

Применение данных дистанционного зондирования при исследовании инфракрасного излучения земной поверхности в областях интенсивного движения блоков литосферы Центрально-Азиатского складчатого пояса

Н.В. Вилор¹, Н.А. Абушенко², С.А. Тащилин², А.В. Ключевский³, В.М. Демьянович³

¹*Институт геохимии СО РАН
664033, Иркутск, Фаворского, 1а
E-mail: vilor@igc.irk.ru*

²*Институт солнечно-земной физики СО РАН
664033, Иркутск, Лермонтова, 126
E-mail: nick1@iszf.irk.ru*

³*Институт земной коры СО РАН,
664033, Иркутск, Лермонтова, 128
E-mail: akluhev@crust.irk.ru*

Создан мультитременный усредненный имидж ночных осенне-зимних изображений из архива ЦКМ ИСЗФ СО РАН за 2000 - 2005 годы по 291 сцене, полученной со спутников серии NOAA и TERRA от орбитальных радиометров AVHRR и приборов MODIS при ночных съемках с сентября по март месяцы. По сетке 1 град x 1 град измерен поток уходящего ИК – излучения с повышенными интенсивностями на элементах геологической структуры поверхности, на разломах, ограничивающих впадины БРЗ, по краевому шву Сибирской платформы.

С применением комплекса специальных программ на основании банка сейсмологических данных за 1966 – 2002 гг по такой же сетке, 1 град x 1 град, определены сейсмологические параметры: сейсмический момент землетрясений M_0 , коэффициенты деформации b и параметр трещиноватости среды (проницаемость) d . Рассчитана парная и множественная корреляция усредненной интенсивности уходящего поверхностного ИК потока, экспонирующего сейсмоактивные разломы и границы крупных структурно-тектонических комплексов, с перечисленными сейсмологическими, геофизическими параметрами для центров квадратов данной сети по площади БРЗ и краевого шва Сибирской платформы на ее южном обрамлении. Показаны существенные различия зависимости между значениями ИК потока и показателем региональной трещиноватости – проницаемости d в сейсмоактивной области БРЗ с одной стороны и в пассивном краевом шве – с другой. Иногда наблюдаемая сближенность ИК яркостных аномалий и максимумов лесной растительной продуктивности - индекса NDVI, по-видимому, объясняется экологизацией эффектов эндо-энергетики. Противоположные тенденции уравнений корреляции геофизических параметров в сосуществующих платформенных и рифтовых структурных комплексах связаны с различиями свойств геологической среды и, возможно, с генезисом теплопотока в субстрате излучающего слоя. Делается вывод, что единственным наиболее значимым фактором, формирующим уходящий ИК - поток, является собственное излучение земной поверхности в тепловом диапазоне, а элементы ее структуры и состав определяют распределение его интенсивности при несомненном влиянии конвективной составляющей.

Введение

При дистанционных исследованиях поверхности Земли с помощью искусственных спутников серий NOAA и TERRA в областях с высокой сейсмической активностью обнаружено повышенное инфракрасное (ИК) излучение региональных разломов и линеаментов как на северной границе Центрально-Азиатского складчатого пояса (ЦАСП), в пределах Байкальской рифтовой зоны (БРЗ), так и в его внутренних частях по периферии Таримского континентального блока. Разломы дешифрируются на спутниковых изображениях, полученных в видимом спектре. Они выделяются и на изображениях в инфракрасном спектре в диапазонах 3.7, 10.8-11 мкм, получаемых по технологии AVHRR, благодаря повышенному уровню уходящего излучения [1]. Содержанием данной работы является продолжение изучения ИК потока зон линеаментов и крупных региональных разломов на территории Восточной Сибири и в приграничной части северной Монголии для ус-

тановления корреляций яркостных характеристик аномального ИК излучения с геофизическими параметрами. Для определения сопоставительных характеристик привлекается показатели энергии сейсмического процесса, получаемых сейсмологическими методами. Наиболее вероятный положительный результат исследований предполагался в установлении корреляционных связей между сейсмологическими характеристиками активных разломов в геологической структуре Байкальской рифтовой зоны (БРЗ) и собственным уходящим инфракрасным излучением Земли, наблюдаемым с орбитальных искусственных спутников (серии NOAA и TERRA) и при описании их в виде уравнений корреляции и соответствующих графиков.

