



**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЮЖНО-
ТАЕЖНЫХ ЛАНДШАФТОВ НА ОСНОВЕ
ДИСТАНЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ
(ЮГ ВАЛДАЙСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ,
ЦЕНТРАЛЬНО-ЛЕСНОЙ ЗАПОВЕДНИК)**

Р. Б. Сандлерский

исследование осуществлено при поддержке РФФИ, № 06-05-64937-а

Москва 2007

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ ПРОБЛЕМА

**ПАРАМЕТРЫ И МЕХАНИЗМЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ
ЭНЕРГИИ В ЛАНДШАФТЕ**

ПРОБЛЕМА ИССЛЕДОВАНИЯ

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ ВАРЬИРОВАНИЕ
СОСТАВЛЯЮЩИХ БАЛАНСА ЭНЕРГИИ В СВЯЗИ СО
СВОЙСТВАМИ ЛАНДШАФТА ПО ДАННЫМ
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ**

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

**РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА
ПО ДИСТАНЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ
НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИОННО-
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО ПОДХОДА В
ИССЛЕДОВАНИИ ГЕОСИСТЕМ**

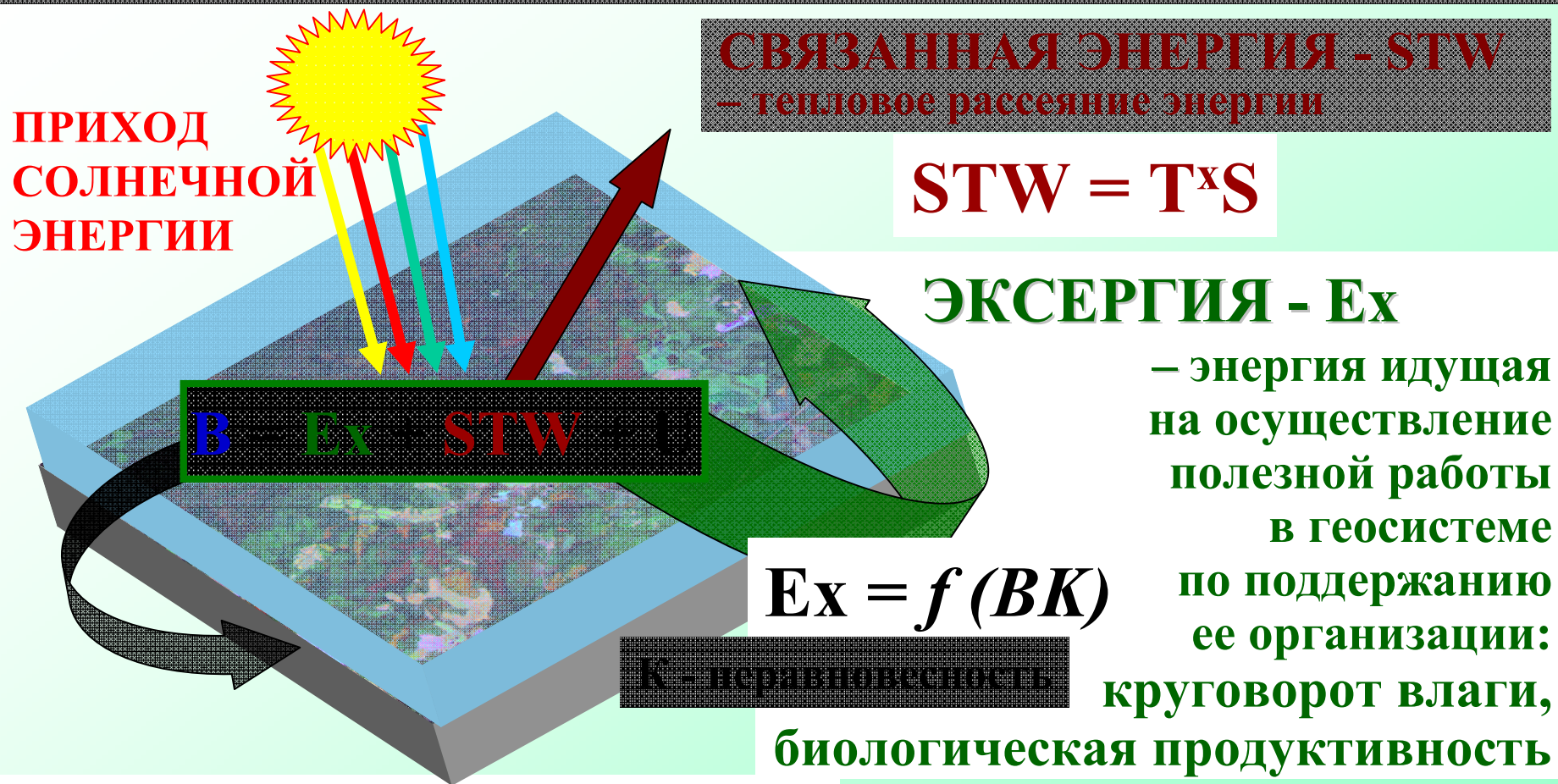
ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

ЦЕЛИ	ЗАДАЧИ	МЕТОДЫ
ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ преобразования энергии ландшафтом	Оценка составляющих энергетического баланса	расчет термодинамических характеристик
ВЕРИФИКАЦИЯ фундаментальных термодинамических соотношений для переменных	Проверка соответствия отношений между энергетическими характеристиками принятой модели	множественный регрессионный анализ
ПРОСТРАНСТВЕННО- ВРЕМЕННОЕ ВАРЬИРОВАНИЕ термодинамических характеристик	Сезонная динамика Оценка термодинамических характеристик для различных типов геосистем Инвариантность	статистический анализ, интерпретация значений и отношений переменных

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Возможности ДДЗ в исследованиях энергетики геосистем
2. Теоретические представления:
ИНФОРМАЦИОННО-ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ
ПОДХОД
3. Методика расчета энергетических характеристик по ДДЗ
4. Проверка соответствия полученных переменных и их
отношений теоретическим представлениям
5. Пространственно-временное варьирование
энергетических характеристик
6. Инвариантность преобразования энергии ландшафтом

