

Распределение и колебательные свойства уходящего поверхностного ИК потока разломов в корреляционных соотношениях с сейсмологическими параметрами

Н.В. Вилор¹, А.В. Ключевский², В.М. Демьянович², В.А. Русанов³, С.А. Тащилин⁴,
Д.Ю. Шарпинский³

¹*Институт геохимии СО РАН*

664033 Иркутск, ул. Фаворского, 1а, E-mail: vilor@igc.irk.ru

²*Институт земной коры СО РАН*

664033 Иркутск, ул. Лермонтова, 128, E-mail: akluchev@crust.irk.ru

³*Институт динамики систем и теории управления СО РАН*

664033 Иркутск, ул. Лермонтова, 134, E-mail: vrusanov@mail.ru

⁴*Институт солнечно-земной физики СО РАН*

664033 Иркутск, ул. Лермонтова, 126, E-mail: sergey@iszf.irk.ru

Изучена временная (сезонная) изменчивость уходящего поверхностного ИК потока сейсмоактивных разломов Байкальской рифтовой зоны (БРЗ) и проведена наземная заверка яркостных температур, измеряемых на их трассах со спутников NOAA и TERRA. На композитном мультивременном имидже определены пространственные вариации уходящего ИК излучения разломов. Для спектрального анализа его колебательных характеристик разработана специальная программа «Спектр». С применением интерполяции по трем 9-ти летним интервалам рассчитаны величины временной изменчивости сейсмологического параметра трещиноватости – проницаемости зон на трех крупных региональных разломах. Временная изменчивость повышенной интенсивности ИК излучения обусловлена взаимодействием квазистационарных уходящих ИК потоков, составляющих 98.5–112,2 мВт/м².срд.мкм в диапазоне 8-10 мкм, с деятельным слоем грунтов. В спектре пространственных неоднородностей ИК потока разломов выделены низкочастотная компонента с геометрической длиной колебаний от 64 до 300 км, содержащая основную долю мощности ИК излучения, и высокочастотная - с колебаниями до 10 км и менее при мощности на 3-5 порядков меньшей. Интегральные величины сейсмологического параметра трещиноватости – проницаемости и мощности низкочастотной компоненты потока имеют статистическую связь с коэффициентом корреляции 0.64. Зависимость интенсивности уходящего ИК излучения от свойств проницаемости субстрата наиболее вероятно связана с процессами теплопереноса в зонах динамического влияния разломов.

Введение

Крупные региональные разломы в областях высокой тектонической активности из различных частей северного полушария выделяются интенсивным уходящим поверхностным инфракрасным излучением (ИК), которое является их фундаментальным неотъемлемым свойством. Физика излучения тонкого слоя поверхности разломов предполагает его зависимость от ряда факторов. Выявление связи приразломных региональных ИК аномалий, фиксируемых радиометрами спутников серий NOAA и TERRA, с температурой поверхности и деформационными свойствами субстратов, изучаемых сейсмологическими методами, формулирует цель данного исследования. Связь между этими характеристиками вскрывается в изучении временной изменчивости уходящего ИК потока, сопоставлении яркостной температуры излучения с температурой поверхности и с вариациями потока по простиранию разломов. В качестве исходной причины устанавливаемых геофизических аномалий выступают деструктивные сейсмологические и тепловые свойства субстратов в зонах сейсмоактивных разломов.

Рассмотрены сезонные и пространственные колебательные характеристики уходящего поверхностного ИК потока крупных региональных сейсмоактивных разломов БРЗ. Определены пространственно-временные изменчивости параметра их деструкции, коррелирующего с интенсивностью ИК потока, – региональной трещиноватость-проницаемости и ее вариации, совпадающие, совместимые с вариациями уходящего ИК излучения.

Однако как наиболее остро выраженная проблема выступает установление колебательных характеристик интенсивности ИК излучения активных разломов и связи их с изменчивостью региональных элементов геологической структуры БРЗ при использовании данных дистанционного зондирования Земли и наземных геофизических измерений. В состав представленной информации включено описание временных и пространственных вариаций ИК эмиссии таких элементов поверхностной геоструктуры БРЗ как крупные региональные разломы и краевой шов на южном ограничении Сибирской платформы, а также расчет характеристик излучения и колебательных свойств уходящего поверхностного ИК потока, обнаружение и прослеживание аналогичных особенностей рассматриваемых разломов методами очаговой сейсмологии.

Методика

Развиваемый подход к изучению колебательных характеристик ИК потока основан на совместном изучении повышенного уходящего ИК излучения структурных элементов земной поверхности с его математическим моделированием. Инструментальной основой для изучения этого природного феномена являются изображения поверхности, передаваемые по 5 каналам от искусственных спутников Земли – космических аппаратов серий NOAA и TERRA, в том числе по тепловым каналам 3.7, 8 и 10-11 мкм от радиометров AVHRR и MODIS. Для наиболее полного исключения влияния солнечного нагрева поверхности Земли при съемке собственного уходящего ИК-излучения земной поверхности использовано позднее ночное время второй половины осеннего сезона и начала зимы. Обработаны как отдельные безоблачные сцены, так и мультивременной композитный имидж, разработанный на основе многолетнего архива изображений в сезон поздней осени-зимы при удлинённом ночном времени и значительном радиационном остывании поверхности.

