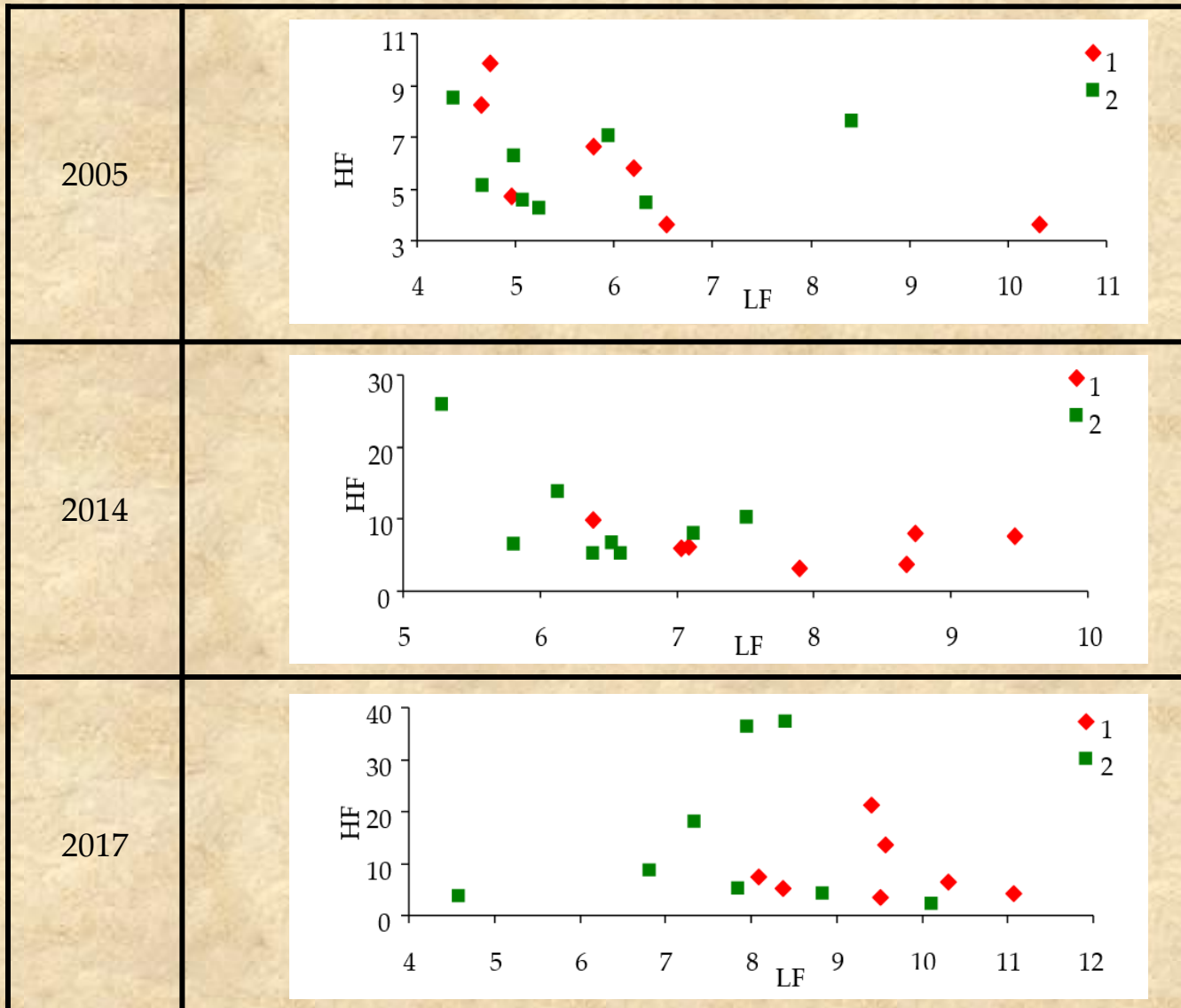


# Спектральная функция отклика