ИНФОРМАЦИОННО-ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ ПОДХОД



**ПРИХОД
СОЛНЕЧНОЙ
ЭНЕРГИИ**

СВЯЗАННАЯ ЭНЕРГИЯ - STW
– тепловое рассеяние энергии

$$STW = T \times S$$

ЭКСЕРГИЯ - E_x

– энергия идущая
на осуществление
полезной работы
в геосистеме
по поддержанию
ее организации:
**круговорот влаги,
биологическая продуктивность**

$$E_x = f(BK)$$

K - неравновесность

**ПРИРАЩЕНИЕ
ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ (U)**

– аккумуляция энергии системой:
взаимодействие компонентов, видов,
локальные круговороты

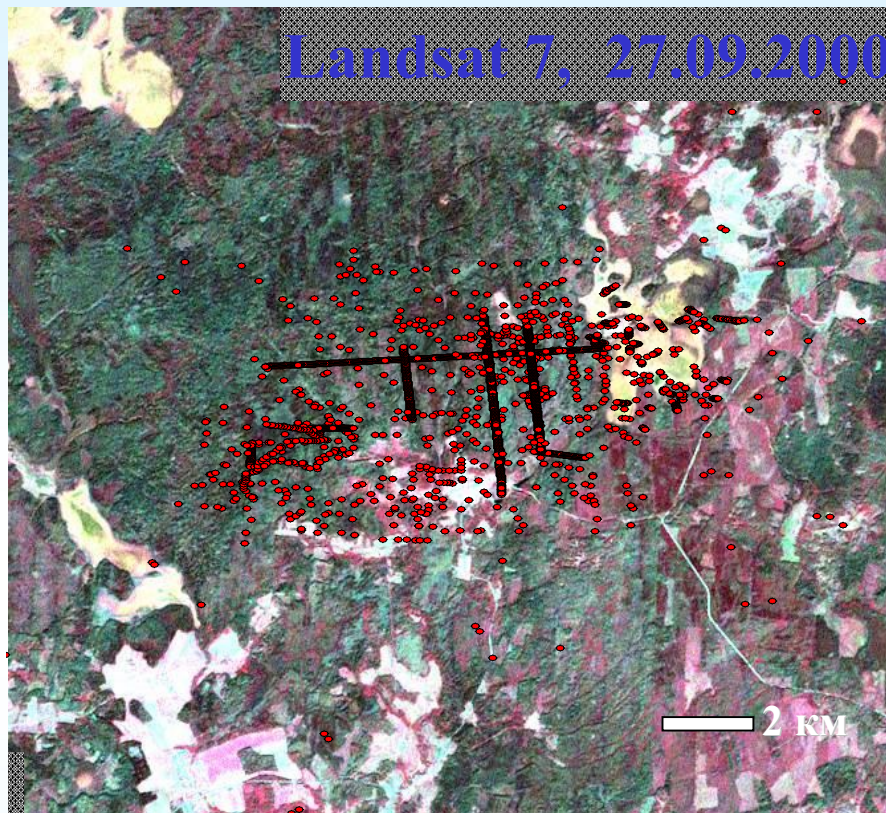
$$U = B - E_x - STW$$

**Целевая функция живого вещества –
увеличение эксергии, то есть способности
производить полезную работу,
ЭВОЛЮЦИОНИРОВАНИЕ –
УВЕЛИЧЕНИЕ ЭКСЕРГИИ**

**по *Jorgensen S.V., Svirezhev Y. M. 2004*
*TOWARDS A THERMODYNAMIC THEORY FOR
ECOLOGICAL SYSTEMS***

ЛАНДШАФТ

Landsat 7, 27.09.2000

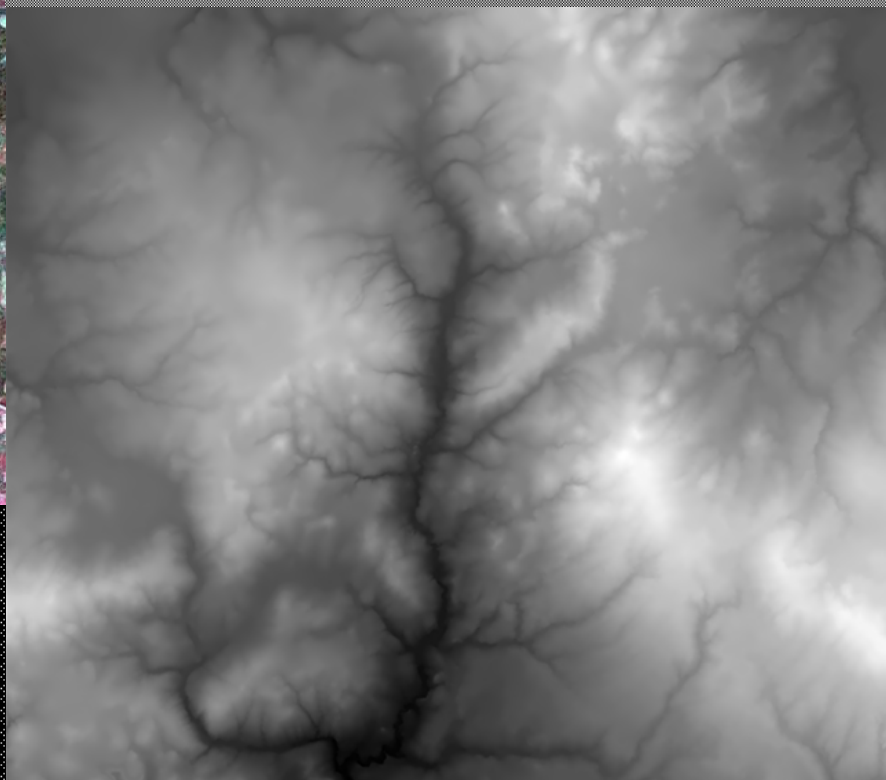


Темнохвойные неморальные и бореальные естественные леса в сочетании с верховыми болотами, ветропадами, ранне-расчистными вырубками и полями.