При использовании тепловой космической съемки (ТКС) как перспективного направления по изучению физических свойств сейсмоактивных секторов континентальной коры наряду традиционными методами и приемами привлечены новые методические подходы, специально приспособленные к задачам данного исследования. Так применен оригинальный метод временных поперечных профилей для определения уровня зависимости интенсивности уходящего ИК потока разломов от средней термодинамической температуры поверхности. Профильные измерения проведены на протяженности 5 участков с наиболее контрастно выраженным уходящим излучением на Тункинском, Баргузинском, Приморском, Верхнее-Ангарском разломах БРЗ и на юго-западном фазе краевого шва Сибирской платформы. Дальнейшее развитие метода позволило использовать кривые временных вариации температурных градиентов для вычисления квазистационарных уходящих ИК потоков данных разломов. Обнаружена ранее неизвестная пространственная изменчивость интенсивности уходящего ИК излучения по простиранию разломов. Измеренная на композитном имидже, она имеет колебательные свойства. В специально разработанной программе «Спектр» при математическом моделировании распределения поверхностного ИК потока разломов для наиболее мощного спектрального интервала 10 мкм в качестве программной среды была применена вычислительная система MATLAB (пакет Signal Processing Toolbox), реализованная в серийных расчетах. Появление этого программного продукта открыло возможность для спектрального анализа колебательных свойств ИК излучения разломов с выделением низко- и высокочастотных групп, различающихся по интегральной мощности.

На небольшие мощности уходящего поверхностного ИК потока несомненно воздействует сезонная термодинамическая температура деятельного слоя грунтов. Для оценки этого влияния на профилях, ориентированных через Тункинский, Приморский, Баргузинский разломы и юго-западную часть краевого шва Сибирской платформы, измерены среднемесячные интенсивности ночного ИК излучения с сентября по март, во время с наименьшим влиянием остаточного солнечного прогрева. Спутниковые определения яркостной температуры заверены наземными измерениями температуры с точностью до $0,5^{\circ}$ С на Тункинском разломе в ночное осеннее время,

наиболее благоприятное для спутниковых наблюдений. Особенности латеральной изменчивости ИК потока оценены способом определения их максимумов через 1 минуту географической широты или долготы по простиранию разломов и краевых структур. Спектральный анализ для выявления периодичности и получения колебательных характеристик процесса проведен методом математического моделирования в программе «Спектр». Для объяснения физической природы частотных компонент уходящего ИК потока выполнен расчет параметра d (показателя региональной трещиноватости – проницаемости) на основе банка данных о сейсмичности изучаемых активных разломов с 1968 по 1994 г. Проведенные расчеты приводят к заключению о временном дрейфе экстремумов d в зонах динамического влияния разломов. Примененный впервые способ вычисления интегральных величин ИК потока и показателя трещиноватости – проницаемости по программе «Спектр» в сочетании с их корреляционным анализом дал основание для суждения о пространственной совместности их экстремумов.

Результаты

Временная зависимость уходящего поверхностного ИК потока сейсмоактивных разломов. Изменения температурных сезонно – градиентов ИК потоков меньше на разломах, чем на днище рифтогенных впадин (рис. 1). На Тункинском разломе, формирующем крутой северный

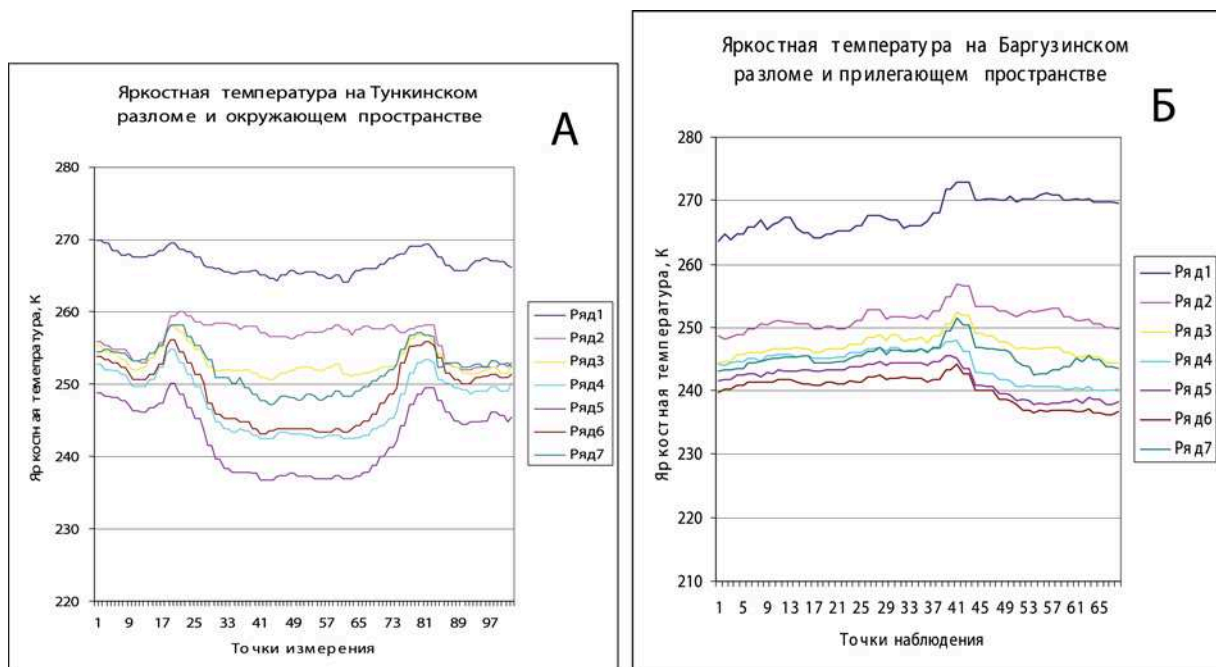


Рис. 1. Яркостная температура уходящего ИК потока на разломах БРЗ в зависимости от времени съемки с ИСЗ NOAA и TERRA Ряды: 1 – сентябрь, 2 – октябрь, 3 – ноябрь, 4 – декабрь, 5 – январь, 6 – февраль, 7 – март

борт одноименной впадины, при неширокой зоне динамического влияния (ЗДВР) нарушения интенсивность ИК потока и яркостная температура представлены одномодальным экстремальным графиком. На противоположном борту впадины Южный контурный разлом экспонирован более широкой ЗДВР на склонах меньшей крутизны. Ему свойственно расширение максимума излучения. Баргузинский разлом, представленный кулисно-построенной зоной граничных сбросов, к которой приурочен северо-западный борт одноименной впадины, имеет расширенную конфигурацию, в общем, одномодального графика уходящего ИК потока. Повышенная интенсивность ИК излучения на краевом шве платформы охватывает пространство от граничной зоны разломов и несогласий и распространяется на всю сложную структуру нижнепротерозойско – архейского

краевого Шарыжалгайского кристаллического выступа цоколя платформы. Общая ширина арельной полосы повышенного излучения в Присяянском среднегорье достигает 35 км.