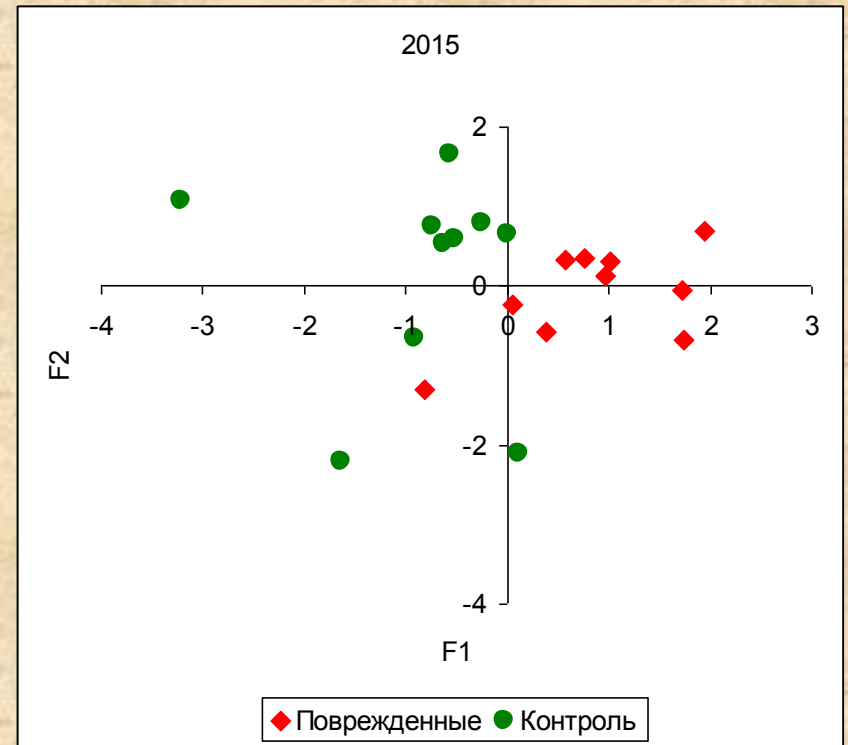
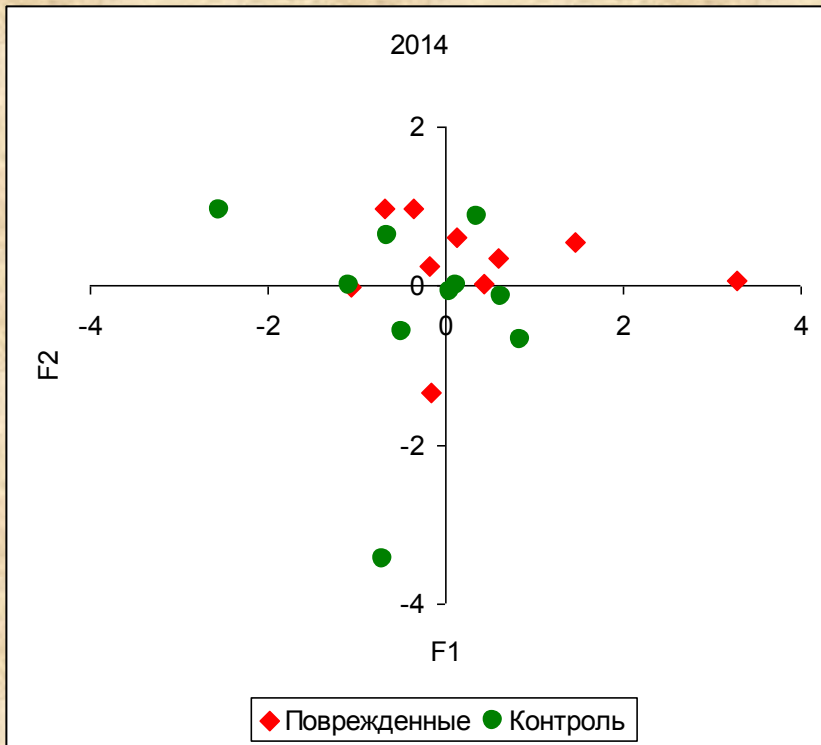