Кликутинская
Валдайской возвышенности

государственный

Цифровая модель рельефа, 1:10000



Плоская слабовсхолмленная
моренно-грядовая возвышенность.
Абсолютные высоты 230 – 280 м

ДАННЫЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

**ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА – спектрозональная сканерная
съемка Landsat 7 ETM+ и LANDSAT 5 TM с пространственным
разрешением 28.5x28.5 м**

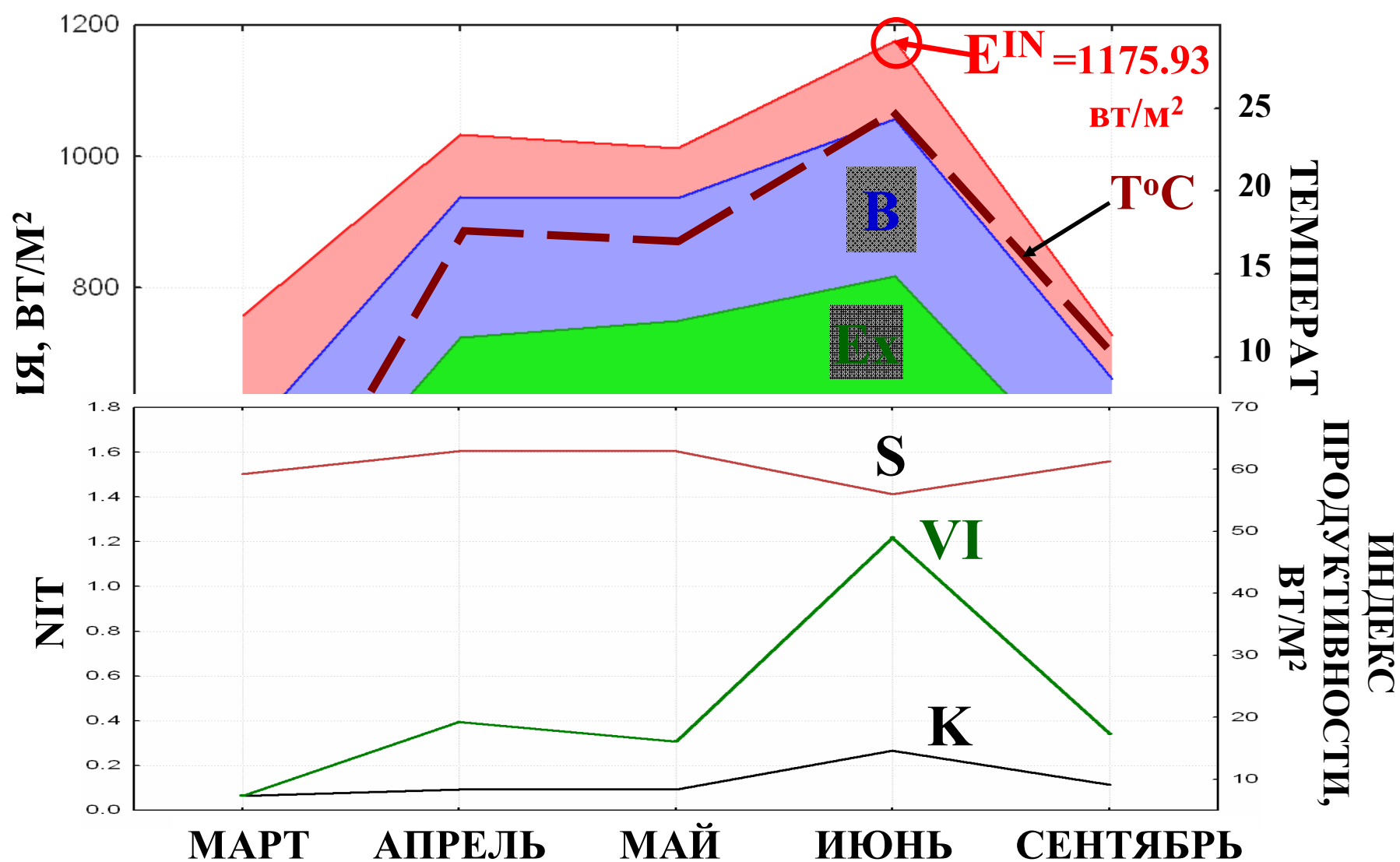
срок съемки	съемочная система	дата	время	высота солнца
март	Landsat 7 ETM+	22.03.2001	11:38	32.72
апрель	Landsat 7 ETM+	27.04.2000	11:45	46.28
май	Landsat 5 TM	03.05.1990	10:28	45.00
июнь	Landsat 7 ETM+	20.06.2002	11:41	53.87
сентябрь	Landsat 7 ETM+	27.09.2000	11:38	31.02

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПЕРЕМЕННЫЕ ПО ДАНЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

- приход солнечной радиации - E^{IN}
- поглощенная солнечная радиация - B
- неравновесность поглощения энергии - K
- эксергия солнечной радиации - E_x
- энтропия отраженной солнечной энергии - S
- температура - T , и тепловой поток - TW
- связанная энергия - STW
- внутренняя энергия (приращение) - U
- индекс продуктивности - VI