Термодинамическая температура поверхности разлома. Яркостные поверхностные температуры Тункинского разлома, измеренные со спутников, подтверждены наземными измерениями на 3-х пунктах: 1-м в залесенном сейсмогенном рве на сместителе разлома (сейсмостанция «Аршан» Байкальский филиал Геофизической службы СО РАН), 2-м – в лесном массиве в 11 км от разлома и 3-м – на метеостанции Росгидромета «Тунка» в 19 км от разлома. Измерения температуры с точностью до 0.5°C в точках наблюдения проводились одновременно на всех пунктах (рис. 2). При относительном постоянстве температуры на разломе значительное охлаждение по

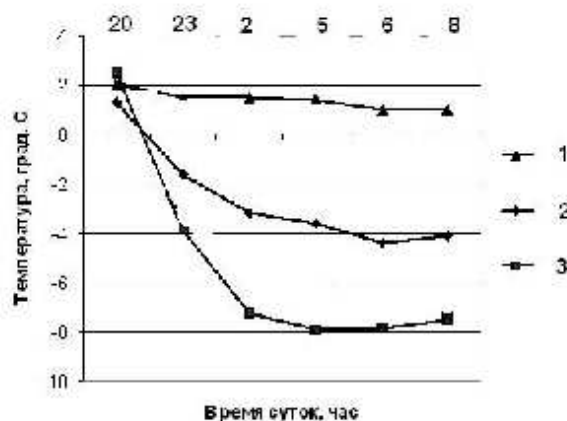


Рис. 2. Температура (°C) грунта на поверхности Тункинского разлома и его периферии. Измерения проведены 8-9.10.2007. 1 – на сместителе (сейсмогенный ров), 2 – дополнительная станция (11 км), 3 – метеостанция «Тунка» (19 км). Профиль пройден на юг от Тункинских Гольцов

верхности происходит за пределами области, прилегающей к сместителю регионального тектонического смещения. Разности поверхностных температур разлома и его периферии, равные 6°C, соответствуют различиям яркостных температур, вычисленным по данным, полученных при пролетах спутников. Флуктуации интенсивности ИК потока на поперечны к разлому профилях измерений составляют не более 0.5-1 мВт/м². срд.мкм.

На величину измеряемого уходящего поверхностного ИК потока разлома влияет средняя термодинамическая температура местности [1], особенно на зимнем минимуме. На Тункинском разломе эта зависимость представлена в ИК диапазоне 10 мкм (таблица 1):

Таблица 1. Средняя температура и ИК поток на Тункинском разломе

Месяц	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март
Средняя температура, °C	7,4	-1,4	-14,9	-24,5	-27,3	-23,3	-11,6
ИК поток, мВт/м ²	68,195	57,485	55,445	51,620	46,530	53,150	55,445

Ее график резко изменяет угол наклона от крутого с градиентом 1.4-2.2 мВт/м² град в сентябре–октябре до минимума 0.011-0.67 мВт/м² град в октябре–ноябре и последующим повышением до 0.31-2.7 мВт/м² град в зимние месяцы по март включительно.

Неоднородности распределения уходящего поверхностного ИК потока по протяженности сейсмоактивных разломов. Вариации интенсивности уходящего ИК излучения по простиранию разломов проявлены, главным образом, в отношении их амплитуды (рис. 3) и объединяются в три группы:

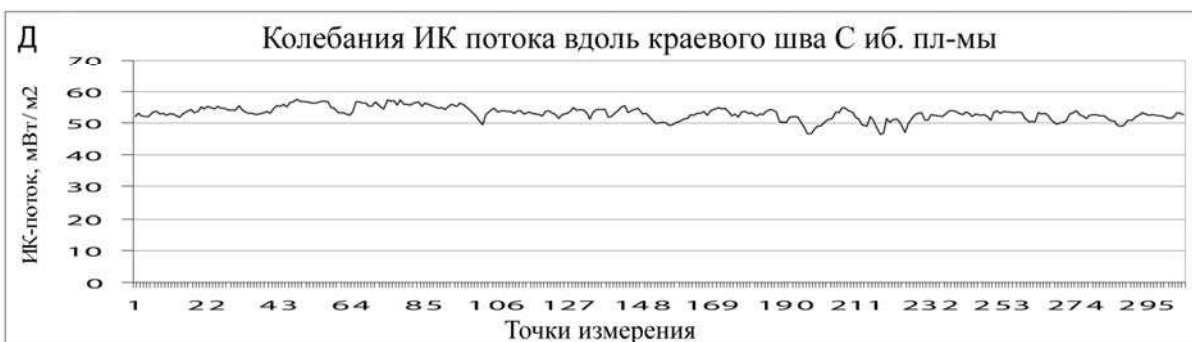
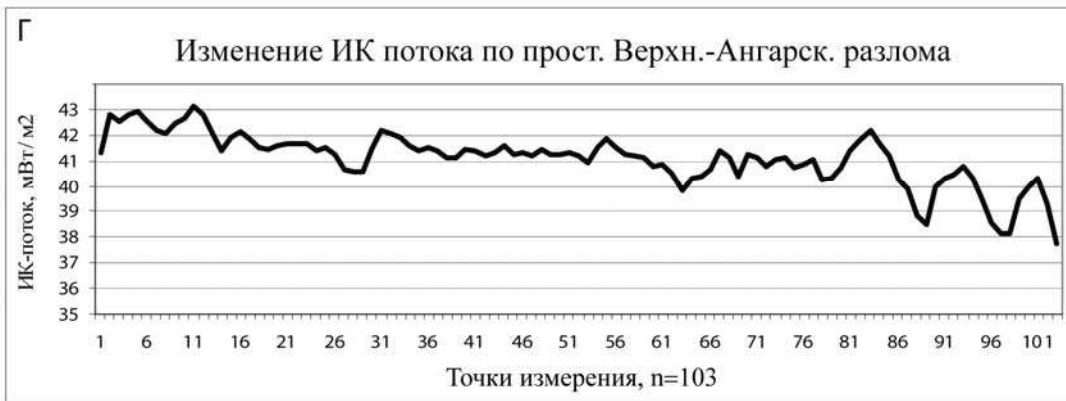
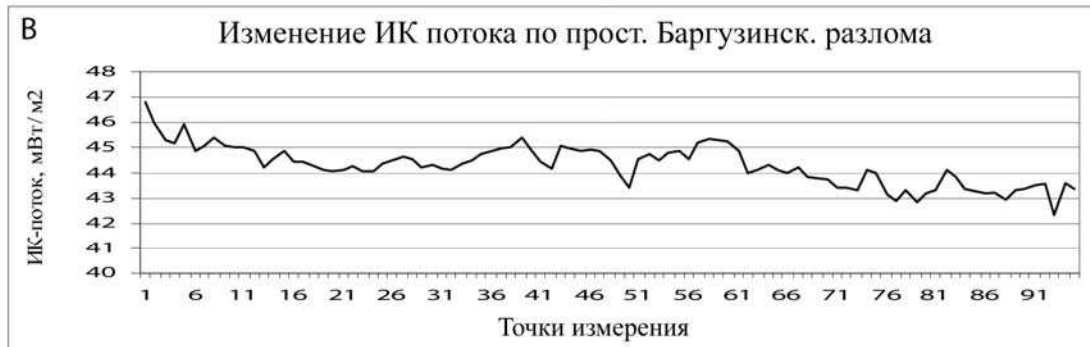
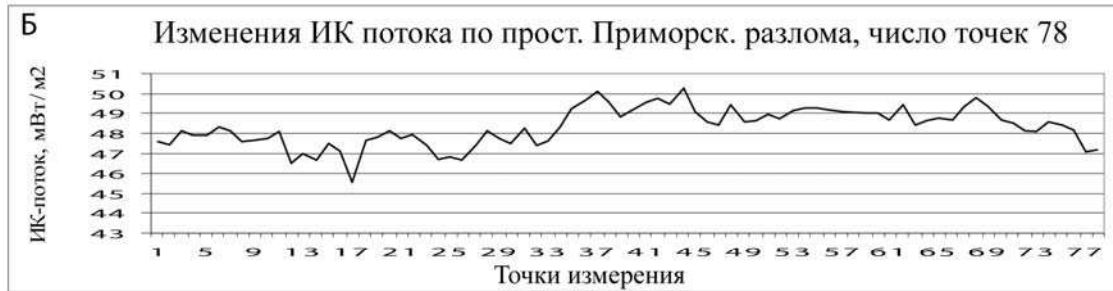
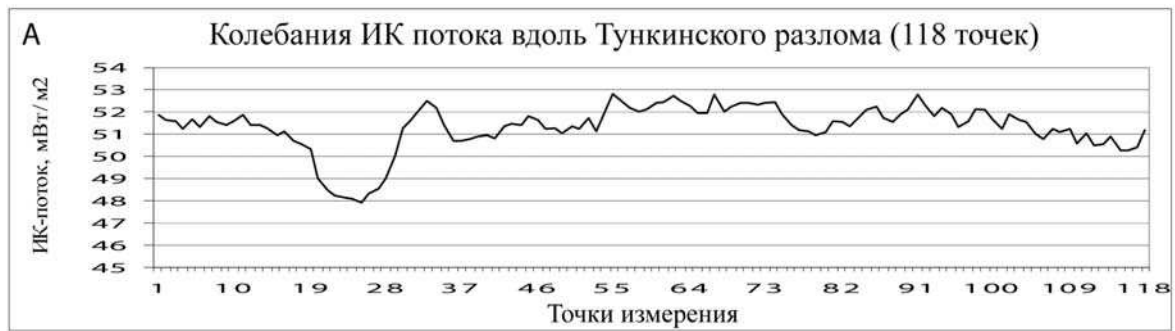


Рис. 3. Величина ИК потока ($\text{мВт}/\text{м}^2 \cdot \text{стр.мкм}$) по простиранию крупных разломов БРЗ: А-Тункинского, Б-Приморского, В-Баргузинского, Г-Верхне-Ангарского, Д-краевого шва ЮЗ фаса Сибирской платформы. Абсциссы – точки измерения, ординаты – уходящий ИК поток, $\text{мВт}/\text{м}^2 \cdot \text{стр.мкм}$

1. единичные крупные глубокие минимумы;
2. высокочастотные с амплитудой не более 0.5-1.5 мВт/ м².срд.мкм;
3. низкочастотные региональные с длиной волны от 64 до 300 километров и с амплитудой до 2 – 3.8 мВт/м².срд.мкм. Вариации первой группы сопряжены с пересечением разломов крупными речными долинами или плотно сближенными менее значительными водотоками. Вторая группа коррелирует с локальными неоднородностями рельефообразующих форм и погрешностями измерений, а третья – с региональными изменениями геолого-структурной ситуации.