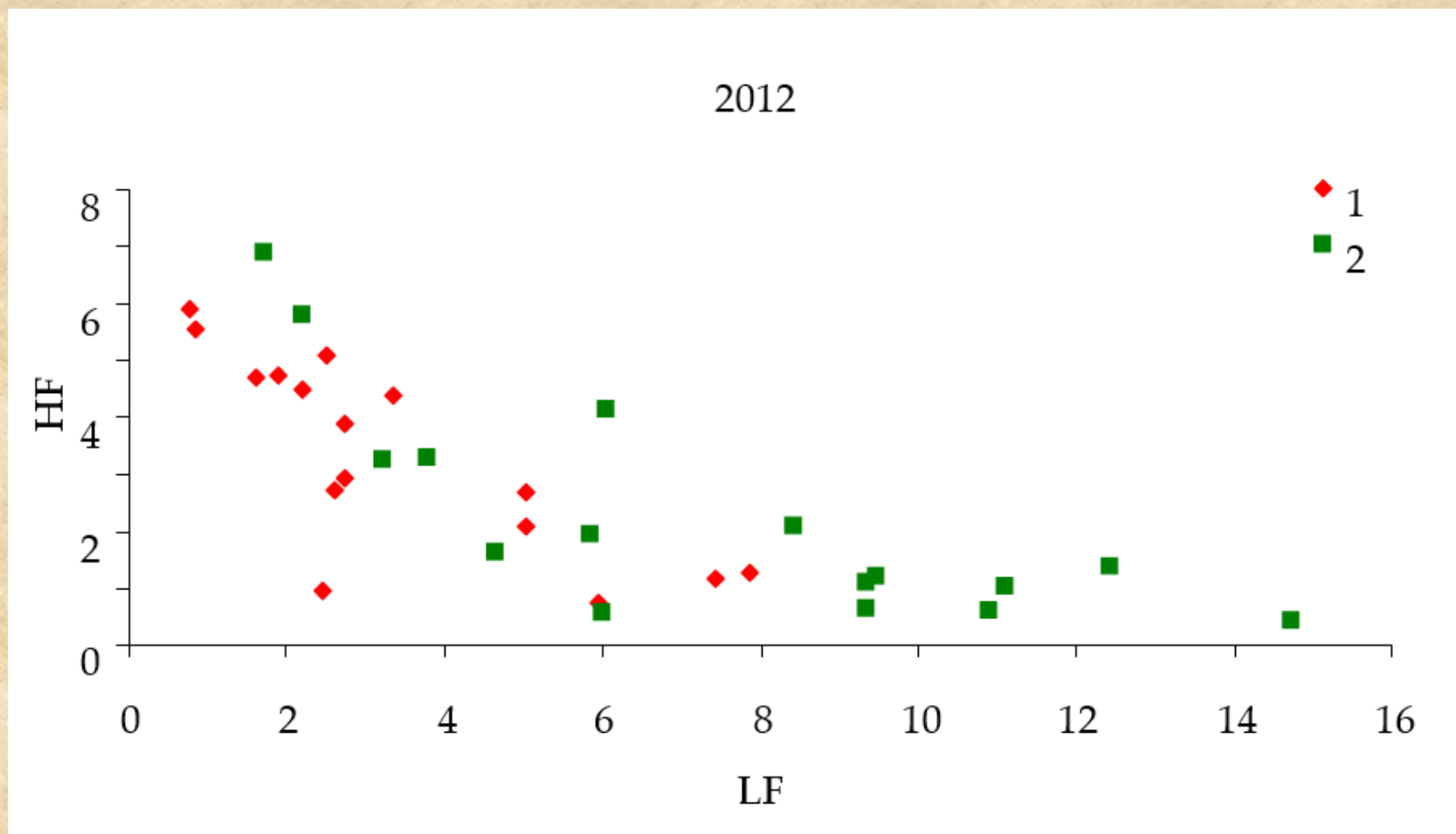
Параметры LF и HF для очага сибирского шелкопряда (2015 г.) в разные годы до и после вспышки. 1 - поврежденные участки; 2 - контрольные насаждения.



# Интегральные характеристики (метод главных компонент) функции отклика (2014 – 2015гг.)



Параметры LF и HF для очага черного пихтового усача (2013 г.) за год перед вспышкой. 1 - поврежденные участки; 2 - контрольные насаждения.





Значимость оценки различия параметров спектральной функции для поврежденной и контрольной групп.

Year	Siberian Silkmoth (Outbreak 2015)			Black Fir Sawyer (Outbreak 2013)		
	Wilks' $\lambda$	$p$	Significance at the 0.15 Level	Wilks' $\lambda$	$p$	Significance at the 0.15 Level
2003	0.98	0.85	–	0.9	0.235	–
2004	0.78	0.16	–	0.9	0.22	–
2005	0.93	0.58	–	0.78	0.028	+
2006	0.99	0.95	–	0.9	0.2	–
2007	0.99	0.9	–	0.87	0.13	+
2008	0.87	0.39	–	0.92	0.29	–
2009	0.79	0.18	–	<b>0.87</b>	<b>0.125</b>	+
2010	<b>0.65</b>	<b>0.04</b>	+	<b>0.86</b>	<b>0.12</b>	+
2011	0.94	0.63	–	<b>0.88</b>	<b>0.15</b>	+
2012	0.91	0.49	–	<b>0.65</b>	<b>0.002</b>	+
2013	<b>0.75</b>	<b>0.11</b>	+	<b>0.69</b>	<b>0.016</b>	+
2014	<b>0.55</b>	<b>0.012</b>	+	<b>0.55</b>	<b>0.002</b>	+
2015	<b>0.81</b>	<b>0.21</b>	–	<b>0.64</b>	<b>0.0014</b>	+
2016	0.91	0.49	–	<b>0.76</b>	<b>0.02</b>	+
2017	<b>0.58</b>	<b>0.016</b>	+	<b>0.65</b>	<b>0.002</b>	+
2018	<b>0.58</b>	<b>0.017</b>	+	<b>0.65</b>	<b>0.002</b>	+
2019	<b>0.67</b>	<b>0.051</b>	+			

# Выводы

- Функции отклика NDVI на изменения температуры можно использовать как предиктор ослабления территории, восприимчивых к атакам насекомых за 1-2 года до начала повреждений.
- Данная характеристика скорее всего является необходимым, но недостаточным условием развития вспышек массового размножения насекомых.
- Повышение пространственного разрешения ДДЗ позволит увеличить надежность метода.

**Благодарю за внимание**