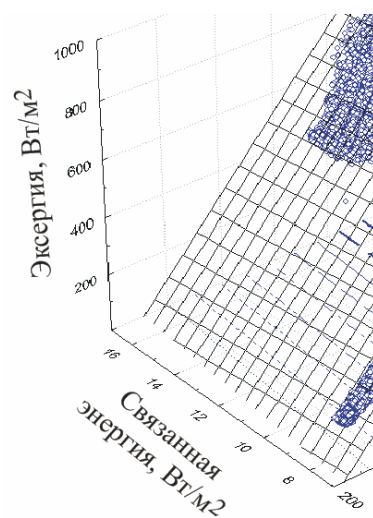
ОБЩИЕ ОЦЕНКИ ПЕРЕМЕННЫХ

ГОДОВОЙ ХОД



ВЕРИФИКАЦИЯ МОДЕЛИ

Проверка основных термодинамических зависимостей

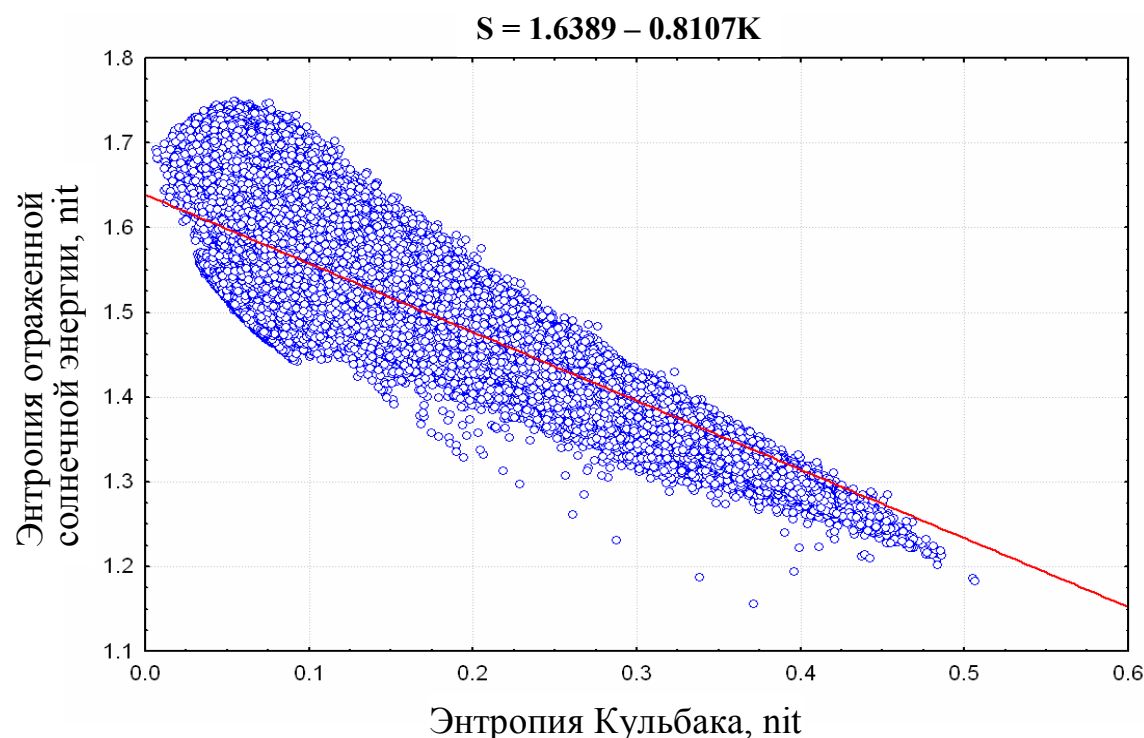


$$E_x = -203.277 + 1.0 \cdot B$$

$$R^2 = 0.9$$

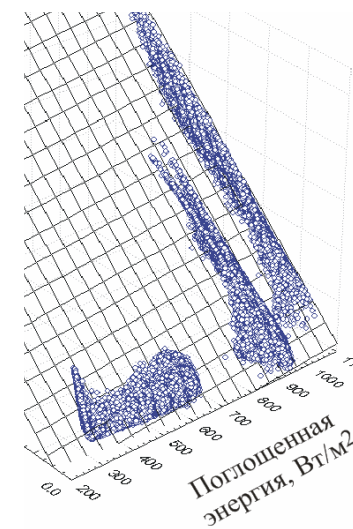
БАЛАЕ

$$E_x = B -$$



Энтропия Кульбака, nit

$$K \sim -S$$



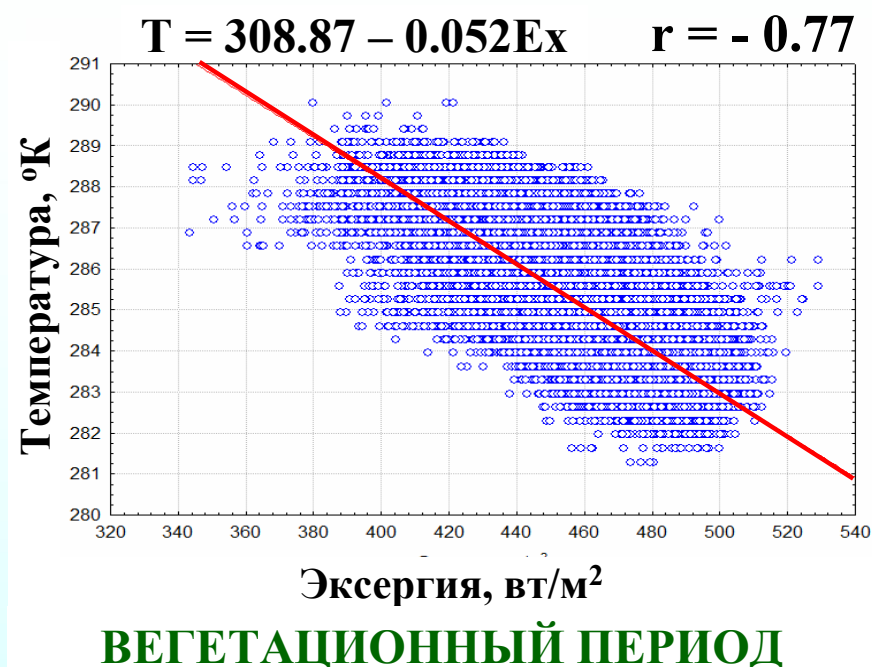
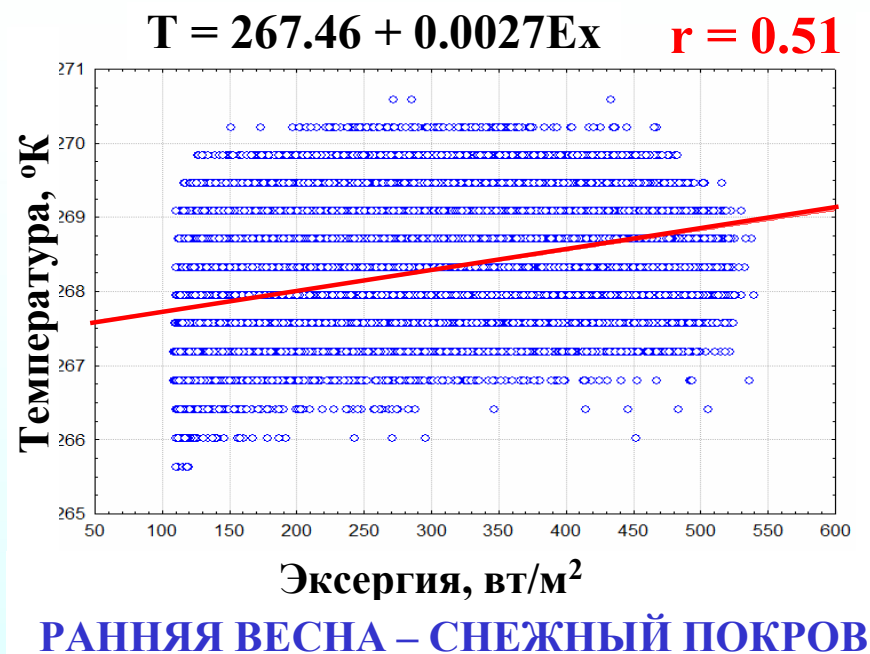
$$+ 0.013B + 171.14K$$