Основная априорная предпосылка основана на допущении о пропорциональности интенсивностей эмиссии ИК излучения и свойств излучающих субстратов. Уходящий от поверхности поток ($\mathbf{B}_{\text{пов}}$) при постоянстве толщины излучающего слоя пропорционален теплопроводности и приращению температуры:

$$\mathbf{B}_{\text{пов}} = \lambda \cdot \delta T / \delta \zeta \quad (3),$$

где λ – теплопроводность, $\delta T / \delta \zeta$ – вертикальный градиент температуры поверхности [2]. Измеряемая спектральная плотность излучения ($\mathbf{R} \equiv \mathbf{B}_{\text{пов}}$) является функцией теплопроводности (теплофизических свойств) и температуры, устанавливаемой потоком тепла к поверхности. Сильно усредненная плотность поверхностного теплового излучения, равная 0.06 Вт/м^2 , значительно меньше потока солнечной радиации, изменяющегося в зависимости от угла встречи и экспозиции склона от 0.14 до 1.5 кВт/м^2 . Дистанционные наблюдения и измерения уходящего собственного поверхностного ИК – потока возможны только при продолжительном ночном времени в сезоны низкой солнечной активности. Это конец осени – зима. При зимних наблюдениях, в гумидной климатической зоне имеет место отрицательный баланс энергопотерь через однородно излучающий снежный покров. Поэтому появление положительных приращений яркостной температуры связывается с пространственно локализованным теплотоком из коры к поверхности.

Методика

Статистически представительная картина распределения интенсивности уходящего ИК потока получена благодаря использованию мультитременного усредненного имиджа ночных осенне-зимних изображений территории, хранящихся в архиве ЦКМ ИСЗФ СО РАН за 2000 - 2005 годы по сценам, полученным со спутников серии NOAA и TERRA от орбитального радиометра AVHRR и прибора MODIS. Величины потока с повышенными интенсивностями измерены на элементах геологической структуры поверхности, на разломах, ограничивающих впадины БРЗ, по краевому шву Сибирской платформы по сетке $1 \text{ град} \times 1 \text{ град}$ из расчета не менее 4 точек на каждую ячейку. С использованием комплекса специальных программ на основании банка сейсмологических данных за 1966 – 2002 гг по этой же сетке, $1 \text{ град} \times 1 \text{ град}$, рассчитаны такие сейсмологические параметры как: сейсмический момент землетрясений M_0 , коэффициенты деформации b и параметр трещиноватости среды (проницаемость) d [3]. При расчете параметров сейсмоактивности привлечен математический аппарат трещинной модели Бруна [4]. На основе матрицы, включающей, кроме данных, показателей число землетрясений заданного энергетического класса (с 7 по 9) и измеренные величины ИК потока вычислена их парная и множественная корреляция для центров ячеек выделенной сети по площади БРЗ и краевого шва Сибирской платформы на ее южном обрамлении.

Распределение интенсивности ИК излучения элементов структуры поверхности и ее корреляции с геофизическими параметрами

Измерения интенсивности потока уходящего ИК излучения проведены на основе сводной карты-имиджа, созданной на территорию юга Восточной Сибири от 97° до 107° восточной долготы и от 53° до 57° северной широты, включающий всю Байкальскую рифтовую зону от Чарской

впадины на востоке до Бусингольской – на западе и краевой шов Сибирской платформы. Имидж получен путем усреднения следующего объема информации:

годы	2000-2005
месяцы	сентябрь – март
время съемки	от 18-33 до 20-36 по Гринвичу
	от 2 – 33 до 4 -36 по местному временному поясу
спутники	16, 18
канал съемки	10 (10 мкм)
общее количество сцен	291

На данном имидже, разделенном на ячейки по сетке 1 град x 1 град, измерен уходящий поток собственного ИК – излучения земной поверхности в точках с его наибольшей интенсивностью. Плотность измерений равна 4-5 точкам на каждую ячейку (рис.1).