При полосовидном и ареальном распределении интенсивного ИК излучения фиксируются кратковременные, неустойчивые узлокальные аномалии, на 5.5-7.5 мВт/м².срд.мкм, превышающие повышенный уровень на краевом шве платформы. На северной периферии Приморского разлома в долине р. Сарма отмечается локальная январская аномалия, на 7 мВт/ м² срд.мкм превышающая фон, равный 37 мВт/ м² срд.мкм. Мартовские яркости ИК потока в южной части и на периферии этого разлома превысили поверхностное излучение от оз. Байкала, равное 42-43 мВт/ м² срд.мкм, на 6.5-8.5 мВт/ м² срд.мкм. Локальные аномалии обычно с поперечником 2-3 км располагаются на вершинах гор, гребнях узких отрогов, на водоразделах, сложенных основными и карбонатными горными породами.

Анализ композитных, среднемесячных изображений за период 2003-2005 гг, показал, что на Тункинском разломе местоположение контрастов меняется по высоте рельефа в пределах 3-х пикселей. С привлечением дневных среднемесячных изображений-композитов рассчитаны средние значения контрастов дневных и ночных температур. При сравнении вычисленных значений тепловой инерции с табличными значениями известных типов подстилающей поверхности положительные контрасты радиояростной температуры соотнесены с водой, увлажненными почвами, темнохвойным лесом, гранитом и базальтом. На территориях с аридным и гумидным климатом путем пространственного совмещения ИК изображений (AVHRR) с изображениями в видимой части спектра с высоким пространственным разрешением (ИСЗ "Landsat" (28,5 метра) и "Konos" (4 метра)) в программе «GoogleEarth» показано, что контрасты измеряемых температур соотносятся с различным составом подстилающих поверхностей.

Распределение параметра d – показатель региональной проницаемости – трещиноватости в зонах динамического влияния разломов (ЗДВР). Ранее приведены доказательства [2] отчетливой корреляции структурных особенностей распределения интенсивности уходящего ИК потока и изменений параметра d - показателя региональной проницаемости-трещиноватости субстрата ЗДВР. Новый шаг в исследовании этого свойства разломов состоит в изучении его временной изменчивости, характеризующей деформированное состояние литосферы по данным очаговой сейсмологии [3]. Параметр d – показатель региональной проницаемости-трещиноватости определен в локальных ячейках среды размером 60×30 км вдоль зон Баргузинского, Тункинского и Верхне-Ангарского разломов. Расчеты выполнены с шагом в 15 км, а значения параметра d приписаны центрам ячеек. Представленные на рис. 4 пространственно-временные графики вариаций параметра d за три периода наблюдений по 9 лет с 1968 по 1994 годы отражают изменения деформированного состояния, происходящие в структуре субстрата и создающие отличия уровней d . Распределение данного показателя деструкции свидетельствует о пространственной неоднородности и временных вариациях состояния проницаемости-трещиноватости недр в ЗДВР. Связь между параметром d и интенсивностью уходящего поверхностного ИК потока разломов I, выявленная статистическими расчетами, обусловлена, вероятно, свойствами процесса теплопереноса в зонах тектонических нарушений.

Обсуждение

Квазистационарные уходящие ИК потоки разломов. Временному распределению градиентов ИК потока свойственно октябрь – ноябрьское понижение – сезонный минимум и увеличение как при снижении термодинамической температуры ниже 0, так и при ее повышении (таблица 2).

Таблица 2. Градиенты ИК-потока в зависимости от изменения средней термодинамической температуры (Δt °C), $\text{Grad} = \Delta I / \Delta t$ °C

Разлом	сентябрь-октябрь			октябрь-ноябрь			ноябрь-декабрь			декабрь-январь		
	ΔI	Δt °C	Grad	ΔI	Δt °C	Grad	ΔI	Δt °C	Grad	ΔI	Δt °C	Grad
Тункин-Ский	12	8,8	1,36	1,25	13,5	0,093	3,44	9,6	0,31	4,84	2,8	1,73
Баргузи-Ский	20,08	9	2,23	7,05	12,5	0,56	4,10	9,9	0,41	3,34	5	0,69
Красвой Шов	14,06	8,3	1,9	-0,11	10,3	0,011	3,28	6,0	0,54	4,78	2	2,39
Примор-Ский	10,56	6,9	1,53	6,62	9,9	0,67	14,12	5,2	2,72	7,56	4,5	1,68

Наименьшая величина приращений ΔI и градиентов **Grad** выделяет некоторое значение уходящего ИК потока, постоянное для каждого разлома при наименьшем влиянии термодинамической температуры деятельного слоя поверхностного грунта. Эта константа соответствует квазистационарному ИК потоку – I_{const} . Квазистационарные потоки разломов являются характеристиками их собственного поверхностного ИК излучения. Их величина суммируется в диапазоне 8 и 10 мкм, исходя из того обстоятельства, что интенсивность потока ИК излучения с длиной волны 8 мкм соответствует доле, равной 0.846 от таковой у потока в диапазоне 10 мкм (таблица 3).

Таблица 3. Квазистационарные поверхностные уходящие ИК потоки (мВт/м²срд.мкм) крупных региональных разломов БРЗ

Разлом	10 мкм	Суммарный: 10 мкм + 8 мкм
Тункинский	55.811	103.027 ± 2.22
Приморский	60.803	112.242 ± 3.492
Баргузинский	53.344	98.473 ± 1.525
Красвой шов платформы	55.831	103.064 ± 0.947

Статистически значимые различия потоков, равные 5-17 мВт/м²срд.мкм, обусловлены как величиной потока, так и свойствами излучающих слоев на поверхности разломов.

Уходящий поверхностный ИК поток, измеряемый спутниковыми радиометрами (I_{det}), отличается от квазистационарного потока (I_{const}) на величину ΔI , которая в зависимости от термодинамической температуры может быть положительной или отрицательной (рис. 4):

$$\Delta I = I_{\text{det}} - I_{\text{const}}$$



Рис. 4. Схема изменения интенсивности ИК потока под влиянием температуры деятельного (поверхностного) слоя грунта

Графики зависимости ΔI от термодинамической температуры на всех разломах имеют ступенчатый облик. Области приращений ИК потока с противоположными знаками, появляются вследствие изменения измеряемого потока при воздействии свойств деятельного слоя грунта. Измеряемый уходящий поток, таким образом, представлен суммой основной константы (I_{const}) и приращений ΔI (рис. 4), зависящих от термодинамической температуры местности в момент съемки со спутника, т.е.

$$I_{det} = I_{const} + \Delta I.$$

Физическая природа ΔI определяется свойствами тепловой инерции излучающего слоя и потоком в субстрате.

Расчет теплоемкости излучающих слоев поверхности разломов. Вариации измеряемого ИК потока по координате термодинамической температуры имеют в основе толщину излучающего слоя (C_r) и его теплоемкость (C_{pr}) (таблица 4).

Таблица 4. Рассчитанные толщина и теплоемкость излучающего слоя на поверхности крупных региональных разломов БРЗ

Разлом	ΔI , мВт/м ² .срд.мкм	Δt , °С	$C_r \times 10^{-3}$ м	Рассчитанная теплоемкость (Дж/кг.град) при плотностях (кг/м ³)			
				1800	2000	2300	2500
Тункинский	12 (сен-окт)	8.8	2	982.1	883.4	768.6	707.1
Приморский	10.56 (сен-окт)	6.9	2	1102.32	992.08	901.9	793.67
	6.62 (окт-нояб)	8.9	1	1072.8	965.5	877.72	772.4
	14.11 (нояб-дек)	5.2	3.75	1057.44	946.30	822.83	757.04
Баргузинский	20.07 (сен-окт)	9	2.75	1168.23	1051.40	914.26	841.54
Красовой шов платформы	14.01 (сен-окт)	8.3	2.2	1104.21	993.74	864.17	795.00

Примечание: (сен-окт) и т.д. – временные интервалы расчета ΔI .

Теплоемкость - C_{pr} (Дж/ кг.град), представленная как теплосодержание единицы массы излучающего слоя, рассчитана как:

$$C_{pr} = [(\Delta I_{det} / \Delta t) * \tau] / M,$$

Δ – наибольшее изменение или приращение I , I_{det} – измеренный со спутника ИК поток (Дж/ м².с), t - термодинамическая температура, °С, τ – продолжительность месяца, равная $2.592 * 10^6$ с, M (кг) – масса излучающего слоя площадью в 1 м² при определяемой толщине C_r в интервале 1–4 мм. Вычисленные теплоемкости поверхностного слоя излучающего субстрата разломов (табл. 4) близки к таковым для тяжелых каменистых суглинистых почв [4]. Толщина излучающего слоя при отрицательных термодинамических температурах варьирует от 1 до 3.75 мм. Интервал принятых в расчет плотностей дезинтегрированного субстрата составляет 1.8 - 2.5 т/ м³ [4].

Колебательные свойства уходящего поверхностного ИК потока разломов. Наблюдаемые величины ИК потока изменяются по латерали разломов при воздействии форм рельефа и геолого-структурной ситуации. Они измерены на мультитременном имидже с применением программного комплекса «ENVI 4.0». Спектральные характеристики ИК потока определены по программе «Спектр», специально разработанной для анализа данных орбитального мониторинга. Фильтрация низкочастотных колебаний проведена через расчет полиномов (таблица 5). Высокочастотные колебания оценены методами Уэлша и Томсона [5]. В соответствии с выделением этих спектральных областей вычислены интегральные мощности ИК- излучения, как в низкочастотной, так и в высокочастотной геометрических группах колебаний. Фильтрация групп разделяет вклад мощностей высоко- и низкочастотных компонент ИК потока (таблица 5).

Таблица 5. Рассчитанные колебательные свойства уходящего поверхностного ИК потока региональных разломов БРЗ

Разлом	Длина, км	Тип (кинематика)	Диапазон колебаний (геометрических)					
			Длинноволновый			Коротковолновый		
			Длина волны, км	Амплитуда, мВт/м ² стр.мкм	Мощность, мВт/м ² стр.мкм	Длина волны, км		Мощность, мВт/м ² стр.мкм
						Способ расчета		
Томсона	Уэлша							
Тункинский	130	сбросо-сдвиг	94	2.1	308350	40; 20; 8	20; 10	78.661
Приморский	200	сдвиго-сброс	78	2.1	179943	50;14; 10	20	27.420
Баргузинский	200	сброс	64	1.5 - 2	184450	40;16	20; 13	13.358
Верх.-Ангарский	95	сброс	> 200	> 3.8	172376	40;16; 9	10	32.848
Краевой шов платформы	300	сбросо-сдвиги	300	3.5 -3.6	854262	167;50; 17; 7	23; 9; 7; 6	692.406

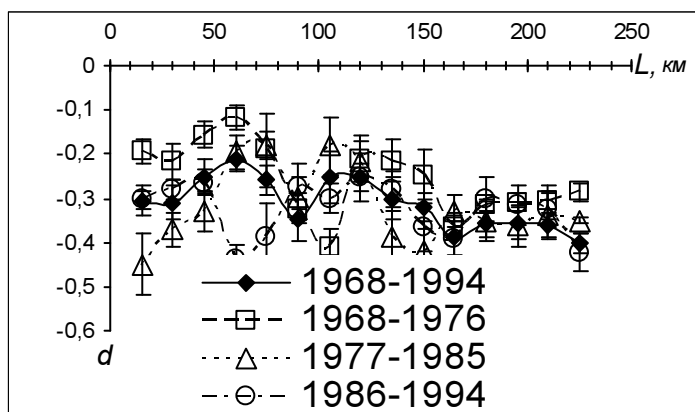
Примечание: в коротковолновом диапазоне амплитуда колебаний не превышает 0.1 – 0.25 мВт/м² стр.мкм

Мощность низкочастотной геометрической компоненты превосходит с коэффициентом от 1.23×10^3 до 1.49×10^5 мощность высокочастотной. В целом же общая рассчитываемая мощность, интегрированная по учтенной длине разломов для спектрального ИК диапазона 8-10 мкм достигает 318 Вт/м² стр.мкм у Верхне-Ангарского разлома и 1577 Вт/м²стр.мкм - на краевом шве платформы.

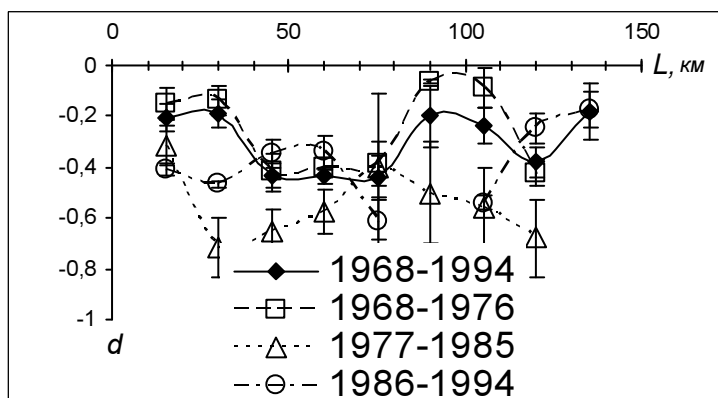
Корреляционные соотношения уходящего ИК потока и сейсмологических параметров. Параметр d характеризует соотношение чисел сейсмических толчков, имеющих различные значения коэффициента формы дислокации, и информирует о деформированном состоянии среды по данным совокупности землетрясений в исследуемом объеме литосферы. На рис. 5 приведено его распределение, рассчитанное за 1968–1994 г. При совместном рассмотрении выборок d и измеренных значений уходящего поверхностного ИК потока на композитном мультивременном имидже установлено линейное соотношение между ними вдоль краевого шва Сибирской платформы с коэффициентом корреляции $\rho=0,36$ ($n=21$, число коррелируемых пар точек) [2]. В сейсмогенных впадинах БРЗ коэффициент корреляции $\rho=0.51$ ($n=24$). Графики параметра d (рис. 4) отражают пространственную и временную неоднородность этого показателя, соотносимую с колебаниями уровня региональной проницаемости-трещиноватости. Для 9-ти летних интервалов по временным кривым параметра d в программе «Спектр» рассчитаны интегралы данного параметра на трех крупных разломах (таблица 6).

Таблица 6. Рассчитанные интегралы интенсивности уходящего поверхностного ИК потока (10 мкм) и параметра региональной трещиноватости – проницаемости d крупных разломов БРЗ

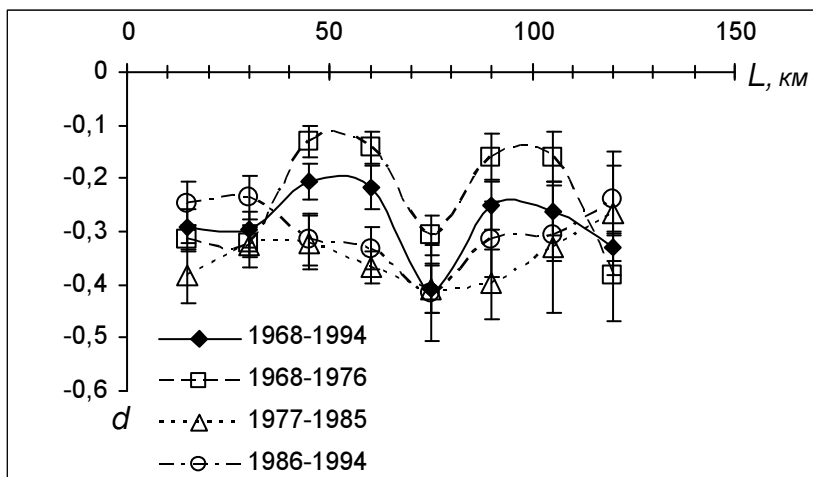
Интеграл параметра d	Временной интервал	Интеграл мощности I ($\times 10^5$)	Разлом
1,76	1968-1976	3.0825	Тункинский
6,91	1977-1985	3.0825	То же
5,54	1986-1994	3.0825	----- « -----
2,38	1968-1994	3.0825	----- « -----
1,356	1968-1976	1,8445	Баргузинский
1,66	1977-1985	1,8445	То же
2,214	1986-1994	1,8445	----- « -----
1,62	1968-1994	1,8445	----- « -----
1,14	1968-1976	1,7238	Верхне - Ангарский
2,72	1977-1985	1,7238	То же
2,05	1986-1994	1,7238	----- « -----
1,67	1968-1994	1,7238	----- « -----



a



b



B

Рис. 5. Графики вариаций параметра d ЗДВР, разломы: Баргузинский (А), Тункинский (Б), Верхне-Ангарский (В) за период 1968-1994 гг. на трех 9-ти летних интервалах: 1968-1976, 1977-1985 и 1986-1994 г. L – протяженность разломов, км

Прямая статистическая зависимость интегралов параметра d и приведенных интегралов мощности длинноволновой геометрической компоненты ИК потока по данным из табл. 6 оценивается величиной коэффициента корреляции, равной 0,643. На карте значений d на 9-ти летних временных сечениях очевиден временной дрейф его экстремумов (рис. 6). Предполагается, что расположение максимумов контролирует интенсивность ИК потока, соответствующую длинноволновой геометрической компоненте. Значимая связь мощности уходящего поверхностного ИК излучения с деформационным параметром ЗДВР отражает, подтвержденное наземными измерениями термо-

динамической температуры поверхности, влияние теплового потока верхней коры. Вероятно, ИК аномалии, фиксируемые спутниками, на активных региональных разломах ассоциируют с процессами теплообмена, происходящими в интервале глубин, соответствующем расположению гипоцентров учтенных землетрясений.

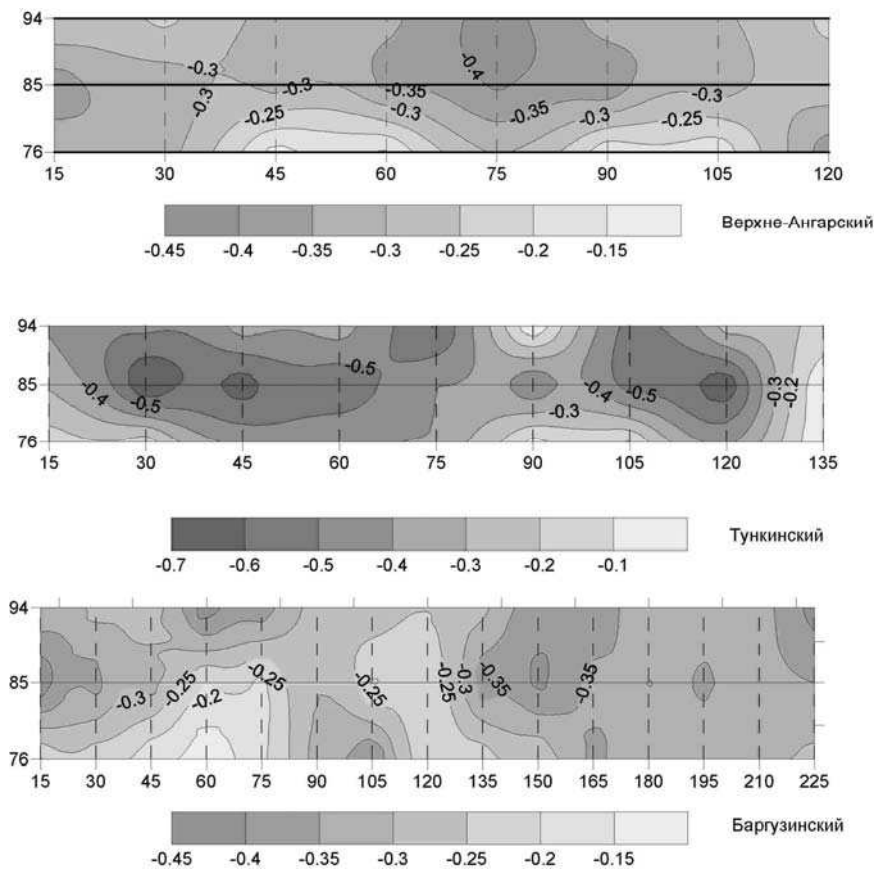


Рис. 6. Карты распределения величин параметра d по протяженности разломов БРЗ для 3-х временных интервалов: 1976, 1985 и 1994 годов

Заключение

На основе сезонно-временной корреляция интенсивности уходящего поверхностного ИК потока региональных разломов БРЗ и термодинамической температуры местности выявлена зависимость температурных градиентов ИК потока от состояния деятельного слоя грунта, воздействующего на квазистационарные ИК потоки, обусловленные теплопереносом по зонам динамического влияния разломов. Приразломные повышения – аномалии яркостной температуры уходящего ИК излучения, фиксируемые со спутников, подтверждены наземными измерениями в период, наиболее благоприятный для орбитальных наблюдений. Количественно оцененные колебательные вариации уходящего ИК потока по простиранию крупных разломах БРЗ выражаются низко- и высокочастотными компонентами с различающимися длинами геометрическими волн. Рассчитанная интегральная мощность первой, низкочастотной длинноволновой разновидности на 3-5 порядков превосходит мощность второй компоненты. Пространственно – временная неоднородность распределения региональной трещиноватости-проницаемости в зонах разломов, впервые установленная на основе анализа 27-летнего массива сейсмологических наблюдений по оценке комплекса характеристик землетрясений высоких энергетических классов, имеет интегральные величины, связанные высокой положительной корреляцией с интегральной мощностью низкочастотной длинноволновой компоненты ИК потока. На картах параметра d в зонах сейсмически ак-

тивных разломов выявлен временной дрейф его экстремумов, коррелирующих с аномалиями ИК излучения. Этим обстоятельством, по-видимому, подтверждается новый важный вывод о вероятной связи уходящего поверхностного ИК излучения разломов с тепломассопотоком в той части разреза верхней коры и литосферы, деформированной по ЗДВР, где расположены гипоцентры учтенных землетрясений.

Литература

1. Башалханова Л.Б., Буфал В.В., Русанов В.И. Климатические условия освоения котловин южной Сибири. Новосибирск: Наука, 1989. С. 157.
2. Вилор Н.В., Абушенко Н.А., Тацилин С.А., Ключевский А.В., Демьянович В.М. Применение данных дистанционного зондирования при исследовании инфракрасного излучения земной поверхности в областях интенсивного движения блоков литосферы Центрально-Азиатского складчатого пояса // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Сборник научных статей. М.: ООО «Азбука-2000», 2007. Вып. 4. Т. 2. С.134-140.
3. Ключевский А.В., Демьянович В.М. Сейсмодетформированное состояние земной коры Байкальского региона // Доклады РАН, 2002. Т. 382. №6. С.816-820.
4. Горный В.И., Шилин Б.В., Ясинский Г.И. Тепловая аэрокосмическая съемка. М.: Недра, 1993. 127 с.
5. Андриевский Б.Р., Фрадков А.Л. Элементы математического моделирования в программных средах MATLAB и SCILAB. СПб: Наука, 2001. 286 с.