$$R^2 = 0.93$$

$$f(B, K)$$

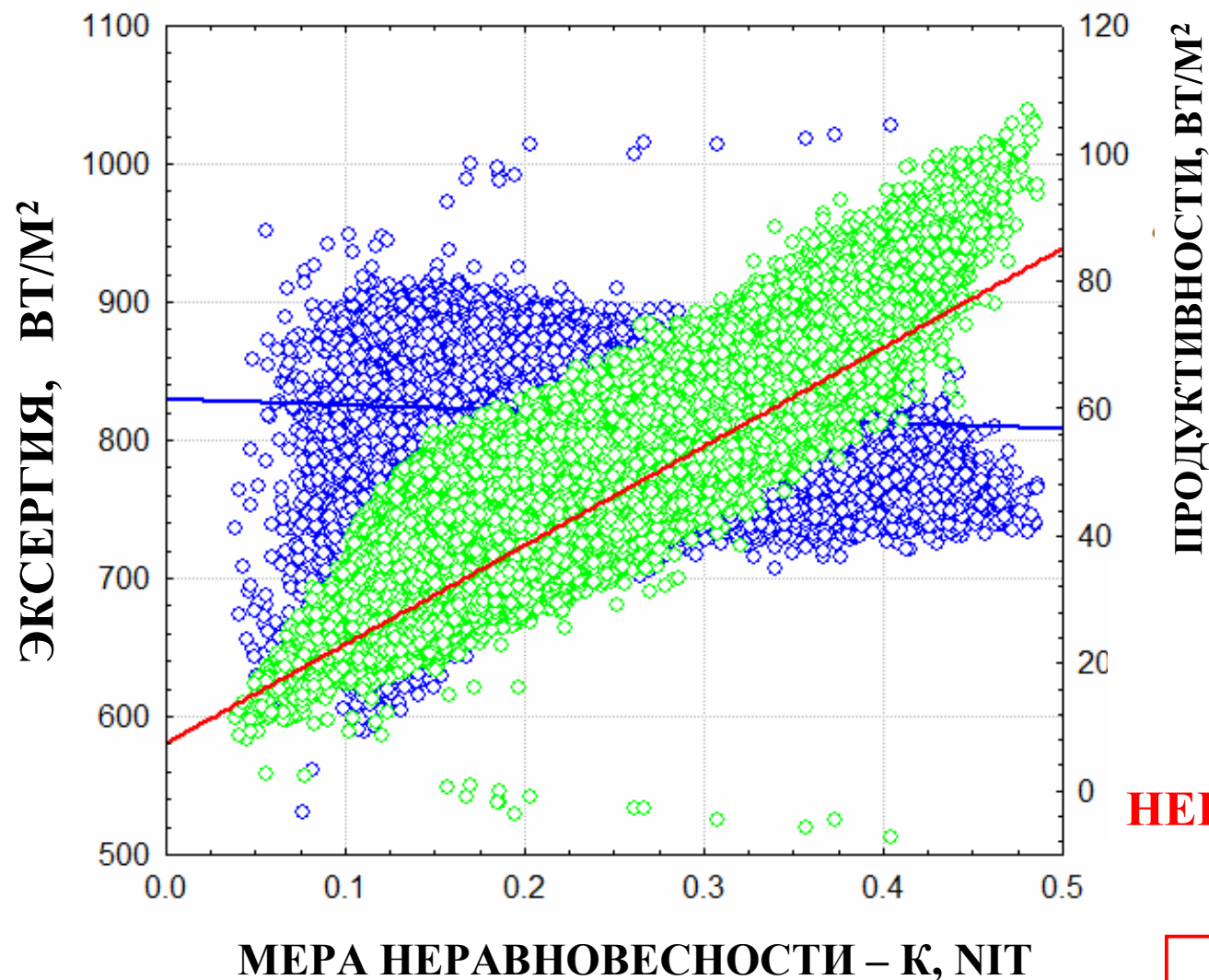
**В целом для сезонов соотношения выполняются:
термодинамические характеристики есть функция
поглощенной энергии и неравновесности**

НЕСООТВЕТСТВИЯ МОДЕЛИ



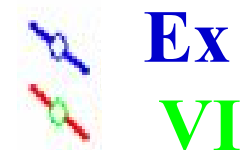
**ПРИНЦИПИАЛЬНО РАЗЛИЧНЫЕ
МЕХАНИЗМЫ
ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ
ДЛЯ ЗИМЫ И ЛЕТА**