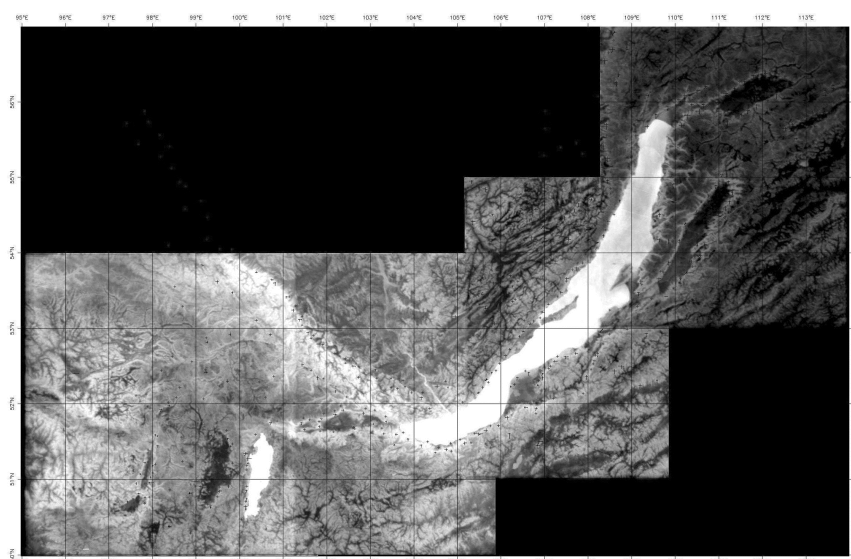
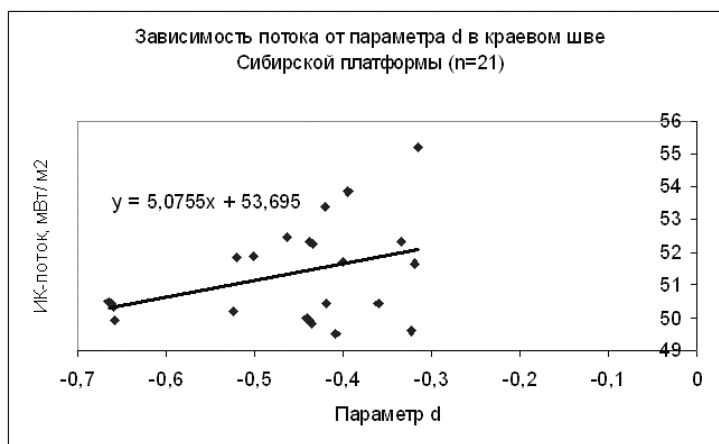


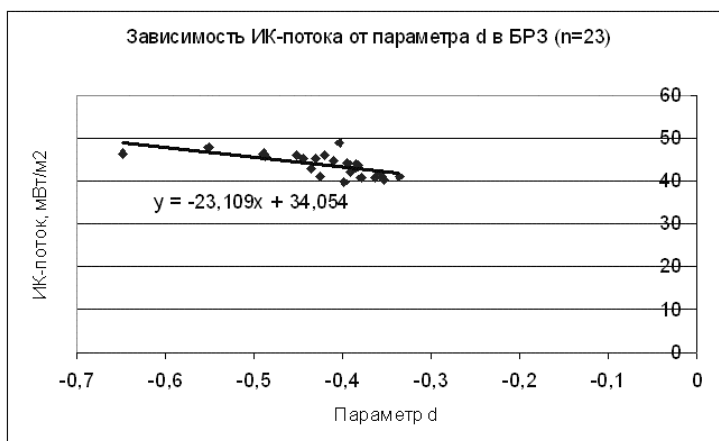
Рис. 1. Карта-имидж распределения потока уходящего поверхностного ИК излучения на оз. Байкал и БРЗ. Цветовой ряд в сторону усиления белого соответствует увеличению интенсивности потока

Связь аномального распределения уходящего ИК поверхностного излучения с собственными энергетическими потерями планеты на некоторых геологических элементах структуры поверхности рассматривается путем установления его корреляций с параметрами сейсмического процесса - рифтогенеза как главнейшего фактора, определяющего структуру БРЗ. Привлечен пример плотного роя землетрясений на ее западной окраине вдоль Бусингол-Белинского разлома - ББР и серии развивающихся депрессий от оз. Хубсугул до Бусингольской системы. Основными параметрами, коррелируемыми с интенсивностью ИК-излучения, являются сейсмический момент землетрясений $M_0 = \mu \cdot S \cdot D$, где μ – коэффициент трения, жесткость среды, S – площадь дислокации, D – смещение вдоль дислокации (Ключевский и др., 2005)[3], число землетрясений, показатель b и фактор d , характеризующие деструкцию геологической среды. Эти сейсмологические константы по своей интегральной природе сопоставимы со спектрально-яркостными характеристиками собственного ИК-излучения поверхности деформированной верхней коры. Первичные фактические материалы взяты из отчетов «Бюллетень землетрясений Прибайкалья» и «Каталог землетрясений Прибайкалья» за 1964 – 2002 г.

Для установления корреляции измеренного ИК – потока с сейсмическими параметрами использованы следующие рассчитанные геофизические величины: сейсмический момент для двух энергетических классов 7 и 8, d – показатель региональной трещиноватости (проницаемости), b – показатель уровня деформации и число землетрясений 7, 8 энергетического класса. Совместно с измеренными значениями потока они включены в матрицу для расчета уравнения множественной корреляции. Наиболее отчетливо проявляются парные корреляции величины уходящего ИК потока с приведенными геофизическими, сейсмологическими параметрами - сейсмическим моментом землетрясений – M_0 и показателем региональной трещиноватости, проницаемости – d (рис. 2 А, Б).



