Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр
Российской академии наук»

Состояние, проблемы и перспективы теплового дистанционного мониторинга экологической безопасности

Горный Виктор Иванович

Заведующий лабораторией
Дистанционных методов геоэкологического мониторинга и геоинформатики

Городской семинар
«ИНФОРМАТИКА И АВТОМАТИЗАЦИЯ»

Санкт-Петербург
2026 г.

② Зарождение тепловой аэросъемки в СССР

«Отец» отечественной гражданской тепловой аэросъемки:
Д.г-м.н., проф. лауреат Государственной премии.
Борис Владимирович Шилин (1935 – 2021).



В Лаборатории аэрометодов (ЛАЭМ) АН СССР (Ленинград)
с конца 1960 гг руководил разработкой технических
требований к бортовым тепловизорам и методик их применения
при решении задач охраны окружающей среды и геологии.

Позже ЛАЭМ преобразована во ВНИИКАМ Мингео СССР.

С 1995-2021 гг. Б.В.Шилин работал г.н.с. НИЦЭБ РАН, СПбФИЦ РАН

③

Аналоговый этап – регистрация информации на фотопленку

Первые бортовые ИК-тепловые сканеры

④

Особенности этапа

1. Бортовые тепловизоры с аналоговой системой регистрации сигнала с катодной трубки на фотопленку.

Тепло 4 (ГОИ) – на два фото-пулемета
Тепло М (ГОИ) - на лентопротяжный механизм с фотопленкой.

Темп 3Р (ЦКБ Геофизика» – Включение - одной кнопкой. Сигнал с системы автоматической регулировки уровня для регистрации высокочастотной составляющей регистрировался на фотопленку в лентопротяжном механизме.
Не требовал настройки уровня сигнала в полете.

Вулкан и **Малахит – (Азовский оптико-механический завод) – малая серия**.

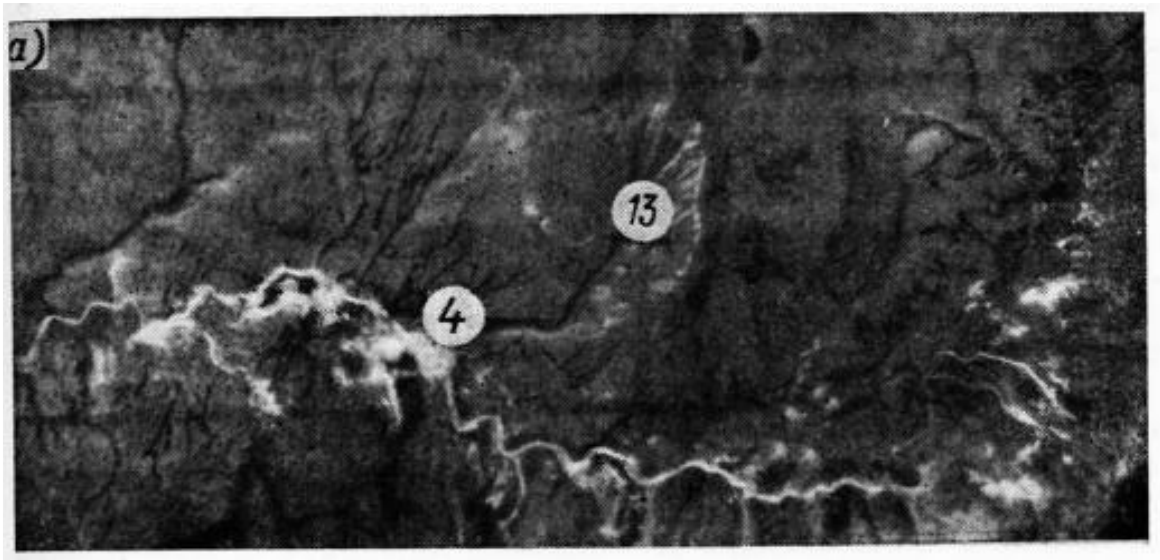
2. Метод анализа результатов:
   - измерительный контроль качества регистрации на фотопленку – денситометрия;
   - тематический анализ – визуальное дешифрирование.

Первый опыт применения тепловой аэросъемки

5

Изучение вулканической активности и гидротермальных полей на п-ове Камчатка, 1973 г.

Тепловой аэроснимок **Долины гейзеров**
Тепловизор Темп-3Р ЦКБ «Геофизика»
Спектральный интервал 3,2 - 5,3 мкм



Контраст температур

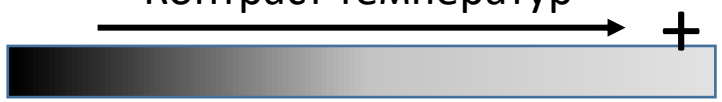
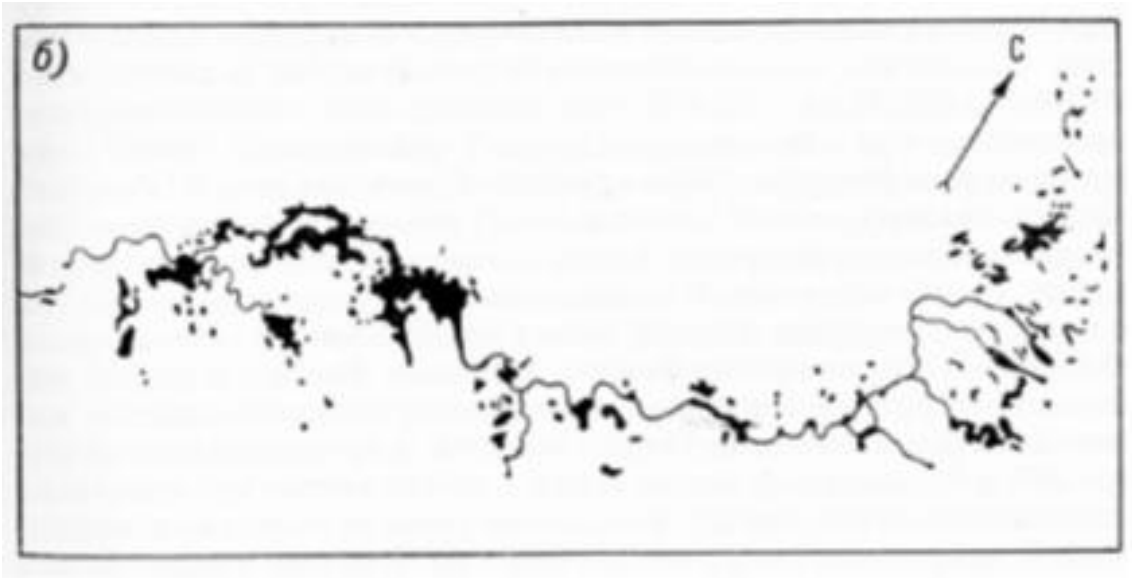


Схема дешифрирования

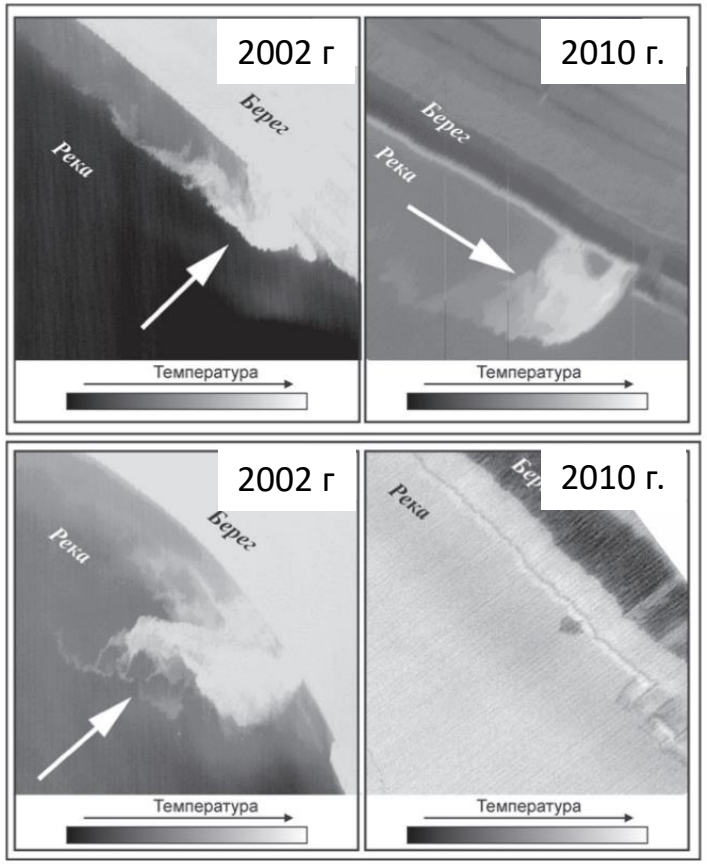


Б.В.Шилин. Тепловая аэросъемка при изучении природных ресурсов. Гидрометиздат. 1980. 246 С.

6

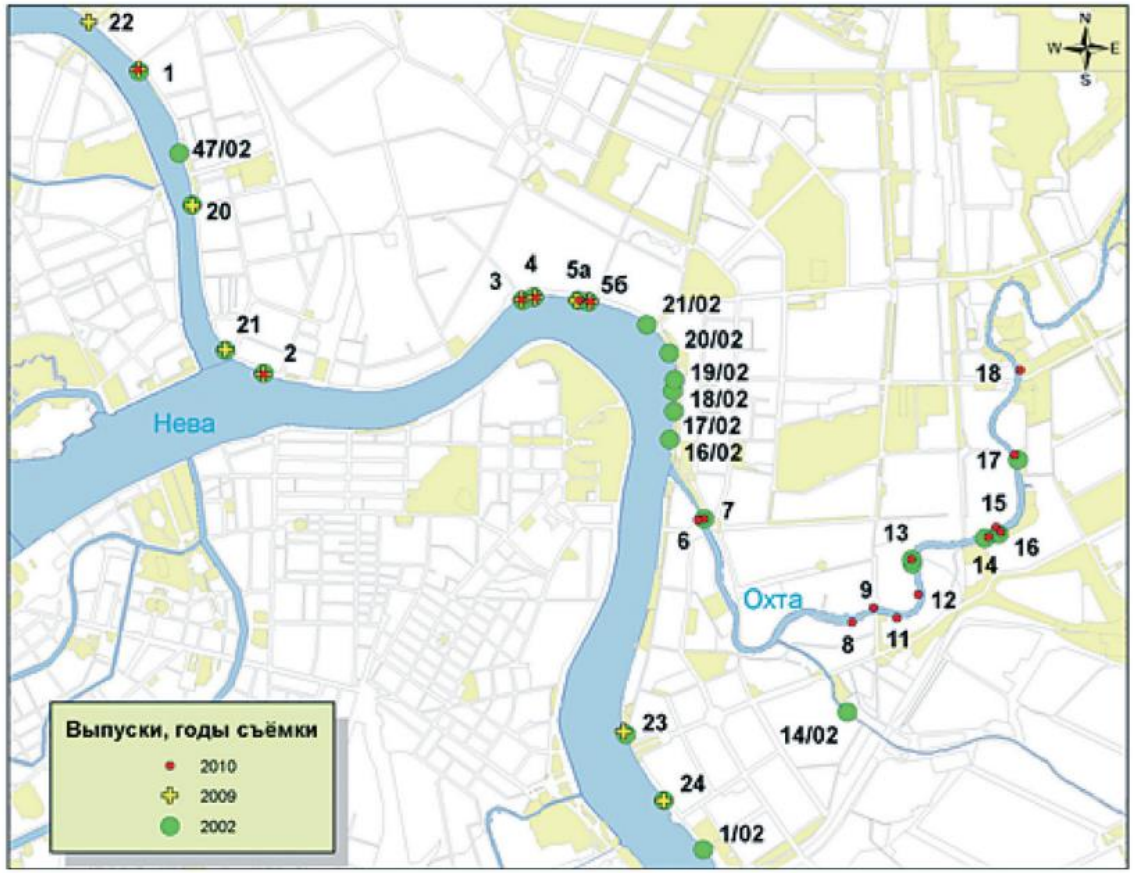
Контроль сбросов бытовых и промышленных вод в реки С-Петербурга

Результаты тепловой аэросъёмки.
Набережная р. Невы у Феодосийской ул.,



Набережная р. Невы у Пискарёвского пр.

Карто-схема выпусков бытовых и промышленных вод в водотоки Санкт-Петербурга (2002, 2009 и 2010 гг.) (по результатам тепловой аэросъемки)



А.А.Тронин, В. И. Горный, В. Н. Груздев, Б. В. Шилин. Многолетние аэрокосмические наблюдения температуры земной поверхности Северо-Западного региона РФ. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. №6. С. 73–96

⑦ Контроль состояния, уточнение планового положения подземных теплосетей

Видимый диапазон



Тепловой аэроснимок

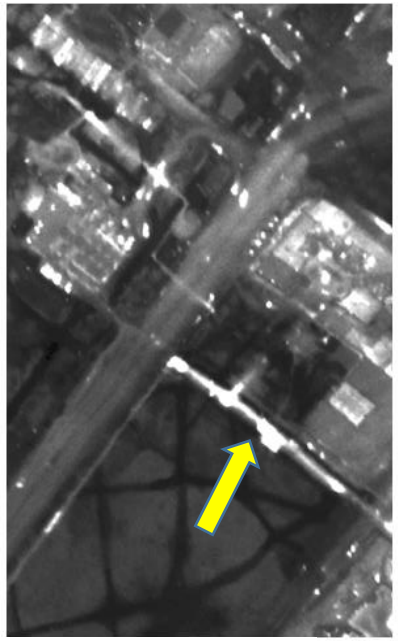
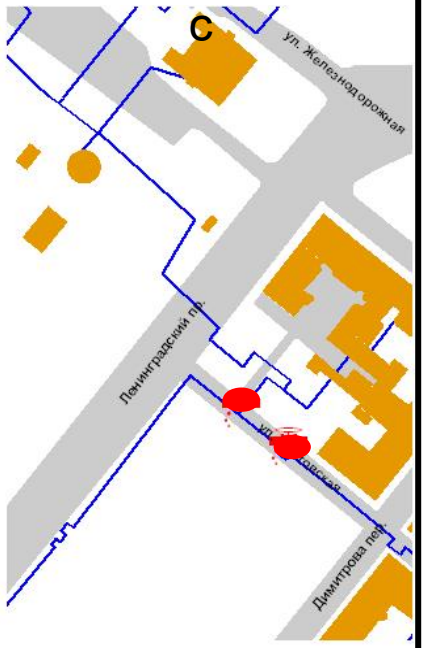
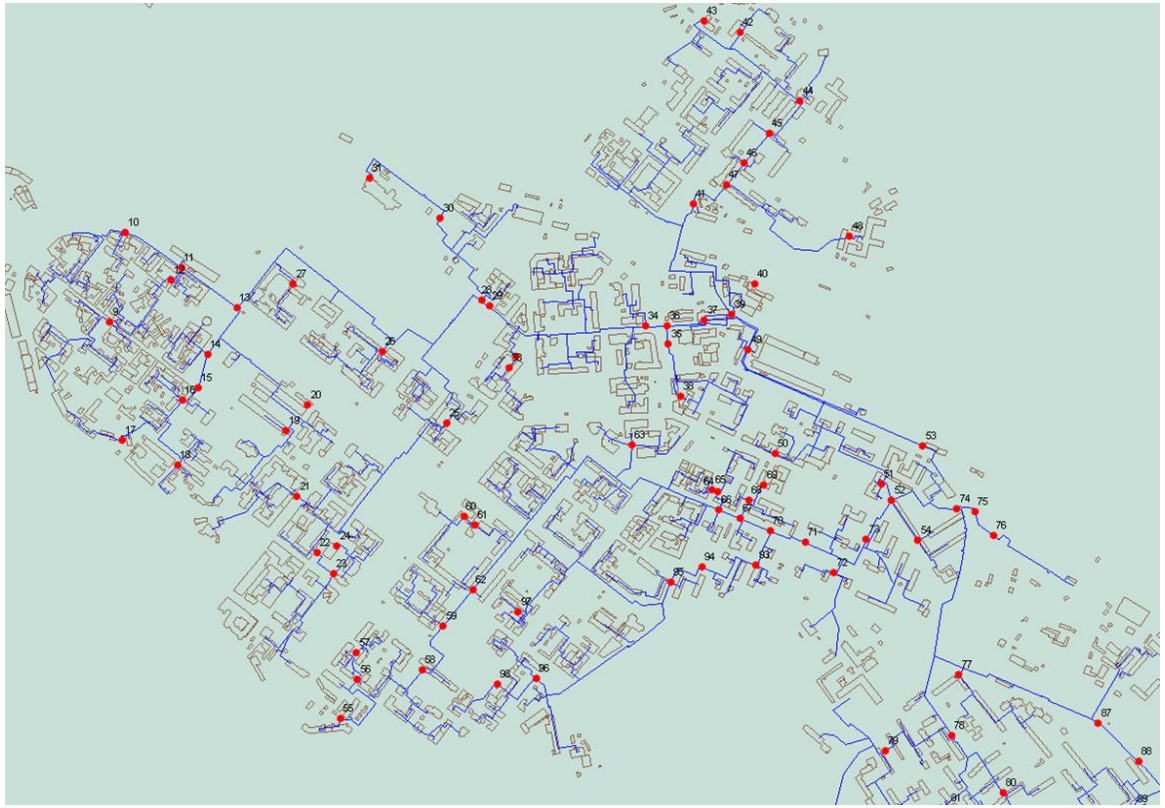


Схема теплотрас



- теплосети.
- застройка.
- аномалии.

Карта-схема тепловых аномалий.
г. Выборг



Комплексирование тепловой аэросъемки с наземной термометрией:

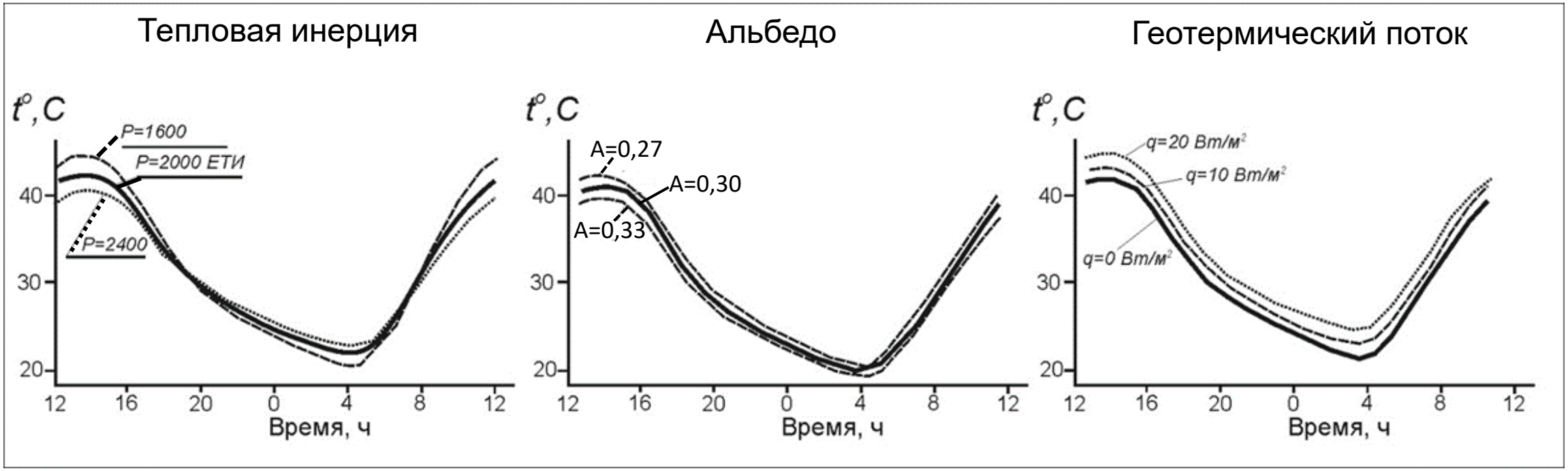
- аэрофотосъемка на фотопленку;
- наземные измерения ртутными термометрами;
- математическая модель формирования температуры подстилающей поверхности.

Модель суточного хода температуры дневной поверхности

9

Верифицирована на Сухих соляных озерах

Влияние вариаций основных температуро-формирующих факторов



Тепловая инерция: $p = \sqrt{\lambda \cdot c \cdot \rho}$

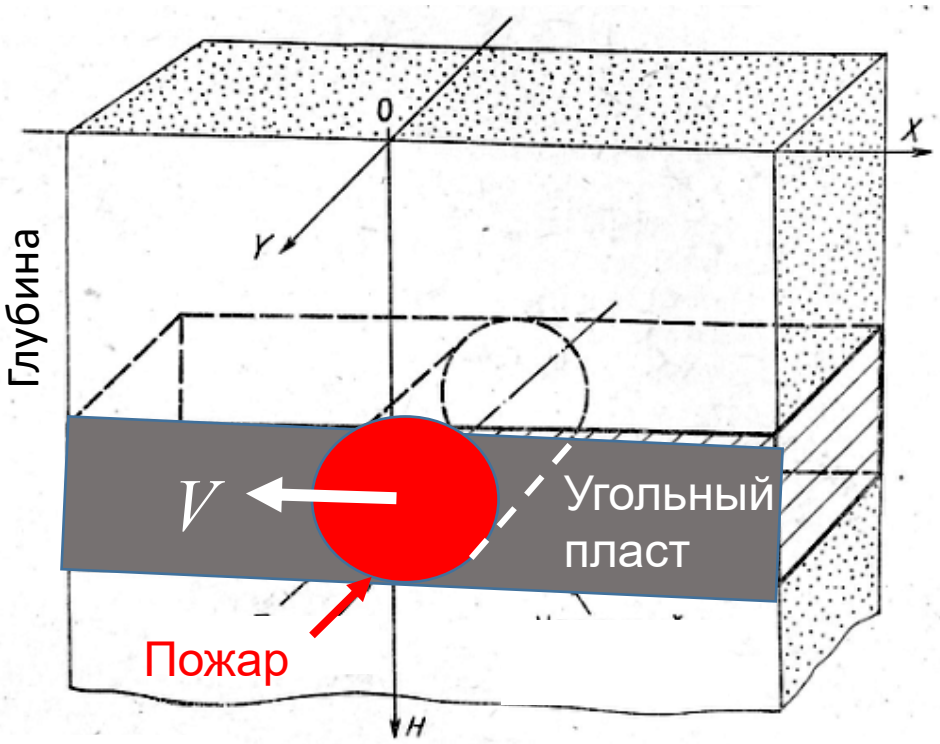
λ - коэффициент теплопроводности, *Вт/(м·К);*

c - удельная теплоемкость, *Дж/(кг·К);*

ρ - плотность, *кг/м³*.

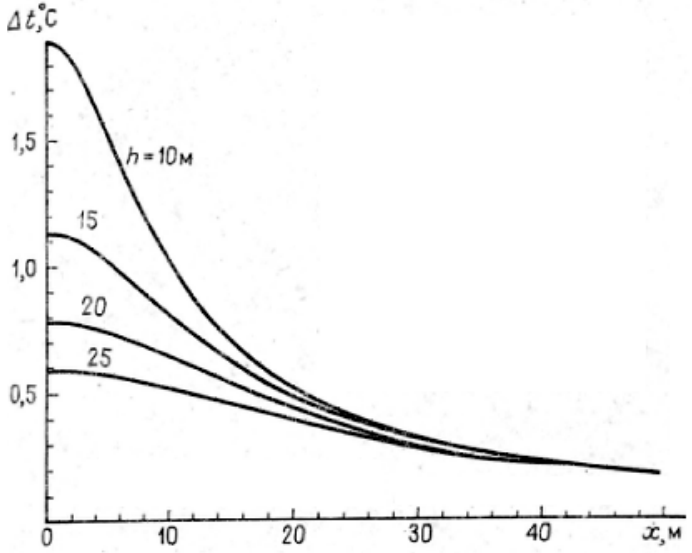
Модель температуры поверхности над погребенным переменным источником тепла

«Горячий» горизонтальный цилиндр

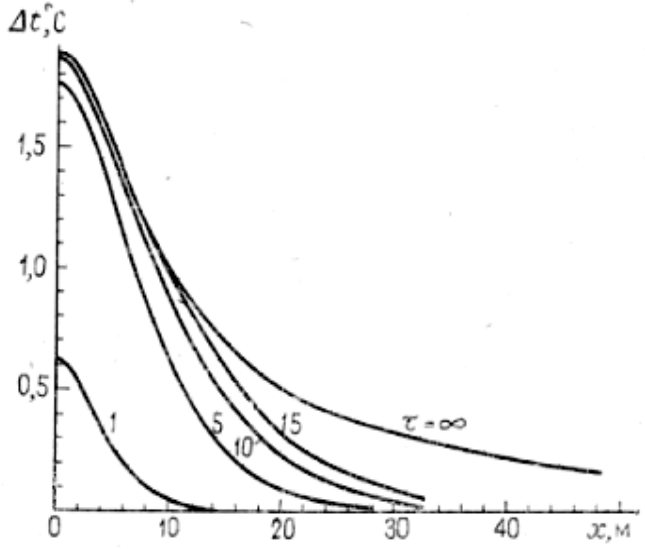


Зависимость температуры поверхности от:

Глубины залегания пожара



Возраста пожара, годы:



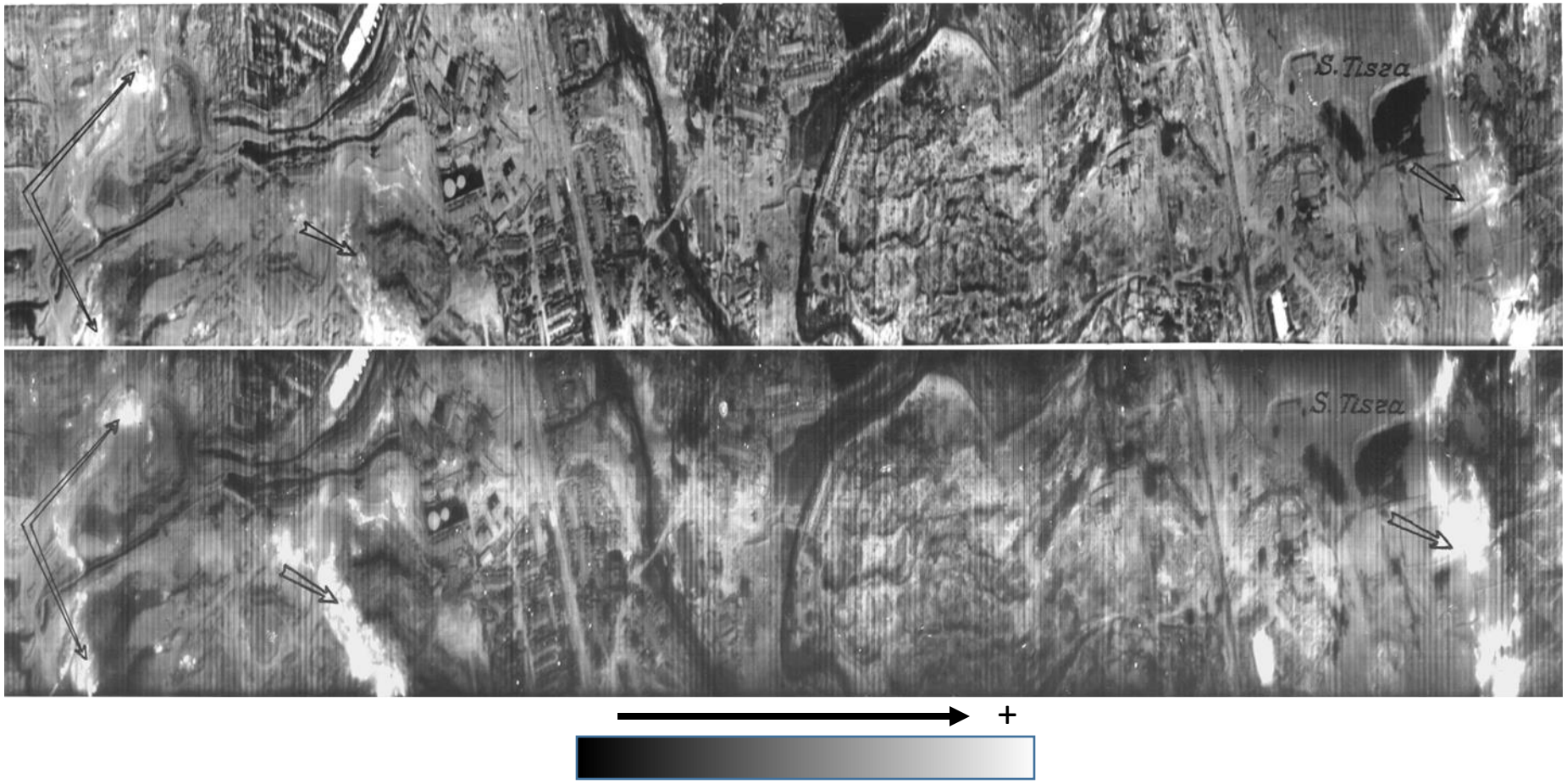
Признак возраста - «острота» аномалии

Модель верифицирована на запожаренном месторождении коксующихся углей в Индии.

Разведка пожаров углей на угольных пластах месторождении Джария (Индия)

11

Тепловые аэроснимки запожаренного блока Мукунда



Спектральный интервал 8 – 13 мкм (вверху) и 3 – 5 мкм,
1986 год, тепловизор «Вулкан» (Азовский ОМЗ)

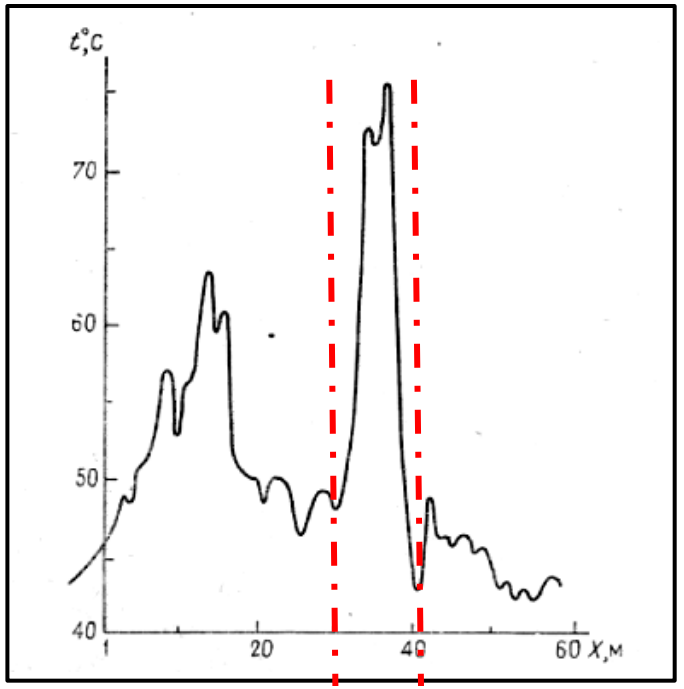
Наземная термометрия

Первое измерение – начало верификации модели

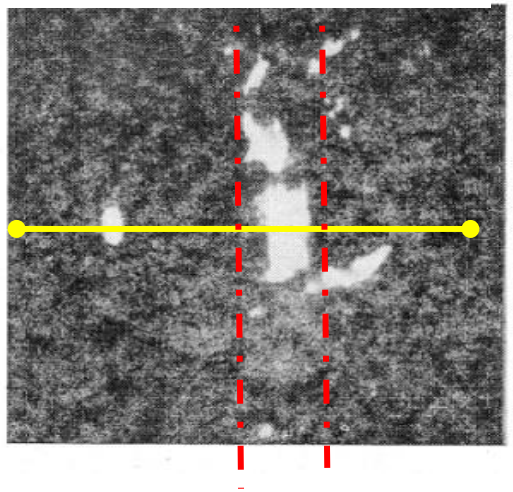


Ртутный термометр

Температурный профиль над подземным пожаром углей



Тепловой аэроснимок



⑬ Результаты разработанной методики комплексного применения тепловой аэросъемки с аналоговой системой регистрации и наземной термометрии

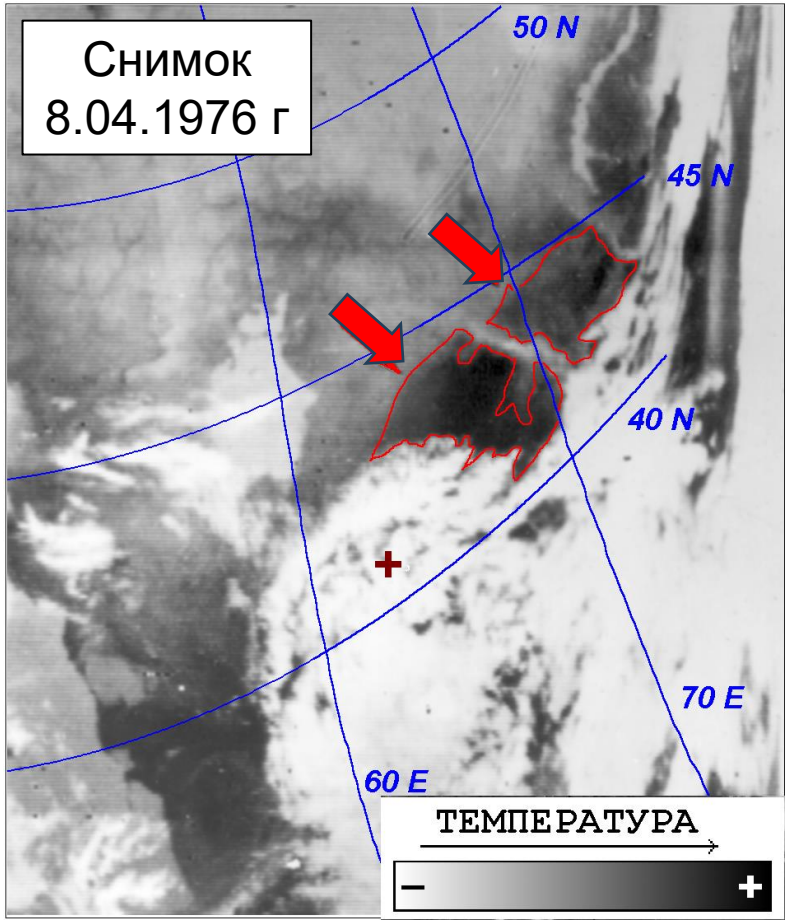
Впервые в мире разработана методика определения параметров пожара на угольных пластах:

- местоположение;
- глубина;
- возраст;
- направление движения;
- ежегодная масса сгораемого угля.

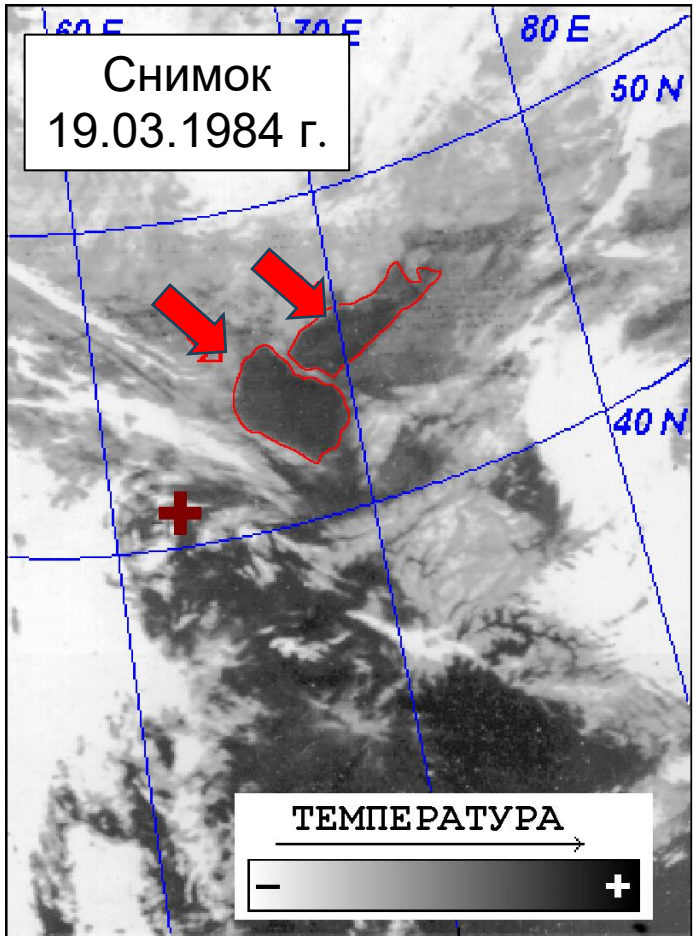
Тепловая космическая съемка цифровыми измерительными системами картирования температуры подстилающей поверхности

⑮ Цифровой измерительный сканер AVHRR спутника NOAA обеспечил ежедневный мониторинг уходящего длинноволнового инфракрасного излучения Земли

Газлийское землетрясение
8. 04.1976 г. (M=7.3).



Газлийское землетрясение
19.03.1984 г. (M=7.2).



Полуколичественный анализ выявил:
Закономерное появление температурных аномалий перед крупными землетрясениями

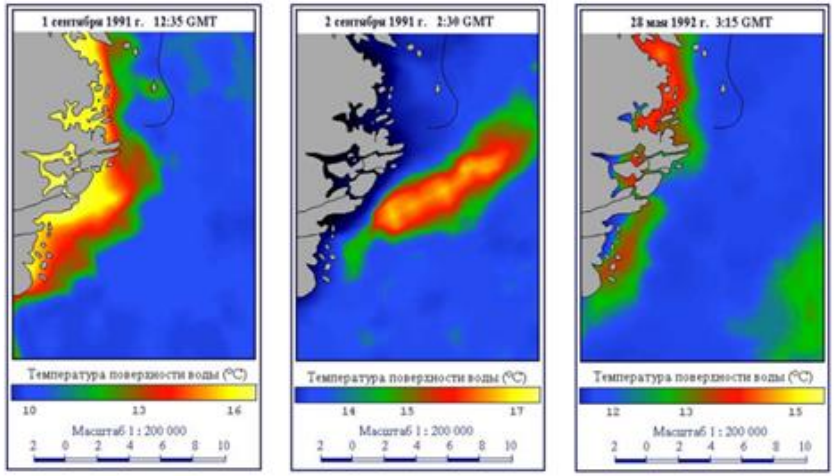
Первая в мире публикация по применению космической съемки для изучения геодинамики:

В. И. Горный, А. Г. Сальман, А. А. Тронин, Б. В. Шилин, Уходящее инфракрасное излучение Земли – индикатор сейсмической активности, Докл. АН СССР, 301:1 (1988), 67–69

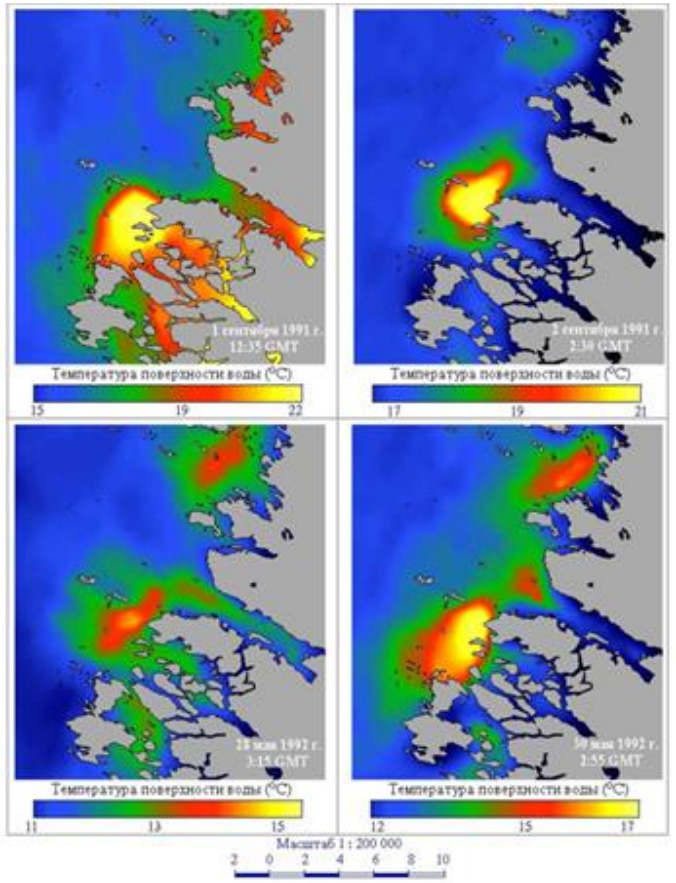
Измерительный подход

Вклад вод охладителей атомных электростанций в тепловой баланс Балтийского моря

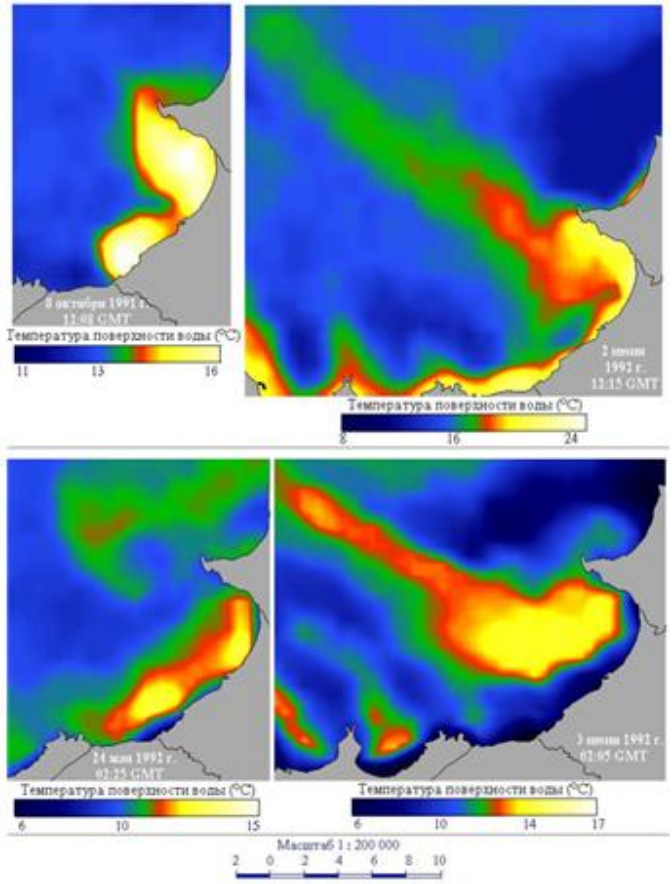
АЭС Oskarshamn (Швеция)



АЭС Olkilluotto (Финляндия)



Ленинградская АЭС



Вклад вод гидроохладителей АЭС и рек в тепловой баланс Балтийского моря

Шлейф	Дата	Время (Гринвич)	Площадь шлейфа км^2	Тепловые потери, МВт
Россия				
ЛАЭС	24.05.1992	2:25	43	920
река Луга			87	1000
река Нарва			160	2000
Швеция				
АЭС Форсмарк	02.09.1991	2:30	27,2	1300
река Дальэльвен			44,6	275
Финляндия				
АЭС Олькилуотто	28.05.1992	3:15	7,9	54
Зал. Бредвик	30.05.1992	2:55	7,0	98
Финляндия				
АЭС Ловисса	03.06.1992	2:05	21,4	270
река Кюмин Йоки			56	240

Gornyĭ V.I., Kritsuk S.G., Latypov I.Sh., Tronin A.A., Shilin B.V. ESTIMATING THE HEAT LOSSES OF NUCLEAR POWER STATIONS FROM SPACE-BASED THERMAL IMAGING DATA. Journal of Optical Technology. 1999. Т. 66. № 8. С. 676-681.

Gorny V.I., Kritsuk S.G., Latypov I.Sh., Tronin A.A., Shilin B.V. ESTIMATION OF NUCLEAR POWER PLANTS INFLUENCE ON THE BALTIC SEA THERMAL STATE BY USING INFRARED THERMAL SATELLITE DATA. International Journal of Remote Sensing. 2000. Т. 21. № 12. С. 2479-2496.

Миссия зонда «Фобос-2» 01 и 26 марта 1989 г.



д.т.н., проф., лауреат Ленинской и Государственной премий
Арнольд Сергеевич Селиванов – впервые получивший изображение обратной стороны Луны.

– главный конструктор измерительной системы «Термоскан» для съемки поверхности Марса в видимом и тепловом диапазонах спектра.

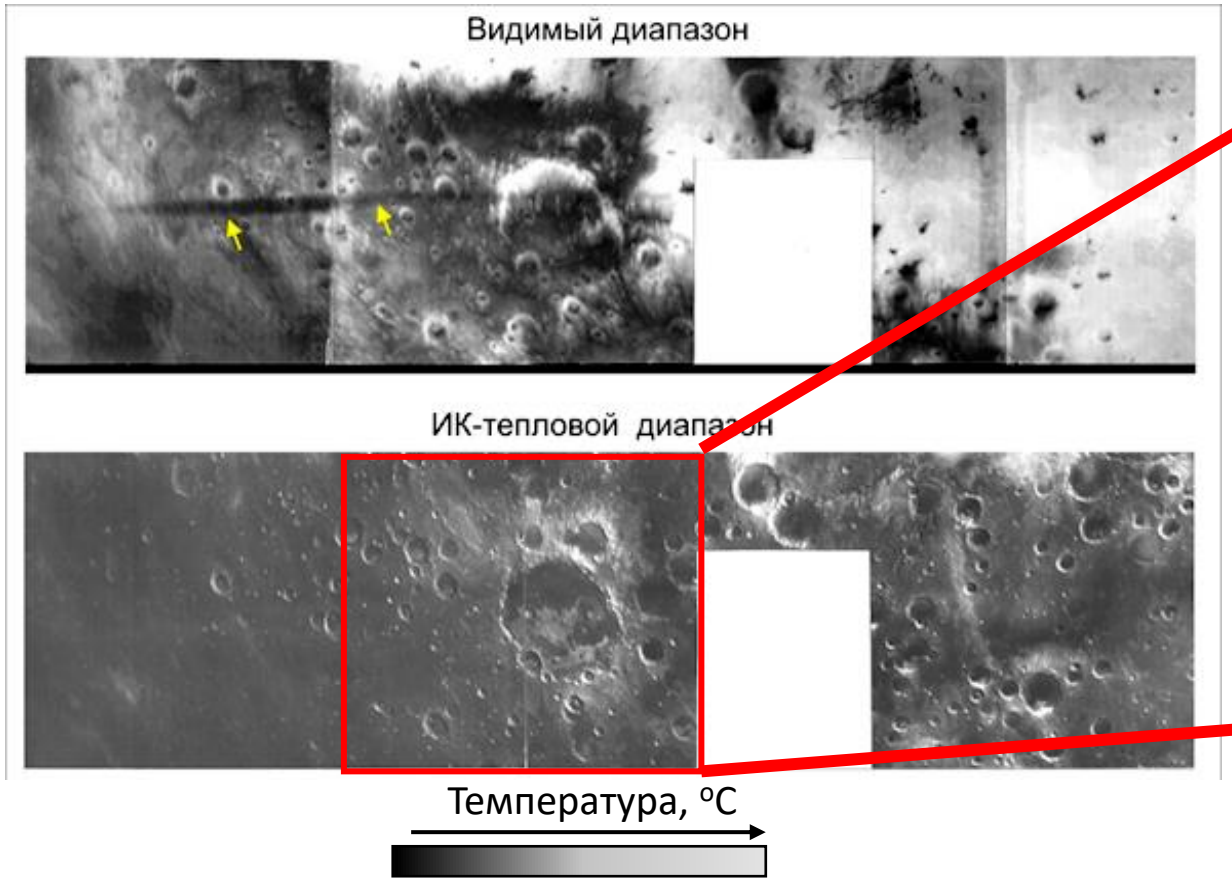
Научные задачи тепловой космической съемки Марса
(Шилин Б.В., Горный В.И., Тронин А.А.)

- сравнительный анализ изображений видимого и ИК-теплового каналов «Термоскана»;
- впервые составить температурную карту поверхности Марса с разрешением 1,8 км;
- изучить дневную и сезонную динамику температур поверхности Марса;
- построить карту тепловой инерции поверхности Марса с пространчственным разрешением 1,8 км;
- выявить признаки: - участков повышенной влажности; - эндогенного подогрева поверхности.

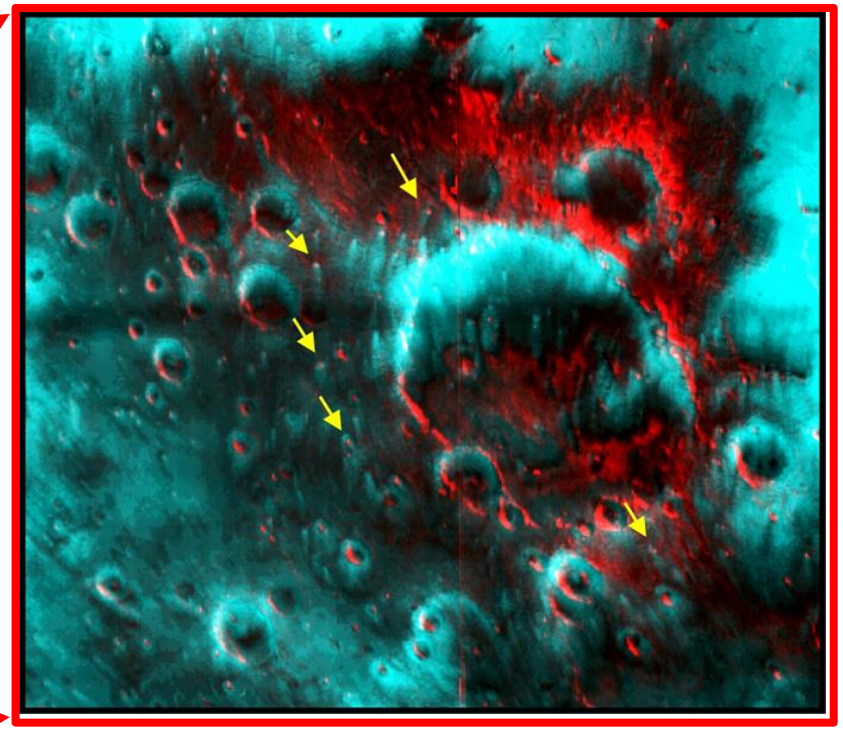
Эксперимент «Фобос» - Измерительная тепловая съемка Марса

1989 г. - впервые с пространственным разрешением 1,8 км выполнена космическая съемка Марса в видимом и ИК-тепловом диапазонах спектра ЭМВ.

Изображения экваториальной зоны Марса, полученные «Термосканом»



Фрагмент в RGB-представлении:
Красный – тепловой канал;
Лазоревый - видимый канал

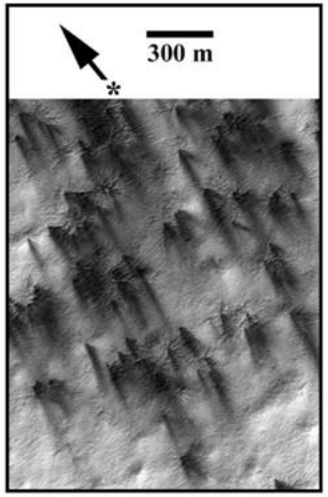


Впервые выдвинута гипотеза: шлейфы – плюмы тающей углекислоты.

A. S. Selivanov, M. K. Naraeva, V. I. Gorny, V. I. Kolesnikov, B. V. Shilin, A. A. Tronin. Preliminary information resulting from analysis of satellite thermal data of the surface of Mars surveyor within the framework of the Fobos experiment. Int. J. of Remote Sens., V. 13, Issue 18, 1992. pp. 3391-3393.

Дальнейшее развитие гипотезы

Снимок высокого разрешения полярной шапки Марса (по: Greg Orme)



Модель формирования газово-пылевых гейзеров в полярных областях Марса (по: Sylvain Piqueux)

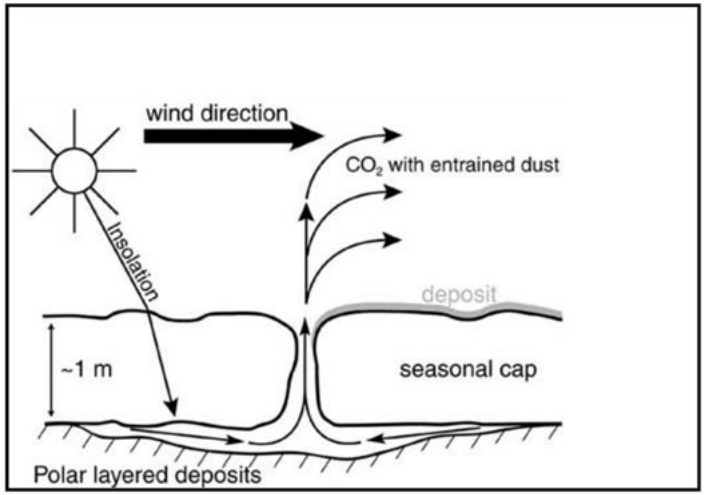
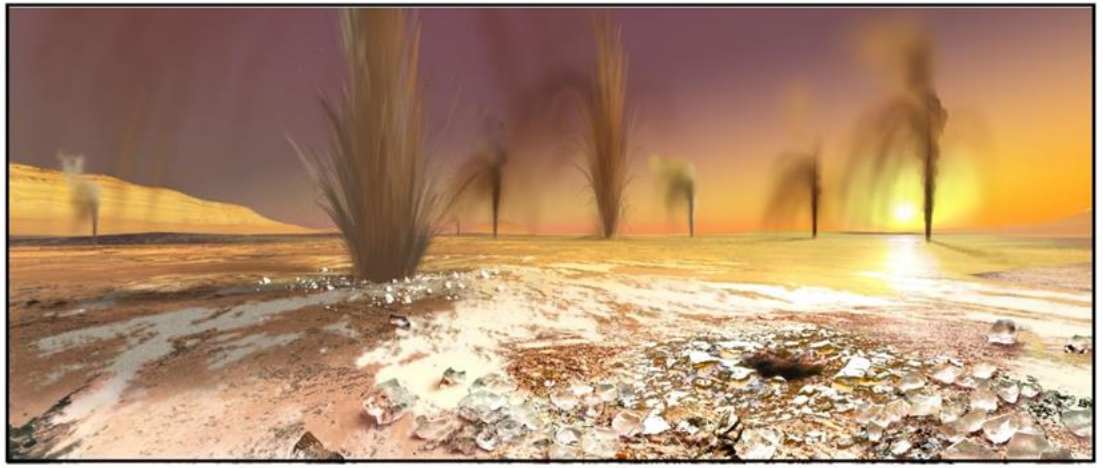
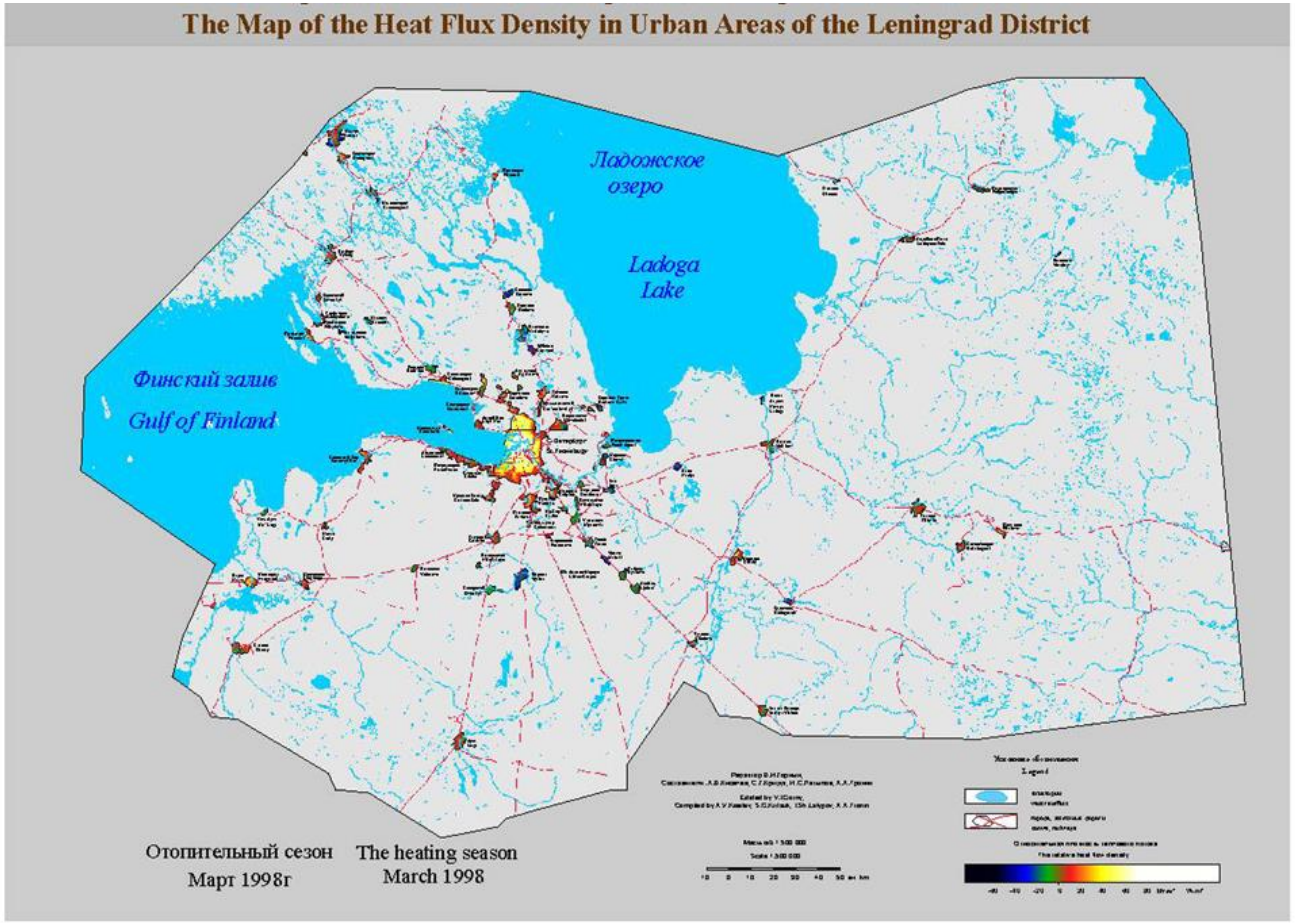


Иллюстрация Рона Миллера (Ron Miller), NASA гипотезы о газово-пылевых гейзерах, возникающих весной в полярных областях Марса



Теплопотери городов Ленобласти, 1998 г

Карта теплопотерь городов
(по результатам съемки спутником NOAA(AVHRR)



Теплопотери оказались выше чем данные топливно-энергетического баланса Ленобласти на величину ~ соответствующую теплотворной способности потребляемых областью нефтепродуктов.

Карта деградации площади лесов Ленобласти по результатам повторной космической съемки показала: - леса вокруг населенных пунктов деградируют.

Вывод: несанкционированная заготовка дров вблизи населенных пунктов.

Результат: Правительство Ленобласти сформировало легальную систему бизнеса для обеспечения населения дровами.

Проект поддержан фондом John D. and Catherine T. MacArthur Foundation