НЕСООТВЕТСТВИЯ МОДЕЛИ



$$E_x = 829.42 - 42.54K$$

$$r = -0.08$$



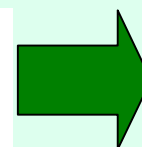
$$VI = 7.53 - 155.16K$$

$$r = 0.88$$

**ВОПРЕКИ
ТЕОРИИ
ЭКСЕРГИЯ
МАЛО СВЯЗАНА С
НЕРАВНОВЕЩНОСТЬЮ**

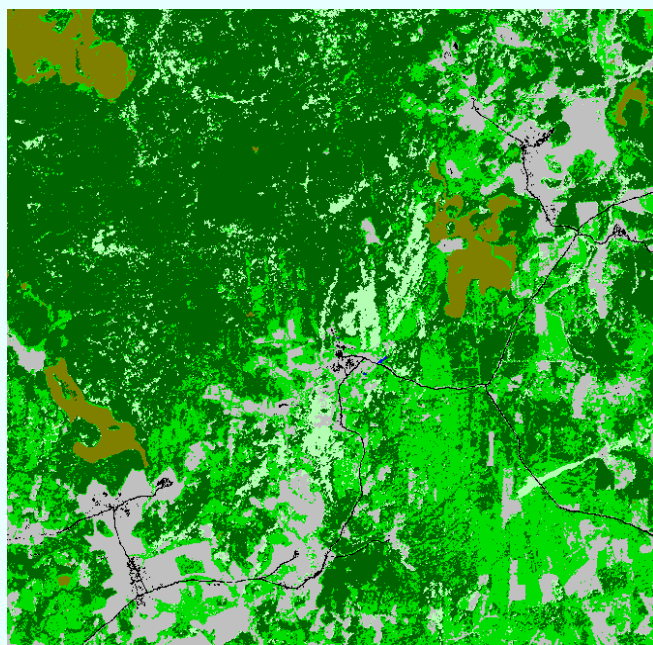


**БИОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ
ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ НЕРАВНОВЕЩНОСТЬЮ**



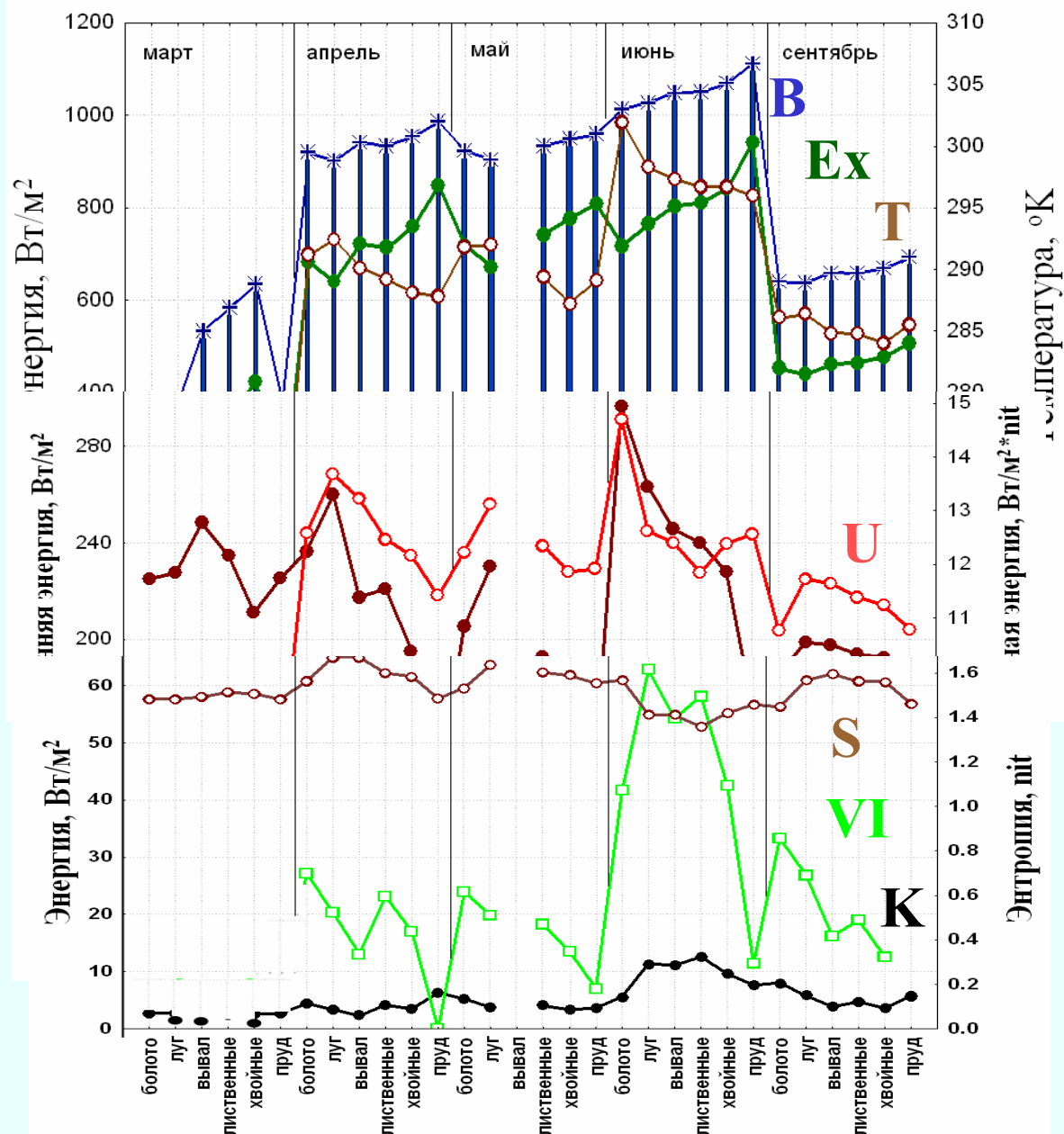
**ЭКСЕРГИЯ
– ЗАТРАТЫ
НА ИСПАРЕНИЕ**

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ ВАРИИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