А



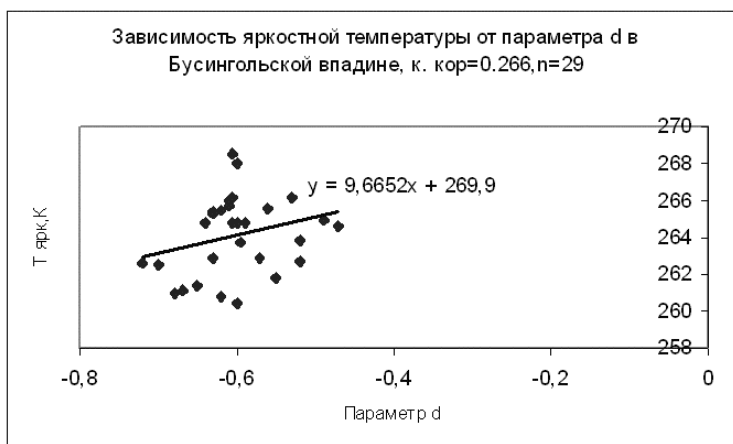
Б

Рис. 2. Зависимость интенсивности уходящего ИК потока от логарифма параметра d – показателя региональной трещиноватости-проницаемости.
А – зависимость вдоль краевого шва Сибирской платформы, Б – зависимость вдоль БРЗ

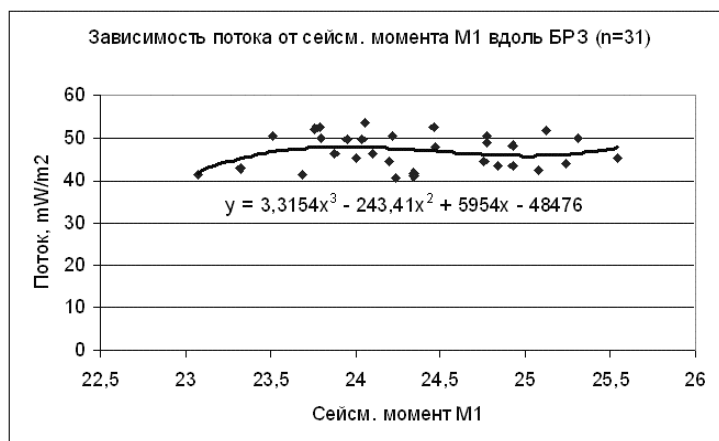
Показатель d соответствует некоторому среднему радиусу дислокаций (трещин), рассчитанному в определенном объеме горных массивов по сейсмологическим данным, определяя, таким образом, их региональную проницаемость. Представленная выборка величин сейсмических параметров и измеренных значений уходящего поверхностного ИК потока отчетливо разделяется на две совокупности с разным направлением статистической зависимости. Прямая линейная корреляция – $\lg d$ и ИК-потока существует вдоль краевого шва Сибирской платформы (рис. 2А). При объеме выборки $n=21$ коэффициент корреляции равен 0,355. Противоположная зависимость характеризует собственно БРЗ. Ее сейсмогенным впадинам свойственна обратная зависимость дан-

ных параметров с коэффициентом корреляции – 0.5146 при n – числе измерений (данные соотнесены к центрам выделенных ячеек), равном 24 (рис. 2Б)

В отдельно изученной сейсмогенной Бусингольской впадине на западном крае БРЗ также проявлена прямая связь показателя региональной трещиноватости, проницаемости – d и яркостной температуры уходящего собственного поверхностного ИК потока (рис. 3 А). Корреляция зависимости ИК потока от работы землетрясения – сейсмического момента M_0 на графике не усматривается (рис. 3Б). Но в ее расчете с применением полинома 4-й степени проявляется слабая периодичность. На краевых частях впадин БРЗ, ограниченных современными сейсмоактивными разломами, располагаются удлиненные полосовидные ареалы повышенной биологической продуктивности древесной растительности с некоторой долей популяций темнохвойных. Они выделяются максимумами индекса NDVI. Максимумы яркостной радиационной температуры поверхности и NDVI, иногда сближаясь, обычно находятся на разных элементах рельефа. На сейсмогенных элементах структуры поверхности, наблюдается сопутствующая «экологизация», обусловленная развитием высокопродуктивных специфических экосистем склоновых, «подгольцовых» лесов нередко с повышенным количеством кедровой сосны. Она обычна для гумидной зоны, в которой находятся южный край Сибирской платформы и северная граница Центрально - Азиатского складчатого пояса.



