

**Ботвич И. Ю., Сидько А. Ф., Письман Т. И., Шевырногов А. П.  
Институт биофизики СО РАН**

**Изучение хлорофилльного  
фотосинтетического потенциала  
растительности Юга  
Красноярского края и республики  
Хакасия наземными и  
спутниковыми методами**

# Цели и задачи исследования

Настоящий доклад посвящен изложению результатов наземных и космических измерений динамики отражательной способности посевов с/х в период их активной вегетации с целью:

1. Получения и хранения эталонного электронного банка первичных спектральных данных посевов с/х в период их активной вегетации;
2. Контроля динамики процессов в растениях, достоверного определения видового состава посевов;
3. Разработки универсальной методики дистанционной диагностики морфофизиологических изменений посевов;
4. Определения взаимосвязи спектральной отражательной способности посевов различных культур с содержанием хлорофилла в растениях, приростом сухой и сырой биомассы;
5. Контроля изменений хлорофилльного фотосинтетического потенциала (ХФСП), связанного с биологической продуктивностью посевов;
6. Определения взаимосвязи наземных и космических измерений (ХФСП).

## МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.



Рис. 1. Регистрация СКЯ растительных покровов спектрофотометром, установленным в полевой оптической лаборатории.



Рис. 2. Регистрация СКЯ растительных покровов (посевов) спектрофотометром, установленным в корзине автовышки.

В качестве модельных использовались посевы: пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Скала, Равнина, Богарная, Иртышанка, ячмень (*Hordeum distichon* L.) сорта Винер и овес (*Owena sativa* L.) сорта Мутант и Орел. Выбор этих объектов обусловлен следующими факторами: культуры пшеница, ячмень и овес являются основными зерновыми культурами, высеваемыми и культивируемыми на большей территории нашей страны. Эти культуры к настоящему времени достаточно хорошо изучены с физиологической и биологической точки зрения.

## Результаты и обсуждение

Проведенные исследования показали, что изменения значений СКЯ посевов сельскохозяйственных культур в течение вегетационного периода имеют высокую информативность. Особенно значимыми являются коэффициенты яркости в области красной полосы поглощения хлорофилла, что может служить ключом для дешифрирования аэрокосмических спектральных изображений. Изменение содержания хлорофилла в фитозементах четко проявляется в кривых СКЯ исследуемых культур в области красной полосы поглощения фитопигментов. Рассчитанное на основании этих данных линейное уравнение регрессии, описывающее взаимосвязь между содержанием СХЛ и величиной коэффициента отражения на длине волны 550 нм, примет вид:  $S_{хл} = 15,03 - 0,46 \rho_{550}$ .

Уравнение принимает гиперболическую зависимость типа:  $S_{хл} = 253,9/\rho_{550} - 7,167$ . Данный тип параболической зависимости был получен нами ранее в ходе проводимых лабораторных экспериментов (рис.4).

В поисках количественной взаимосвязи между СКЯ посевов и концентрацией хлорофилла "а" в листьях верхнего яруса растений связать эти параметры через величину S. S - величина хлорофилльного потенциала растений, зависящая от величины поглощенного света растениями в области красной полосы поглощения хлорофилла "а" ( $\lambda_{max} = 680$  нм). Величина

$$S = (\rho_{730}(t) + \rho_{550}(t)) - \int_{550}^{730} \rho(\lambda, t) d\lambda \quad (4)$$

или за определенный период вегетации растений

$$S^1(t) = S(t) = \int_{t_0}^t 90 \left[ (\rho_{730}(t) + \rho_{550}(t)) - \int_{550}^{730} \rho(\lambda, t) d\lambda \right] dt; \quad (5)$$