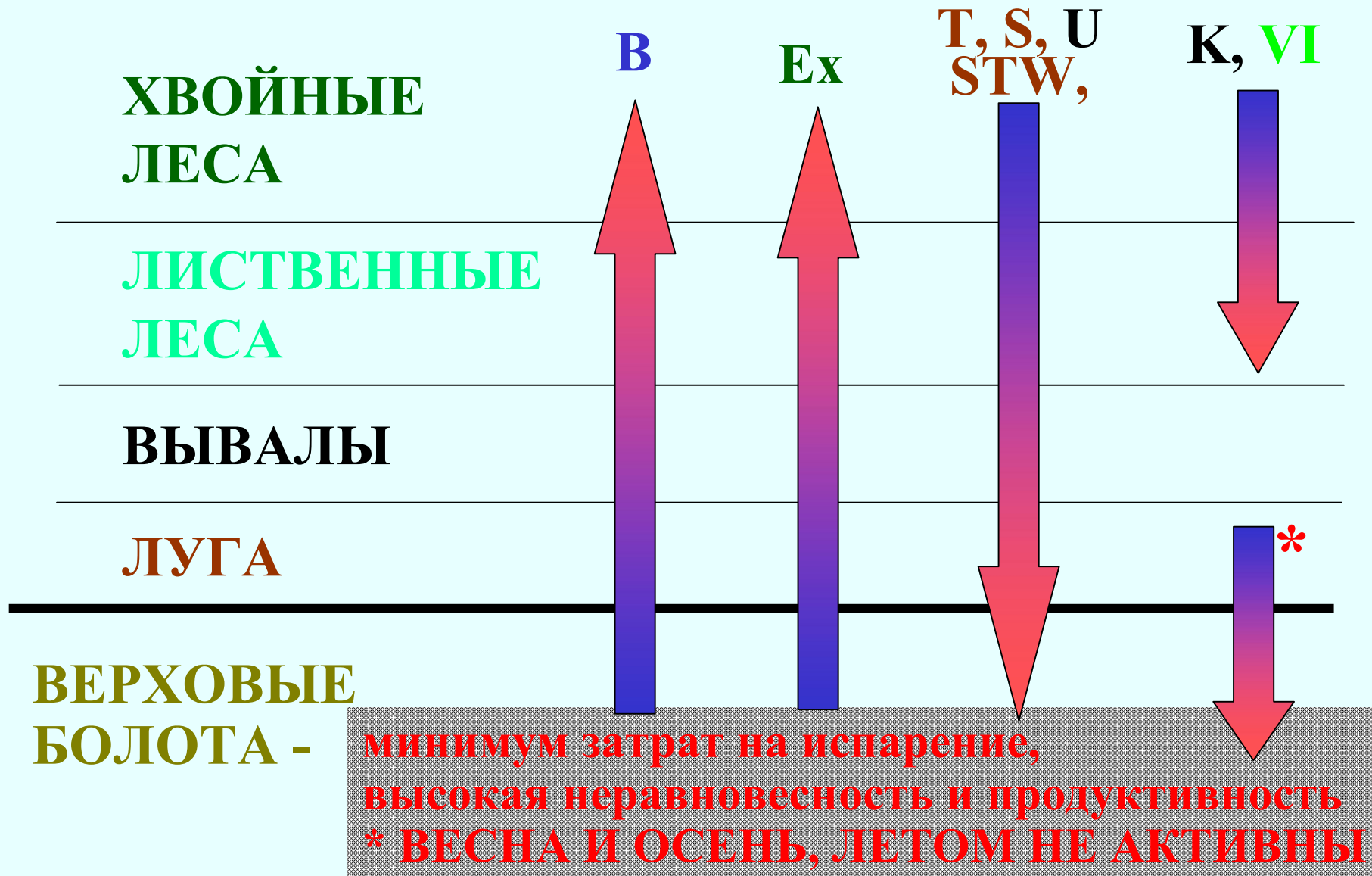


- пруды
- хвойные леса
- лиственные леса
- вывалы
- луга
- верховые болота
- антропогенные объекты

4 км



вегетационный период



ИНВАРИАНТНОСТЬ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ЛАНДШАФТОМ

ИНВАРИАНТ (лат. *invariants* - неизменяющийся), величина, остающаяся неизменяемой при тех или иных преобразованиях

**Общий фактор определяющий преобразование энергии
варьирующий в пространстве, но
неизменный во времени**

- | | |
|------------------|---|
| Аспект 1. | Целевая функция геосистемы - то, на поддержание чего направлена ее работа |
| Аспект 2. | Основа для интерполяции точечных измерений энергетических характеристик |
| Аспект 3. | Основа применения одномоментных измерений со спутников при изучении континуальных процессов функционирования геосистем |

ИНВАРИАНТНОСТЬ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА

Тип геосистем	Мера	Термодинамические переменные							
		B	Ex	TW	STW	U	VI	S	K
Пруды	Конкордация	0.975	0.853	0.875	0.517	0.437	0.231	0.326	0.209
Хвойный лес		0.942	0.961	0.975	0.690	0.871	0.768	0.670	0.607
Лиственный лес		0.901	0.955	0.919	0.608	0.867	0.719	0.649	0.607
Вывалы		0.920	0.949	0.934	0.656	0.936	0.673	0.835	0.812
Луга		0.908	0.902	0.906	0.654	0.747	0.739	0.829	0.818
Болота		0.921	0.820	0.907	0.947	0.977	0.854	0.675	0.651
В целом для территории	Конкордация	0.906	0.939	0.944	0.564	0.786	0.673	0.615	0.570
	Определитель	0.974	0.636	0.854	0.648	0.471	0.723	0.531	0.325
	Нагрузка на первый фактор	0.845	0.537	0.707	0.511	0.462	0.611	0.497	0.398