А



Б

Рис. 3. Зависимость яркостной температуры поверхности и интенсивности уходящего ИК потока от геофизических параметров. А. зависимость яркостной температуры элементов структуры поверхности Бусингольской впадины от логарифма параметра d. Б. зависимость интенсивности уходящего ИК потока от логарифма величины сейсмического момента M_1 в БРЗ

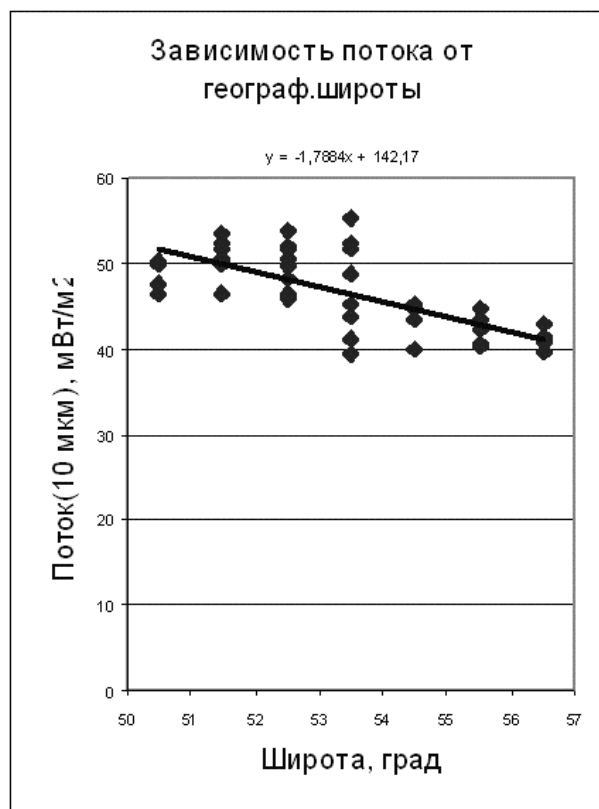


Рис. 4. Зависимость интенсивности уходящего ИК потока от географической широты по простиранию БРЗ



Рис. 5. Расположение излучающих элементов структуры земной поверхности в южном обрамлении Сибирской платформы на сейсмогенных впадинах БРЗ и краевом шве. Цветные линии соответствуют контурам региональных излучающих элементов

Заключение

Установлена корреляция интенсивности уходящего поверхностного ИК-потока, экспонирующего сейсмоактивные разломы и границы крупных структурно-тектонических комплексов, с их геофизическими параметрами: сейсмическим моментом, показателями деформации и региональной трещиноватости – проницаемости. Существуют различия в виде зависимости между интенсивностью ИК-потока и показателем региональной трещиноватости – проницаемости в сейсмоактивной области БРЗ с одной стороны и в пассивном краевом шве – с другой. Иногда наблюдаемая сближенность ИК – яркостных аномалий и максимумов индекса NDVI, по-видимому, объясняется экологизацией эффектов эндоэнергетики. Различие в уравнениях корреляций геофизических параметров в сосуществующих платформенных и рифтовых структурных комплексах связано с различиями свойств геологической среды и, возможно, с генезисом теплопотока в субстрате излучающего слоя.

Статья подготовлена при финансовой поддержке по проектам РФФИ 06-05-65140-а, 05-05-97206р_Байкал.

Литература

1. *Вилор Н.В., Минько Н.П.* Спутниковый мониторинг инфракрасного излучения геолого-структурных элементов Саяно-Байкало-Патомской горной области и Байкальской рифтовой зоны. Исследование Земли из космоса. 2002. №4. с. 55-61
2. *Матвеев Л.Т.* Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. Л.: Гидрометеиздат.1984. с.571
3. *Klyuchevskii A.V.* Seismic moments of earthquakes in the Baikal rift zone as indicators of recent geodynamic processes// Journal of Geodynamics. 2004. V. 37/2. P.155-168.
4. *Brune J.N.* Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes// J. Geophys. Res. 1970. V.75. P. 4997-5009.
5. *Вилор Н.В., Абушенко Н.А., Тащилин С.А.* Спутниковый метод изучения корреляции инфракрасного эмиссионного потока и элементов геологической структуры Земли в северном полушарии. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Вып.3. т.2. М.: Институт космических исследований РАН. 2006.с.215-224
6. *Горный В.И., Теплякова Т.Е.* О влиянии эндогенного потока Земли на формирование в бореальной зоне локальных ареалов неморальной растительности // Доклады АН. 2001. т.378. № 5. с.560-561.