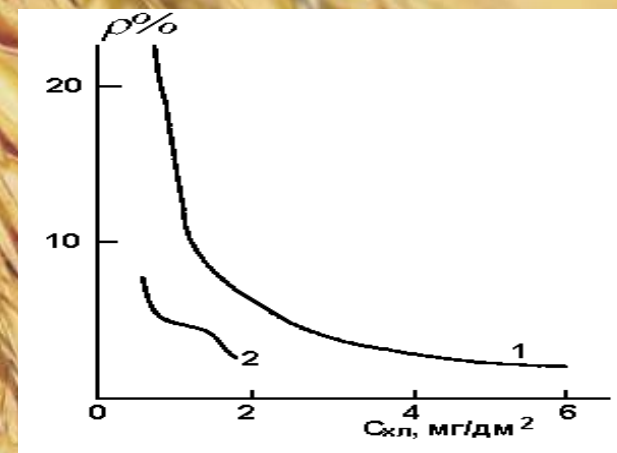
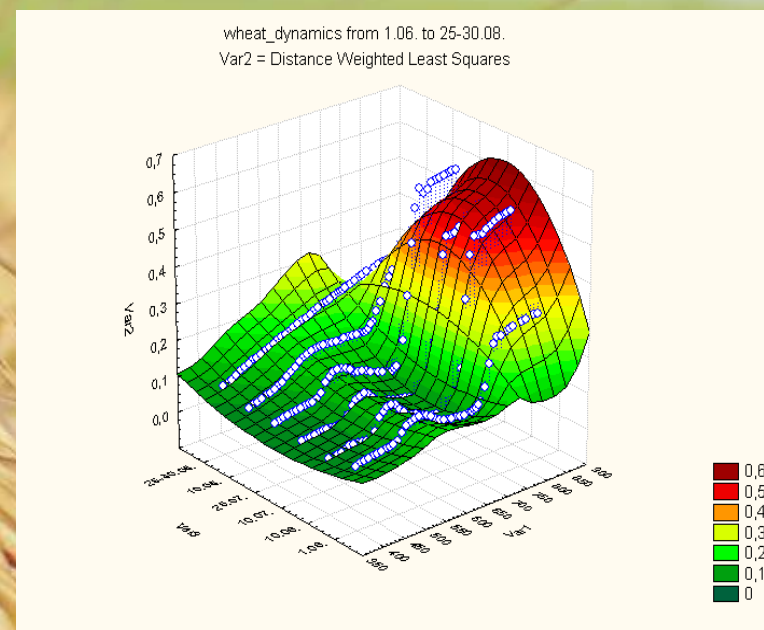


Рис. 4. Кривые зависимости  $\rho\%$  от концентрации фитопигментов: 1- хлорофилла "а" и 2- хлорофилла "б" на длине волны  $\lambda = 680$  нм.

На рис. 5. представлена схема определения параметра S.

При этом зависимость величины  $\sum S(t)$  и  $\sum C_{хл}(t)$  имеют высокий коэффициент корреляции, связь между ними выражена линейно, а не параболой рис. 4. Установлено - большему содержанию суммарного хлорофилла у исследуемых растений, соответствует большее значение параметра  $S(t)$  и, как следствие большая растительная масса, при этом тангенс угла наклона для различных посевов (растений) будет разный рис. 6 С увеличением поглощательной способности растений в области красной полосы поглощения хлорофилла "а", увеличением наземной растительной массы, ее плотности – увеличение коэффициента проективного покрытия, значение параметра  $S$  увеличивается. Анализ сезонных изменений этих величин в течение вегетации по двумерному критерию случайных величин показал, что между ними имеется достаточно тесная положительная связь. Наиболее высокие коэффициенты корреляции ( $R = 0,9-0,95$ ) наблюдаются между  $\sum S(t)$  и  $\sum C_{хл}(t)$ , тогда как между величиной  $S(t)$  сухой и сырой биомассой они составляют  $R = 0,75 - 0,85$ .

Величина  $S(t)$  рассчитывалась по кривым коэффициентов яркости посевов в течение всего периода вегетации, а сухая и сырая биомасса посева определялись путем срезания контрольных растений с площадей посева пшеницы), площадь срезания составляла  $0,5 \text{ м}^2$ ) с последующим их взвешиванием и обработкой. Определение фитомассы исследуемых растений, содержание хлорофилла в листьях верхнего яруса растений и регистрация спектров яркости проводились одновременно. Результаты обработки систематизированных данных по отдельным исследуемым культурам, в не зависимости от года проведения эксперимента приведены в таблице 1.

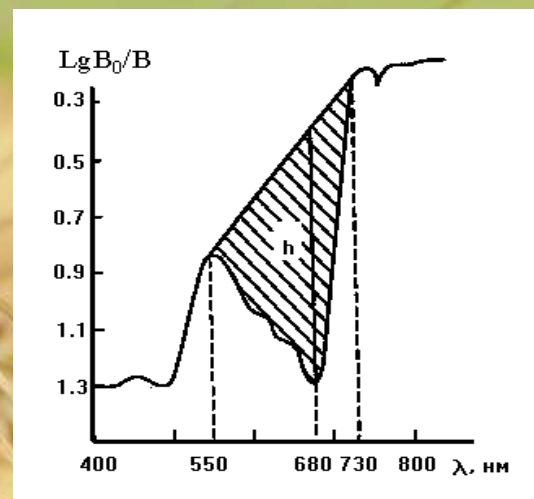


Рис. 5. График, поясняющий смысл величины  $S(t)$  - "хлорофилльного провала" в области красной полосы поглощения нативного хлорофилла "а" на кривой СКЯ посева пшеницы.

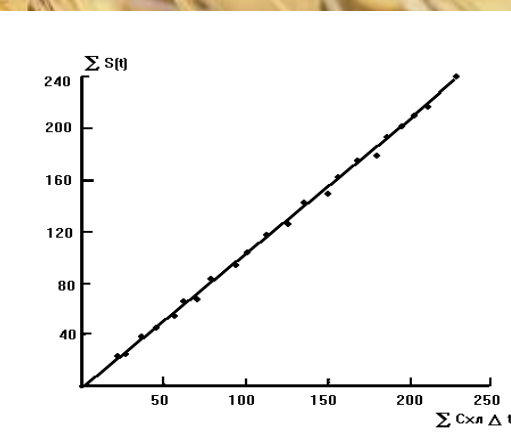


Рис. 6. Взаимосвязь между величинами  $\sum S(t)$  и суммарным содержанием хлорофилла  $\sum C_{хл}(\Delta t)$  в растениях для исследуемого посева пшеницы в течение вегетации.

Таблица 1

Коэффициент корреляции между величиной  $S1 = \Sigma S(t)$  с содержанием хлорофилла  $S_{хл}$ , сухой  $M_{сух.}$  и сырой биомассой  $M_{сыр.}$  посевов пшеницы, овса и ячменя.

<i>Наименование культуры</i>	<i>Коэффициент корреляции R</i>		
	<i>S<sub>хл</sub></i>	<i>M<sub>сыр.</sub></i>	<i>M<sub>сух.</sub></i>
Пшеница:			
Скала	0,912	0,861	0,81
Равнина	0,9473	0,85	0,82
Богарная	0,955	0,805	0,776
Саратовская-29	0,932	0,815	0,795
Иртышанка	0,905	0,78	0,745
Двулинейная	0,917	0,8	0,77
Опытные сорта:			
36/74	0,932	0,865	0,845
N 376	0,944	0,89	0,866
N 504	0,935	0,835	0,840
N 505	0,91	0,833	0,815
N 410	0,925	0,806	0,817
N 595	0,908	0,785	0,747
N 596	0,911	0,856	0,809
Ячмень:			
Винер	0,901	0,795	0,756
Овес:			
Мутант	0,922	0,757	0,731
Орел	0,922	0,797	0,737

Обобщая многолетние результаты по исследуемым культурам не зависимо от условий их посевной и предпосевной обработки почвы, количества внесенных в почву удобрений в процессе вегетации на м<sup>2</sup> (пшеница, ячмень и овес) с явно различными сроками созревания и урожайности мы сопоставили величину ХФСП с урожайностью по зерну.

Используя многофакторный анализ была определена взаимосвязь величины  $S^1 = \sum S(t)$  посевов, определяемым по кривым СКЯ в течение вегетации с их полезной конечной производственно хозяйственной урожайностью зерна. Результаты приведены на рис.7. Как показали расчеты, между величиной  $S^1$  и урожайностью для одного типа посевов (например, 30 различных сортов пшеницы), не зависимо от их сортов и условий выращивания существует хорошая взаимосвязь. Корреляция составила - порядка 0,85 - 0,90. Чем больше параметр  $\sum S(t)$  за период вегетации, тем выше полезная урожайность по зерну на исследуемых участках и поля.

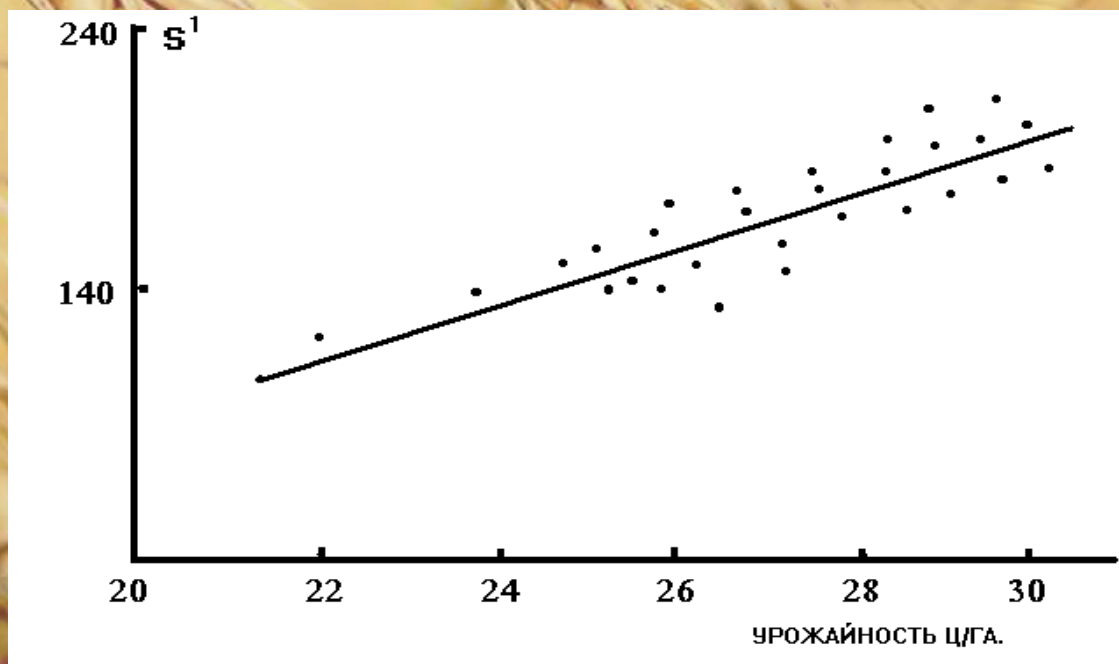


Рис. 7. Связь параметра  $S^1 = \sum S(t)$  с урожайностью для 30 различных полей посевов пшеницы.  $A = 0,55$ ,  $B = 20,95$ . (Точками показана реальная урожайность).

Обобщенные многолетние результаты по исследуемым культурам (свыше 110 различных вариантов) не зависимо от условий их посевной и предпосевной обработки, количества внесенных в почву удобрений (N, K, P) на м<sup>2</sup> и сортов культур (пшеница, ячмень и овес) с явно различными сроками созревания и урожайности, получили графическую зависимость, которая представлена рис. 8.

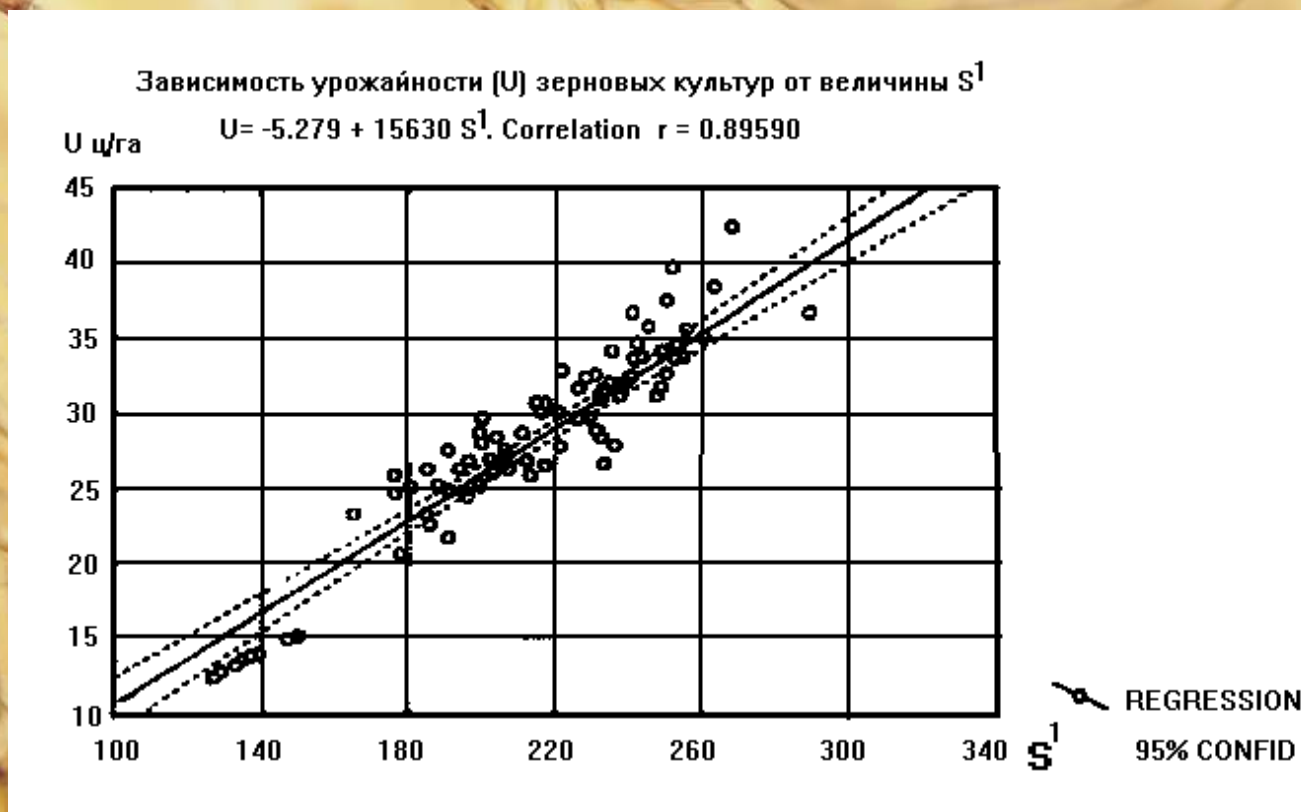
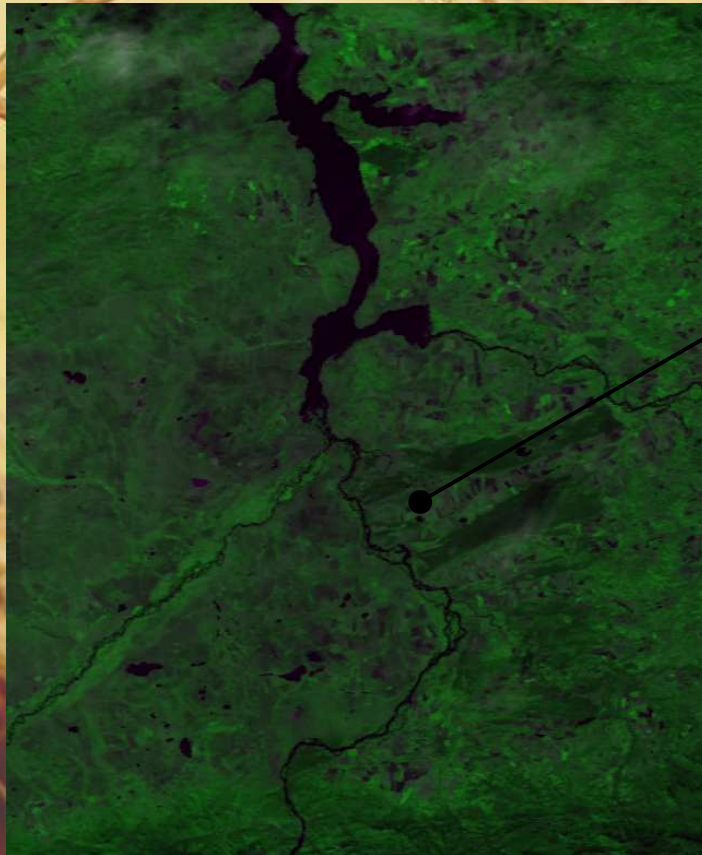


Рис. 8. График зависимости суммарной величины S<sup>1</sup> от урожайности для (n=110) различных посевов С/Х культур, независимо от их посевной и предпосевной обработки. Данные обработаны за 12 лет исследований. Урожайность зерна выражена зависимостью:  $(U) = -5.279 + 15630 \cdot S^1$ . Коэффициент корреляции составил  $R = 0.89590$ .

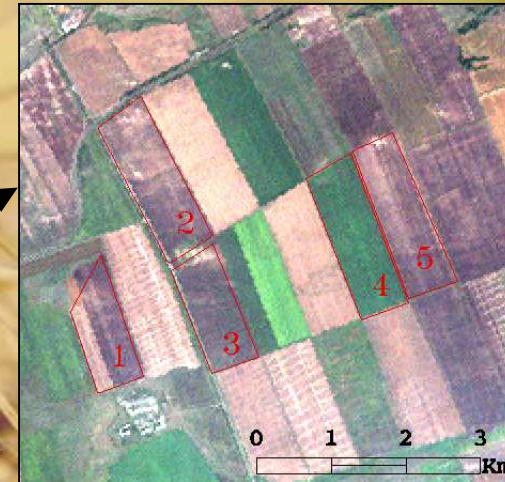


# Спутниковые исследования

Тестовые участки:



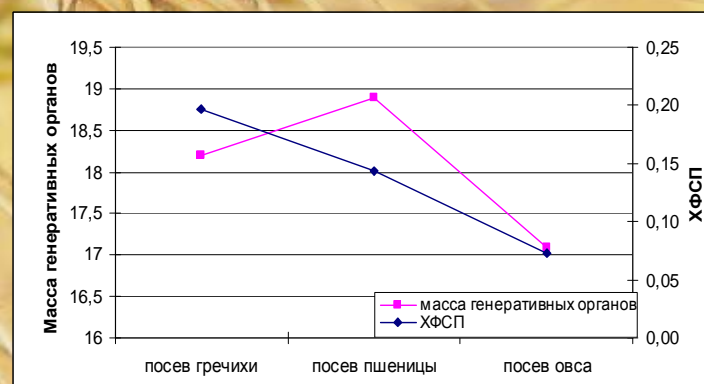
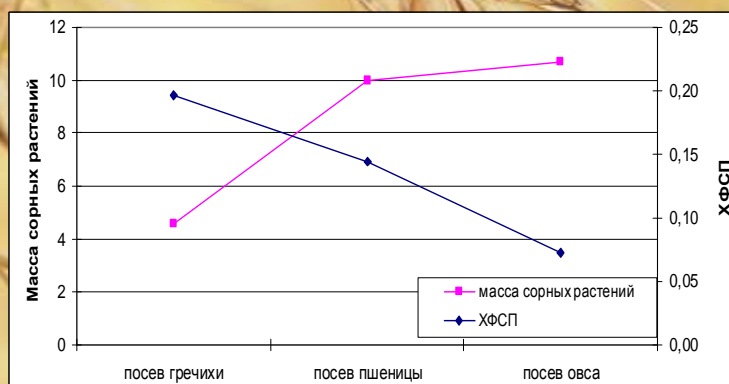
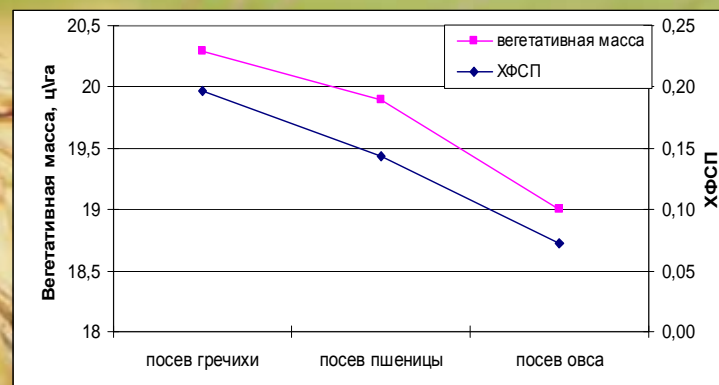
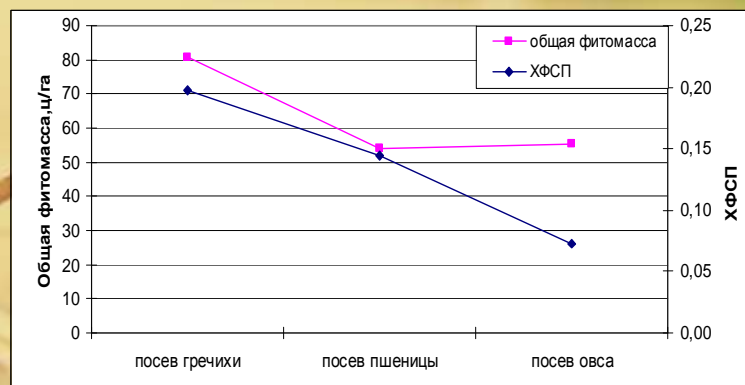
Снимок Terra Modis, синтез RGB 1:2:1.  
Пространственное разрешение 250 м.  
Дата съемки – 8 сентября 2006 г.  
Территория Красноярского края и  
республики Хакасия



Снимок Landsat 7 ETM+, синтез RGB 3:2:1.  
Пространственное разрешение 30 м  
Использовались спутниковые данные,  
полученные в красном (630-690 нм) и  
ближнем инфракрасном (750-900 нм) и  
зеленом (525 – 625 нм) диапазонах  
Дата съемки 2 сентября 2006 г.

1-3 посевы пшеницы,  
4, 5- посевы гречихи

# Графики ХФСП и значений фитомасс посево с\х культур (гречихи, пшеницы, овса)



	ХФСП	масса генеративных органов, ц/га	вегетативная масса, ц/га	масса сорных растений, ц/га	Общая фитомасса, ц/га
посев гречихи	0,197	18,2	20,3	4,6	80,9
посев пшеницы	0,144	18,9	19,9	10	54
посев овса	0,073	17,1	19	10,7	55,5
Коэффициент корреляции ХФСП и значений фитомасс		0,67	0,99	-0,88	0,79

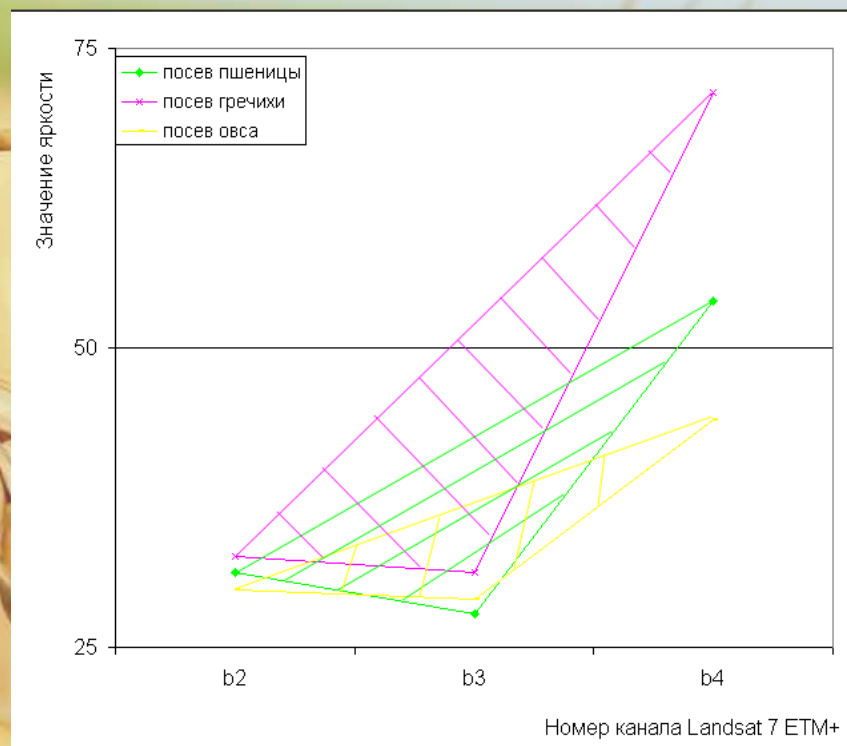


График значений яркости в каналах № 2,3,4 спутника Landsat 7ETM+

## ВЫВОД

Приведенные выше результаты позволяют сделать вывод о том, что процессы накопления и разрушения хлорофилла в растениях являются доминирующими факторами, определяющими изменения СКЯ посевов в течение всего периода вегетации, а значения наземной биомассы растений с величиной размаха кривой СКЯ по оси ординат, т.е., чем больше биомасса растений, тем больше ХФСР.

## Литература

1. Сидько А.Ф.. Аппаратура высокого разрешения и результаты исследования растительности и водных поверхностей. //В кн. Очерки экологической биофизики. /Под ред. Воловой Т.Г. Новосибирск. Наука. С. 356-370. 2003 г.
2. Сидько А.Ф., Филимонов В.С., Сидько Ф.Я., Рубцов И.Д. Полевой двухлучевой дифференциальный спектрофотометр. //Журнал прикладной спектрофотометрии. 1976, т. 29, вып. 5. С. 943-948.
3. Сидько А.Ф., Шевырнов П.П. Спектральная яркость растений, как основа дистанционной диагностики посевов сельскохозяйственных культур. //ДАН, 1997, т.354, № 1. С. 120-122.
4. Сидько А.Ф., Шевырнов А.П. Изучение сезонной зависимости спектральной яркости посевов сельскохозяйственных культур от содержания хлорофилла и физиологических параметров растений. //Исследование Земли из космоса. 1998, №3, С. 96-105.
5. Сидько А.Ф. Дистанционный метод определения хлорофилльного фотосинтетического потенциала посевов сельскохозяйственных культур на примере пшеницы, ячменя и овса. //Известия Академии наук, Серия биологическая. 2004 г. № 5. С. 547-555.
6. Shevyrnogov A.P. and A.F. Sid'ko. Ground truth methods as a part of space mapping of inland water phytopigment dynamics. //Adv. Space Res. Vol. 22. No. 5. pp. 705-708, 1998.
7. Shevyrnogov A.P. and A.F. Sid'ko. Ground truth methods as a part of space mapping of inland water phytopigment dynamics. //Adv. Space Res. Vol. 22. No. 5. pp. 705-708, 1998.
8. Шевырнов А.П., Сухинин А.И., Кашкин В.Б., Сидько А.Ф., Высоцкая Г.С. Научная программа “Зеленая волна” как средство изучения растительности Красноярского края космическими средствами // Сибирский экологический журнал, 1996, №5, с.363-372.
9. А.Ф. Сидько, И.Ю. Пугачева, А.П. Шевырнов Исследование динамики спектральной яркости посевов сельскохозяйственных культур в период вегетации на территории Красноярского края // ДАН. 2008, том 419, № 3, с 417-420.
10. А.Ф. Сидько, И.Ю. Пугачева, А.П. Шевырнов\* Анализ динамики спектральной отражательной способности посевов сельскохозяйственных культур в период вегетации на территории Красноярского края и республики Хакасия по наземным и спутниковым измерениям. //Исследование Земли из космоса. 2009. № 2. С 71-78 .
11. А.Ф. Сидько, И.Ю. Пугачева\*, А.П. Шевырнов Исследование динамики спектральной яркости посевов сельскохозяйственных культур в период вегетации с целью определения их видового состава наземными и спутниковыми методами на территории Юга Красноярского края. //Исследование Земли из космоса. 2009. № 2. С 71-78 .
12. А.Ф. Сидько, И.Ю. Пугачева, А.П. Шевырнов “ Исследование динамики спектральной яркости посевов сельскохозяйственных культур в период вегетации на территории Красноярского края “ // Журнал Сибирского Федерального Университета, 2009, 2009, №2, Серия Техника и технология. с.100-111.

# ХФСП посевов и лесных сообществ