МАКСИМАЛЬНАЯ
ПОГЛОЩЕННАЯ ЭНЕРГИЯ,
ЭКСЕРГИЯ
ЛЕС
ИНВАРИАНТНОСТЬ
ТЕПЛОВОЙ ПОТОК

**БОЛОТА – ПОДДЕРЖКА ПРОДУКТИВНОСТИ
и внутренней энергии**

ИНВАРИАНТ ПОГЛОЩЕННОЙ ЭНЕРГИИ

большие значения

малые значения

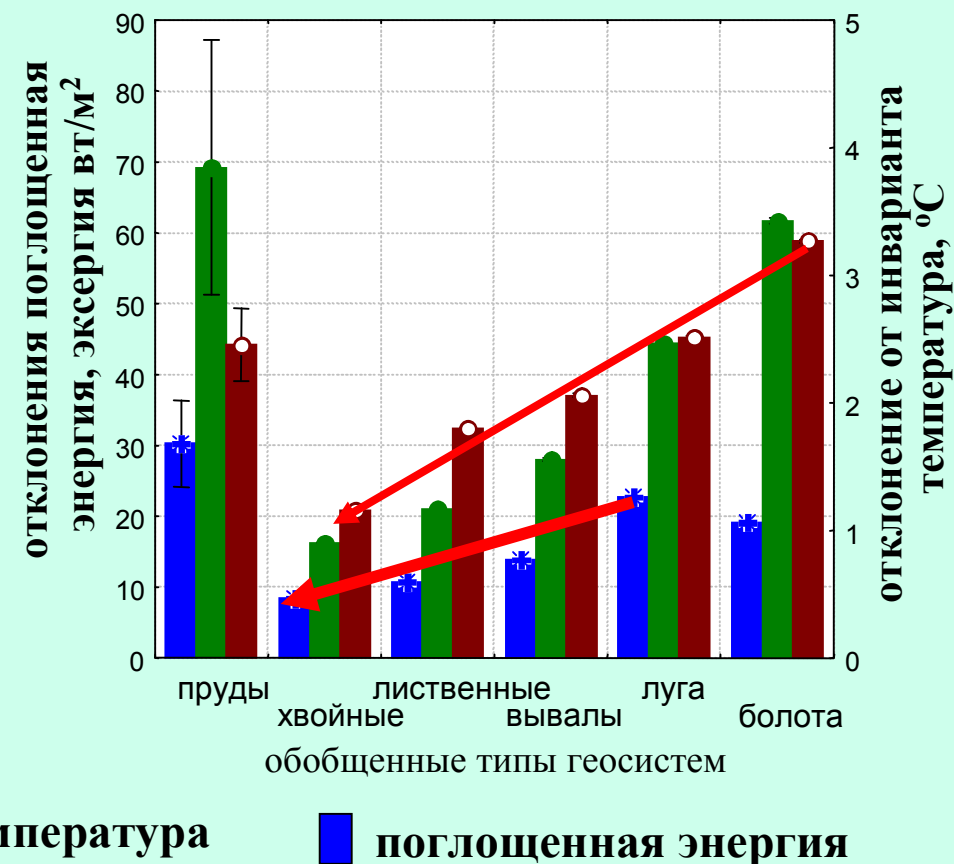
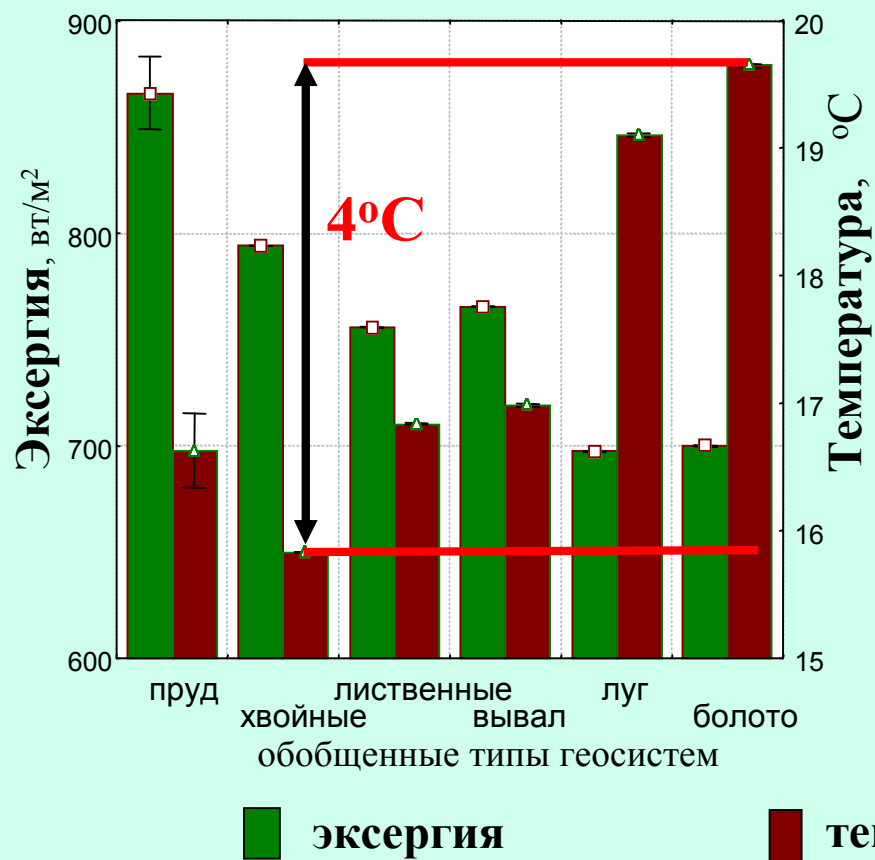


ИНВАРИАНТ



ОТКЛОНЕНИЯ

ИНВАРИАНТ ПОГЛОЩЕННОЙ ЭНЕРГИИ



**СРЕДНИЕ ЗНАЧЕНИЯ ИНВАРИАНТОВ
ДЛЯ ЭКСЕРГИИ И ТЕМПЕРАТУРЫ**

**Обезлесение территории
(антропогенное)
может приводить к увеличению
температуры на 4°C**

**СПОСОБНОСТЬ К
ПОДДЕРЖАНИЮ
ИНВАРИАНТА: B , E_x , T_W**

**Максимальная – леса,
минимальная – луга, болота**

РЕЗУЛЬТАТЫ

ПОКАЗАНО ЧТО:

ЭКСЕРГИЯ – часть поглощенной солнечной энергии идущая на только осуществление круговорота влаги – чисто физического процесса, не связанного с неравновесностью

ПРОИЗВОДСТВО БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ – функция неравновесности преобразования солнечной энергии

В ходе **ЭВОЛЮЦИИ** геосистемы **уменьшают эксергию (испарение), и увеличивают неравновесность (продукцию)**

Функционирование **ВЕРХОВЫХ БОЛОТ** принципиально отлично от луговых и лесных комплексов: ориентированы на приращение внутренней энергии и производство продукции, а не на поддержание круговорота влаги

В Ы В О Д Ы

**ДАННЫЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ
ПОЗВОЛЯЮТ ОЦЕНИТЬ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ
ЭНЕРГИИ ЛАНДШАФТОМ,
несмотря на одномоментность измерений**

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ИНФОРМАЦИОННО-ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО
ПОДХОДА, ИЗМЕРЕННЫЕ ПО ДИСТАНЦИОННОЙ
ИНФОРМАЦИИ ОБЪЕКТИВНО ОТРАЖАЮТ
ТЕКУЩЕЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ
ЛАНДШАФТОМ И СЕЗОННУЮ ДИНАМИКУ ЕГО
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ**