

Спутниковый метод изучения корреляции инфракрасного эмиссионного потока и элементов геологической структуры Земли в северном полушарии

Н.В. Вилор¹, Н.А. Абушенко², С.А. Тащилин²

¹*Институт геохимии СО РАН
664033 Иркутск – 33, ул. Фаворского, 1
E-mail: vilor@ig.irk.ru*

²*Институт солнечно - земной физики СО РАН
664033 Иркутск – 33, ул. Лермонтова, 126
E-mail: nick1@iszf.irk.ru*

Особенности уходящего через атмосферу земного излучения в инфракрасном диапазоне, наблюдаемые с помощью радиометров орбитальных космических аппаратов (КА) имеют в северном полушарии глобальное распространение. Их структура и плотность рассмотрены на примере южной части Восточной Сибири, Таримской впадины (Синцзян, северо-западный Китай), Рейнского грабена в западной Германии, в Большом Бассейне (Провинция хребтов и бассейнов) на западе США и в Афарской депрессии (северо-восточная Африка). При картировании распределения потока ИК излучения использовались спутниковые изображения в спектральных областях 3.7 мкм, и 10-11 мкм, соответствующих «окнам прозрачности» с минимальным ослаблением в атмосфере, в ночные и предутренние часы локального времени преимущественно позднего осеннего и начала зимнего сезонов с целью минимизации влияния дневного, солнечного прогрева. Свойства наблюдаемых аномалий поверхностной ИК-эмиссии отражают природу ее проявления. Это – нормальное распределение величин потоков (а, следовательно, и яркостных температур). Яркостная, центральная часть термомаксимумов наблюдается на всех морфологических разновидностях повышенного ИК - излучения, выделяя их как градиентные области. Яркостная структура приразломных областей ИК-излучения как правило бинарна. Повышенный энергетический потенциал, сосредоточенный на разломных зонах, экспонируемых повышенной интенсивностью ИК-излучения, активно используется биологическими системами. Устанавливается отчетливая корреляция измеряемой спутником яркостной температуры излучения, индекса NDVI и определенных при наземном обследовании концентраций радиоактивных эманаций ²²²Rn (радон) и ²²⁰Rn (торон). Приразломные ИК-аномалии сопровождаются увеличением концентраций летучих элементов, таких как ртуть, мышьяк и таллий, мигрирующих вдоль блоков с высокой проницаемостью. Возможно устойчивое существование потоков заряженных частиц, трансиррующих разломы.

С целью изучения природы инфракрасного (ИК) излучения, уходящего от земной поверхности, обусловленного составом и строением субстрата излучающего слоя, в статье дан анализ мониторинга структуры и интенсивности ИК-излучения в южной части Восточной Сибири, включающей Саяно-Байкало-Патомскую горную область и Байкальскую рифтовую зону – активно секторы земной коры на евроазиатском континенте. Выделенные здесь морфологические разновидности поверхностной ИК-эмиссии [1, 2] обнаружены затем в Таримской впадине (Синцзян, северо-западный Китай) [3]. Наблюдаемые с помощью радиометров орбитальных космических аппаратов (КА) особенности уходящего через атмосферу земного излучения имеют, по крайней мере, в северном полушарии глобальное распространение. Их структура и плотность рассмотрены на примере Рейнского грабена в западной Германии [1], в Большом Бассейне (Провинция хребтов и бассейнов) на западе США [4-6] и в Афарской депрессии (северо-восточная Африка) [7].

Методика

При исследовании распределения теплового потока поверхности Земли использовались результаты измерений спутниковых радиометров «Advanced Very High Resolution Radiometer» (AVHRR) с ИСЗ NOAA и MODIS с ИСЗ EOS. В работе использовались данные из глобальной базы данных «The Land Processes Distributed Active Archive Center» (<http://edcdaac.usgs.gov/main.asp>) а также из базы данных многолетних наблюдений на станции приема спутниковой информации Института солнечно-земной физики СО РАН. В анализ включены измерения за период с 1999 по 2004 года в ночные и предутренние часы локального времени преимущественно позднего осеннего и зимнего сезонов с целью минимизации влияния дневного,

солнечного прогрева. При картировании распределения потока ИК излучения использовались спутниковые изображения в спектральных областях 3.7 мкм, и 10-11 мкм соответствующих «окнам прозрачности» с минимальным ослаблением в атмосфере. Интенсивности величины потока соотносились с геоморфологическими и геофизическими свойствами субстрата излучающего слоя как по площади рассматриваемых регионов и по отдельным профилям, ориентированным вкострости простирающихся главных элементов геологической структуры. Сопоставление проводилось по отдельным сценам, их мультитременным комплексам и по усредненным данным за период наблюдений. В качестве дополнительной информации при анализе привлекались данные цифровой модели рельефа и карты распределения индекса состояния растительности – $NDVI = (A_2 - A_1) / (A_2 + A_1)$, где A_1 – величина альбедо поверхности в диапазоне спектра 0.5-0.6 мкм, A_2 – 0.7-0.1 мкм.

Результаты. Интенсивность ИК-излучения и сопутствующие изменения в окружающей среде

Эмиссионный поток ИК излучения значительно дифференцирован. Его основные морфологические разновидности, экспонирующие геологическую структуру, рассмотренные в таблице 1, характеризуют южное горное обрамление в Байкальском регионе Восточной Сибири.

Таблица 1. Морфологические особенности объектов СБГО и БРЗ с высокой интенсивностью ИК-излучения

Форма	Длина <i>L</i> , км	Ширина <i>N</i> , км	<i>L/N</i>	Связь с рельефом	Связь со структурой	Регион	Устойчивость	
							во времени	в пространстве
Линейные	210–380	8–14.3	0.04	Низкогорное подножие основных хребтов СБГО	Рифтогенные разломы и краевой шов платформы	СБГО	Постоянные	Непрерывные
Контурные	120–210	6.2–1.39	0.05–0.06	Границы днища и склона рифтогенных впадин	Граничные сейсмогенные разломы	БРЗ	Постоянные	Непрерывные
Полосовидные	39–58	11–20	0.2–0.5	Среднегорные массивы, крутые склоны	Структура краевого шва платформы, Байкал	СБГО	Периодические	Неоднородные, прерывистые
Изолированные	1–1.6	1–1.3	1–1.23	Отдельные низкогорные массы	Краевые и платформенные структуры	Сибирская платформа	Постоянные	Отдельнорасположенные, иногда на краях периодических

Выделяемые морфологические разновидности поверхностного ИК-излучения экспонируют региональные сейсмоактивные разломы, разломные контуры рифтогенных впадин, особо напряженные блоки на сочленении платформ со складчатыми поясами. Не менее распространенная ареальная разновидность ИК-эмиссии связана с изменчивостью гидрогеологической обстановки, составами находящихся на поверхности литологических комплексов. Она со значительной контрастностью выделяет область современного вулканизма в северном Афаре, где нагромождение лавовых потоков и цепь щитовых вулканов приурочены к зоне спрединга - раздвига с уменьшением мощности (толщины) континентальной коры или ее разрывом [7].

Свойства наблюдаемых аномалий поверхностной ИК-эмиссии отражают природу ее проявления. Это – нормальное распределение величин потоков (а, следовательно, и яркостных температур) в регионах и в конкретных поперечных сечениях, корреляции с ИК-потоками от водных масс, с рельефом разломных зон и радоновыми эманациями вдоль них. Так в Саяно-Байкало-Патомском регионе измеренные величины ИК – потоков соответствуют четырем основным интервалам значений (рис.1): 1 – 50-60, 2 – 60-70, 3 – 70-80, 4 – 80-90 мВт/м².страд.мкм. Нормальный закон распределения и величин потока, и, соответственно, яркостных температур установлен во всех исследованных регионах.

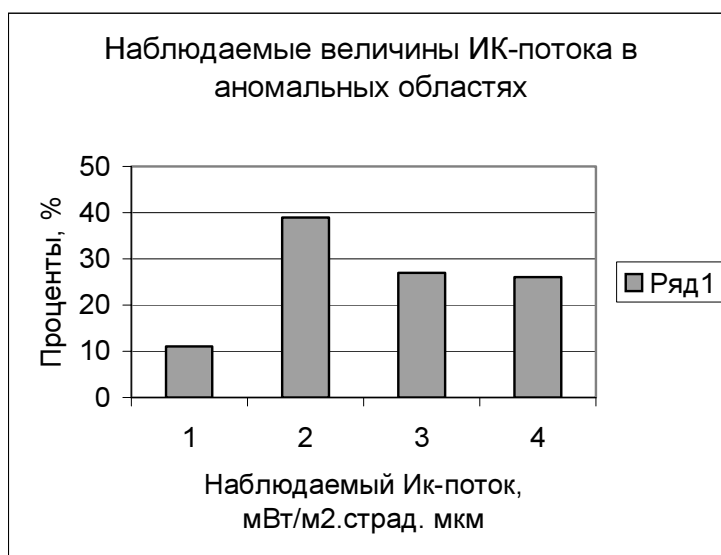


Рис. 1. Гистограмма наблюдаемых значение ИК-потока в южной части Восточной Сибири.
1 – до 60, 2 – до 70, 3 – до 80, 4 – до 90 и более мВт/м² страд.мкм

Измеренные значения потоков в совокупности по всем установленным наземным разновидностям ИК-эмиссии и излучаемых потоков от поверхности открытой водной массы озер и оз. Байкал характеризуется корреляционным уравнением

$$Y = 1.3347 X - 37.719 \quad (1), \text{ где}$$

X – поток от чистой водной поверхности, Y – уходящий наблюдаемый поток в областях повышенной интенсивности ИК – излучения. R- коэффициент корреляции равен 0,844 (n=18). Структура установленных их морфологических разновидностей относится к экстремальному типу. В них отчетливо выделяется краевая, диффузная и осевая, центральная части термомаксимумов. Отношения их ширины к длине в основных морфологических разновидностях уменьшаются с увеличением площади аномалий:

линейная	контурная	полосовидная
2 – 3.75	1.3 – 4.5	0.43 – 1
среднее 3	2.8	0.75

В строении линейных и полосовидных яркостных аномалий имеется асимметрия в распределении этих частей. Так на яркостной полосе Тункинского сбросо-сдвига южная половина диффузной части более широкая с яркостной температурой 279-282 К. На северном краю в диффузной полосе, которая в 1.5 раза уже, температура равна 281-283 К. Ширина яркостного максимума 284 К меньше в 3.4 раза по сравнению с диффузными частями (рис.2). Быстринская аномалия, наблюдаемая на Главном Саянском разломе (рис.3.), расположена на его южном крыле и характеризуется более широкой северной диффузной частью. Яркостная температура на разломе, к которому приурочена речная долина, на 3 К выше, чем в соседней долине, не имеющей такой структурной связи.

Яркостная центральная часть термомаксимумов наблюдается на всех морфологических разновидностях повышенного ИК - излучения, выделяя их как градиентные области. Соответственно горизонтальный градиент 4.752 К/км существует на линейных и контурных разновидностях. Градиент на полосовидной форме излучения равен 1.539 К/км. ИК-излучение разломов является высоко градиентным, а на полосовидных и ареальных, которые чаще всего связаны с литологическими комплексами – низкоградиентным. Высокоградиентные узкие области яркостных максимумов подвижны относительно элементов рельефа в зависимости от времени суток. Так при дневных наблюдениях термомаксимум Тункинского сдвига-сброса проектируется в основании склона непосредственно на выход сместителя. В ночных сценах он перемещается на среднюю часть прилегающего с севера крутого склона.

Яркостная структура приразломных областей ИК-излучения как правило бинарна. Бинарность излучения заключается в сопряженности противоположных по знаку экстремумов. Узкие термомаксимумы всегда сопряжены с сопоставимыми по ширине полосами минимальной яркостной температуры. Типична бинарная структура на Приморском разломе (рис.4 пр.1-3 А-В). На его юго-западном фланге, вблизи устья р.Бугульдейка (пр.1 А) северное крыло разлома, контрастное по яркости сопровождается таким же выраженным минимумом. При выходе к зал. Мухор яркость этого же крыла сохраняется (пр.3 В). Между этими пунктами также отчетлива бинарность излучения (пр.2 Б). В целом контрастность излучения разлома невысока и значительно уступает интенсивности Обручевского вдоль берегового сброса, расположенного южнее.

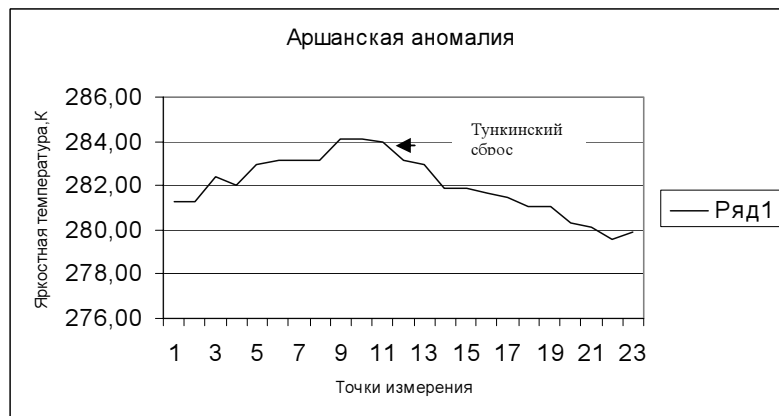


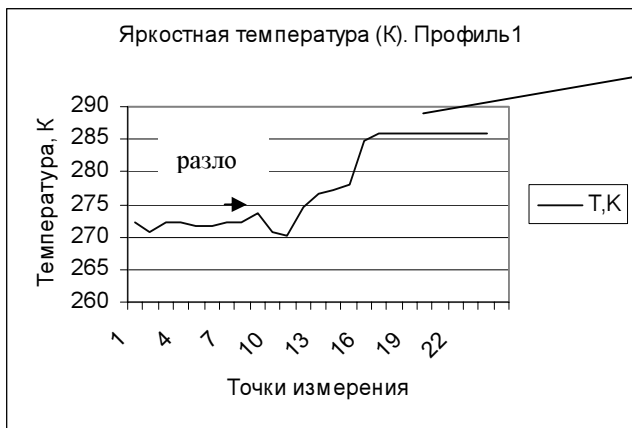
Рис. 2. Диффузная структура аномального ИК-излучения на Тункинском сбросе (Аршанская аномалия, восточное Прибайкалье)



Рис. 3. Диффузная структура аномального ИК-излучения на Главном Саянском разломе (Быстринская аномалия, восточное Прибайкалье)

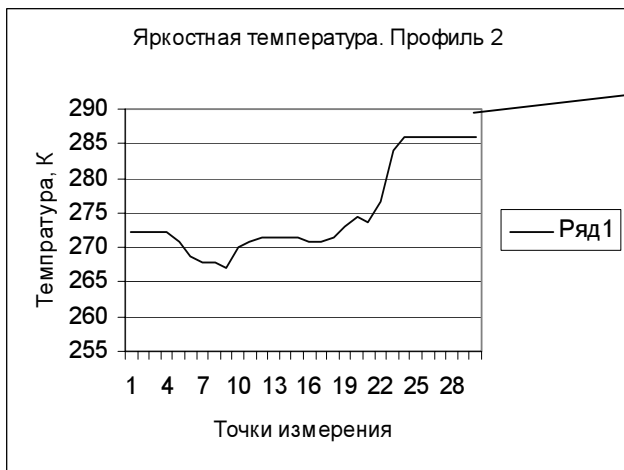
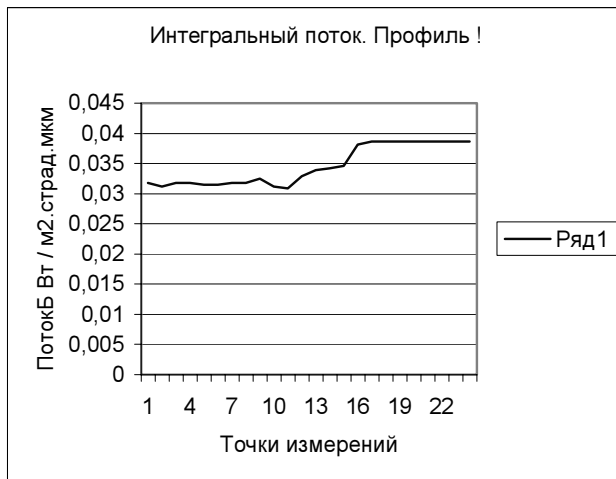
Повышенный энергетический потенциал, сосредоточенный на разломных зонах, экспонируемых повышенной интенсивностью ИК-излучения, активно используется биологическими системами. Как основной компонент первичных экосистем рассматриваются биогеоценозы темнохвойных, преимущественно кедровых, лесных массивов, обычно содержащих примесь ели и сосны при незначительном количестве листопадных древесных пород. Их биотопы представлены относительно узкими крутосклонными долинами горных рек, крутыми склонами хребтов и выположенными водоразделами. Гипсометрически выше они обычно сменяются ландшафтно-климатической зоной горной

тундры. Большая длительность существования данных экосистем, сопоставимая с категориями геологического времени, соответствует **гомеостатическому состоянию** полной уравнищенности их популяционно - видового состава.



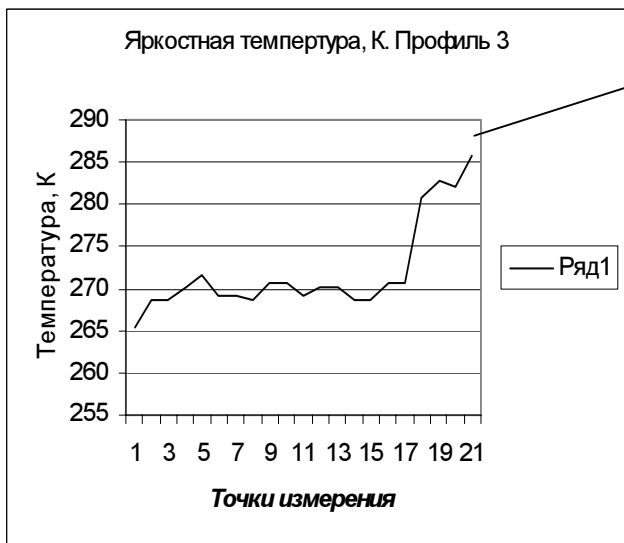
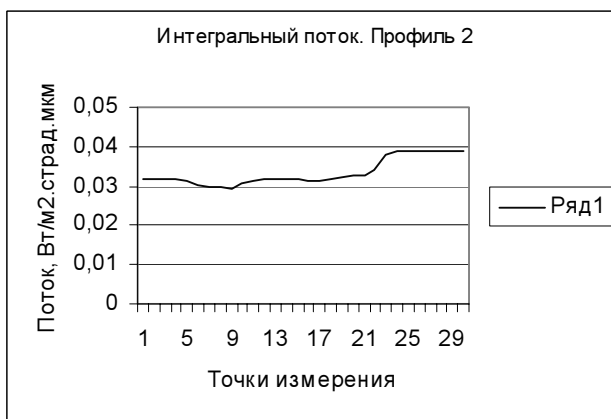
А

оз. Байкал



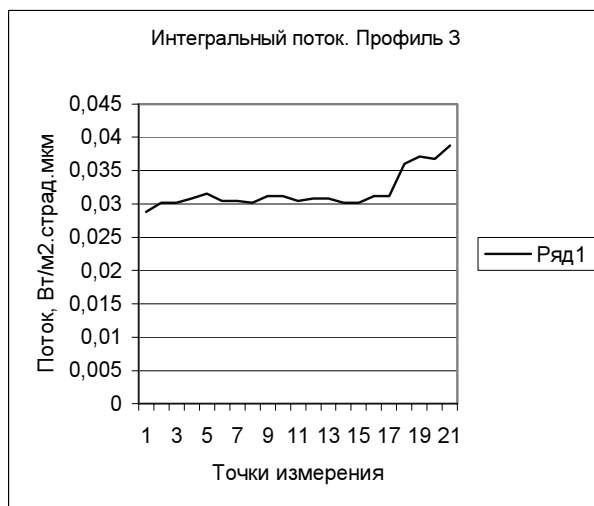
Б

оз. Байкал



В

оз. Байкал



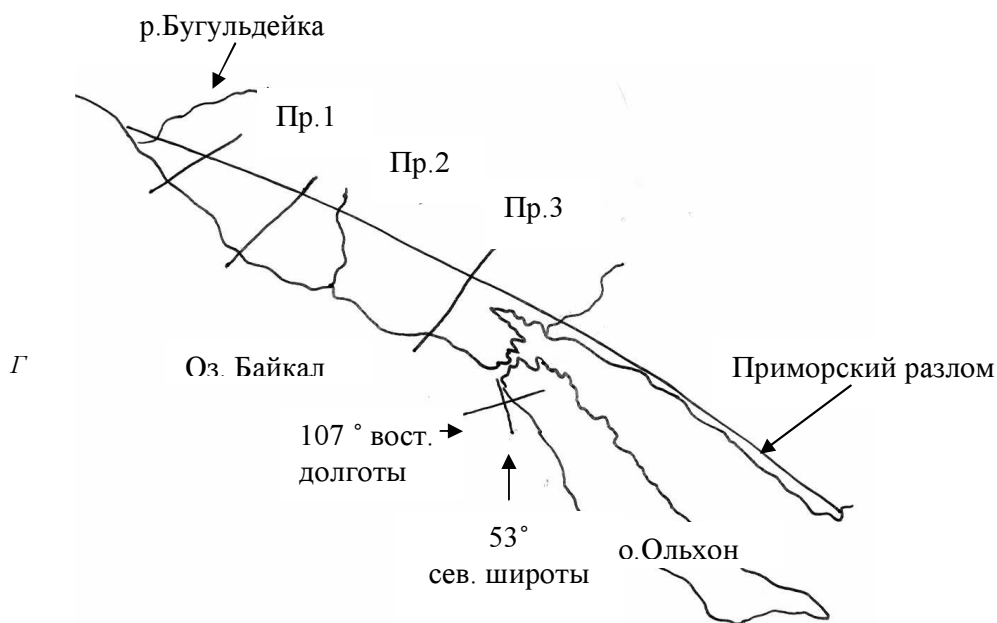


Рис. 4. Сопряженные экстремумы ИК-излучения Приморского разлома (западный берег оз. Байкал). А, Б, В – измеренные интенсивности на профилях 1–3. Г – расположение профилей

Основными районами, которых устойчивы гомеостазированные экосистемы - ГЭС являются пологовершинные водоразделы Присаянья от долины р. Иркут до долины р. Ока, восточного Хамар-Дабана, предгорий Ажиткана, отдельные плосковершинные пространства на Лено-Ангарском плато. Это крутые склоны долин рек, врезающихся в Хамар-Дабан, Баргузинский и Приморский хребты. Кроме того, постоянно проявляется геолого-геоморфологическая обусловленность формирования биотопа ГЭС. В стабильной геодинамической обстановке они формируются на гранитном и гранитогнейсовом (редко сиенитовом) подпочвенном субстрате, на некоторых терригенно-карбонатных толщах кембрийского возраста, а также вдоль структуры краевого шва Сибирской платформы по всему его протяжению. В областях повышения интенсивности ИК-излучения на сейсмически активных разломах Байкальской рифтовой зоны (БРЗ) установлена быстрая регенерация ГЭС с укорачиванием времени их вторичных сукцессий. Воспроизводство ГЭС, экспонируемое высоким значениями NDVI, отмечается вдоль главнейших разломов БРЗ – Главного Саянского (ГСП), Тункинского, серии разломов в Баргузинской впадине (рис.5 А, Б). Природная регенерация ГЭС по современным сейсмически активным нарушениям обусловлена как геоморфологическим компонентом эндогенного экологического фактора, воздействующим на зональность климатических условий, так и за счет физико-химических особенностей биотопов.

Разломной структуре рифтогенных впадин БРЗ, экспонированной линейной и контурной разновидностями ИК-излучения, свойственно сочетание нескольких взаимно обусловленных параметров, проявляющееся как в наблюдениях с КА, так и в наземных исследованиях. На поперечных профилях (рис. 6) устанавливается отчетливая корреляция измеряемой спутником яркостной температуры излучения, индекса NDVI и определенных при наземном обследовании концентраций радиоактивных эманаций ^{222}Rn (радон) и ^{220}Rn (торон). Четкие локальные радоновые аномалии зафиксированы при непосредственном изучении сейсмогенного рельефа на основном сместителе Тункинского разлома [6].

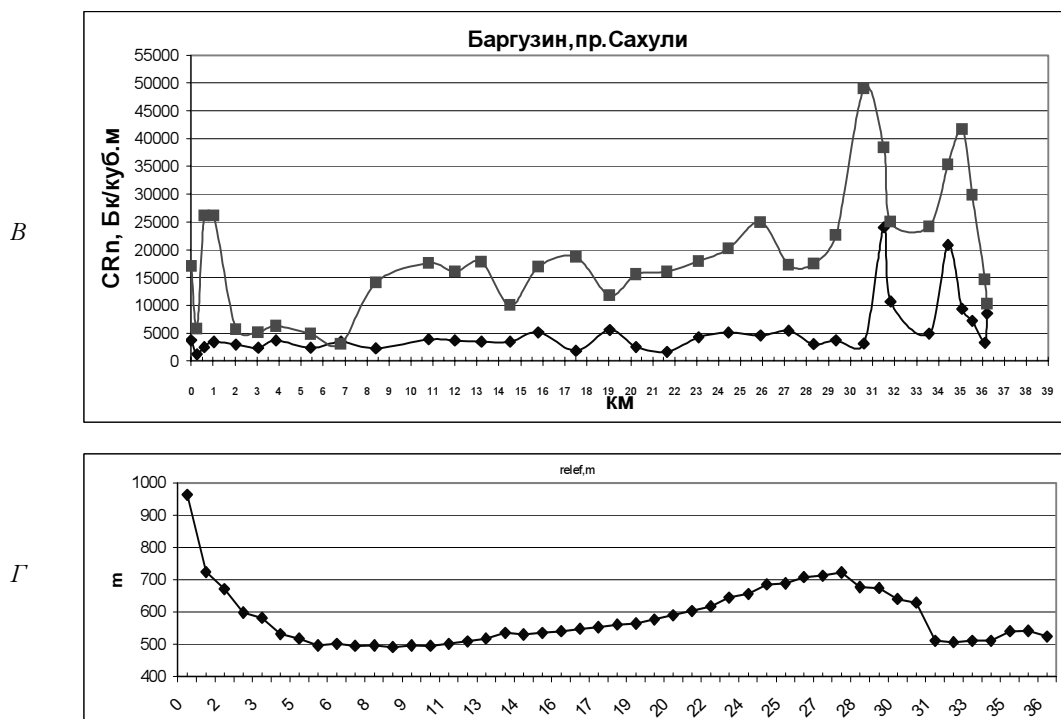


Рис. 6. Сочетание некоторых характеристик разломов Баргузинской впадины. Профиль северо-восточного направления через нас. пункт Сахули. А- яркостная температура, К, Б – индекс NDVI, В- концентрация торона (верхняя кривая) и радона (нижняя кривая), Г- рельеф

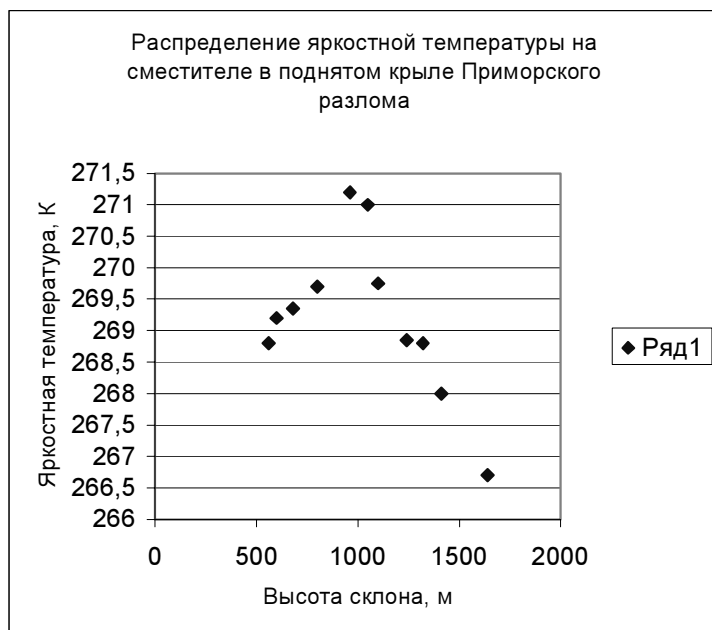
Обсуждение. Некоторые факторы проявления изменчивости уходящего поверхностного ИК-излучения

Особенности приразломных яркостных аномалий обусловлены несколькими факторами их появления. Одна из основных причин усматривается в связи с эрозионными склонами, образовавшимися за счет размыва катаклизитов и тектонитов, сопровождающих крупные разломы. Другой важный фактор обусловлен сочетанием местных атмосферных циркуляций и приразломного теплопереноса. Появление повышения интенсивности ИК - излучения на крутых склонах, обычно в центральной, осевой части аномалий, экспонирующих вскрытую эрозией поверхность разлома - сместитель, связано кондуктивно-конвективным теплопоток и массой экспонированного горного блока. Их соотношение

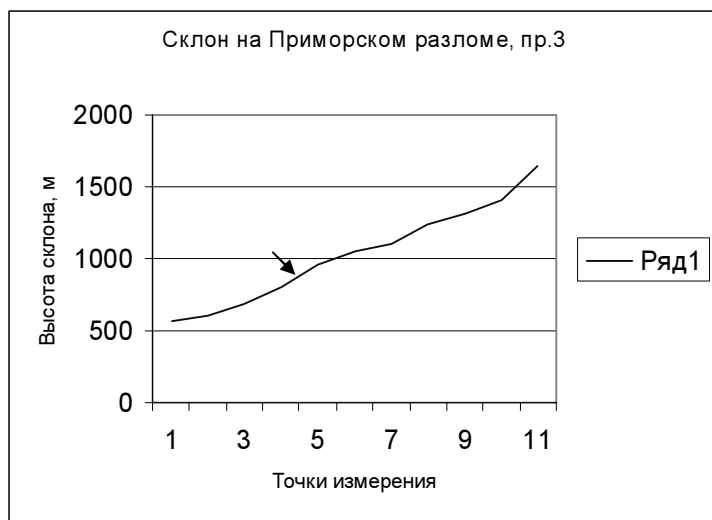
выражается уравнением:
$$\frac{\partial T}{\partial H} = Q \left(\frac{M - M_p}{H - h} \right) / \lambda \quad (2)$$

где Q – удельное теплосодержание скального массива, M – его масса, M_p – масса поверхностных осадков и почв, λ – их теплоемкость, h – высота до определяемого уровня, м. Очевидно, что градиент яркостной температуры (а, соответственно, и термодинамической) зависит от баланса тепла, выделяющегося из горного массива, за счет его теплопроводности в верхней части склона и поглощением тепла поверхностными осадками с низкой теплопроводностью в нижних двух третях высоты склона [4]. Это уравнение, возможно, не свободно от влияния условий климатической зоны (аридная область южной части шт. Невада, запад США), в которой проводились измерения. Но, то обстоятельство, что совершенно аналогичное распределение яркостной температуры на тектогенном склоне по сместителю наблюдается и для Приморского разлома (рис.7), находящегося в типичном гумидном климате свидетельствует о существовании устойчивой распространенной тенденции.

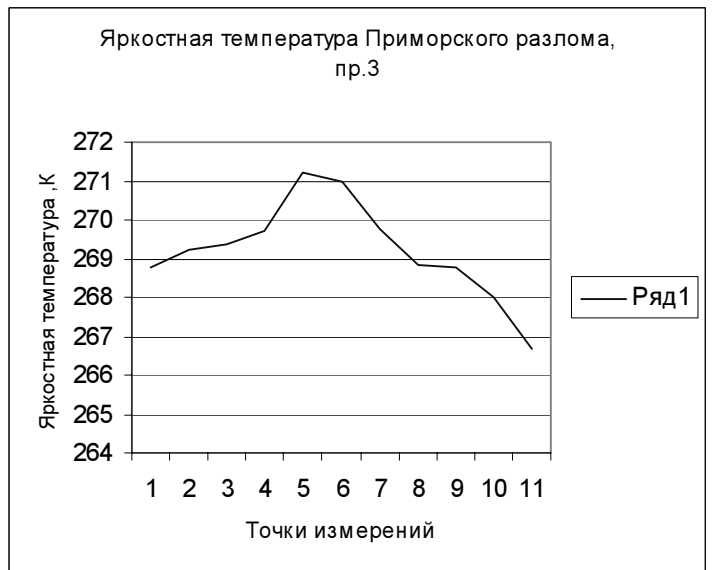
А



Б



В



- положение разлома

Рис. 7. Распределение яркостной аномалии ИК-излучения на Приморском разломе (профиль 3). А – расположение аномалии по высоте склона, Б и В рельеф и яркостная температура по профилю соответственно

Зависимость между тепловыми потоками в ИК - аномалиях (У) и открытой водной поверхности озер (Х), представленная в уравнении (1) $У = 1.3347 Х - 37.719$, отражает значительную тепловую мощность потока, создающего излучение, связанное с элементами тектонической структуры. Для его появления необходима константа, равная свободному члену уравнения, а также увеличение потока от воды, кратное коэффициенту 1,335. Таким образом, возникновение областей повышенной интенсивности наземного уходящего ИК – излучения связано с экспонированием некоторой постоянной, а именно - эндогенного, земного теплового потока через элементы тектонической структуры верхней части коры, включая активные разломы и различные по свойствам литологические комплексы. Как следствие в этой связи приразломные ИК-аномалии сопровождаются увеличением концентраций радиоактивных эманаций – радона и торона, высокотоксичных летучих элементов таких как ртуть, мышьяк и таллий, мигрирующих вдоль блоков с высокой проницаемостью. В воздухе разрушенной верхней части тектонитов на Тункинском разломе имеется 2 кратное увеличение газовой суммы $CO_2 + CH_4$ по сравнению с почвой на вмещающих породах. Также возможно устойчивое существование потоков заряженных частиц, трассирующих разломы. Косвенные доказательства их воздействия на свойства нижней тропосферы получены в [8, 9]. Следует заметить, что ГЭС являются резерватами генофонда устойчивых лесных восточно-сибирских биогеоценозов. Поэтому их быстрая регенерация в зонах активных разломов и на благоприятных литогеохимических субстратах свидетельствует об активной реакции биосферы на комплекс воздействий, связанных с проявлениями эндогенного тепломассопереноса. Не менее масштабной формой его воздействия на биосферу является локализованный выход на поверхность радиоактивных эманаций и летучих элементов, в числе которых могут быть токсичные примеси.

Статья подготовлена при финансовой поддержке по проекту РФФИ 06-05-65140-а.

Литература

1. Вилор Н.В., Минько Н.П. Спутниковый мониторинг инфракрасного излучения геолого-структурных элементов Саяно-Байкало-Патомской горной области и Байкальской рифтовой зоны // Исследования Земли из космоса, 2002. №4. С.55-61.
2. Вилор Н.В., Минько Н.П. Инфракрасное излучение геолого - структурных элементов Саяно-Байкало-Патомской горной области и Байкальской рифтовой зоны // География и природные ресурсы, 2003. № 2. С.57-63.
3. Вилор Н.В., Абушенко Н.А., Лепин В.С. Инфракрасное излучение земной поверхности в зоне аридного климата.// ДАН, 2003. Т. 388. №5. С. 647-650.
4. Вилор Н. В., Абушенко Н. А., Тащилин С.А. Инфракрасное излучение Земли в области сочленения океан-континент // Исследование Земли из космоса, 2004. №2. С.17-24.
5. Vilor N.V., Abushenko N.A., Tashchilin S.A., Yasenovsky A.A. The contemporary IR-radiation of regional faults, its nature and application for satellite monitoring of seismic active tension state of Central Asia // Joint AOGS 1-st annual meeting and 2-nd APHW conference, Singapore. AOGS Interim Council Members. 2004. P.747.
6. Vilor N.V., Abushenko N.A., Tashchilin S.A., Yasenovsky A.A. Surface heat flux of crustal blocks with velocity gradients of recent tectonic motions in Central Asia // Space geodesy and its applications to earth sciences. Shanhg, astron, observ. 2004. P. 86-91.
7. Vilor N.V., Abushenko N.A., Tashchilin S.A. IR- radiation in the spreading and rifting zones of the Afar depression, North-eastern Africa // 8-th international conference of geology of Arab world. Cairo. Cairo University. 2005. P. 94-95.
8. Дмитриев А.И., Скавинский В.П. О геолого-геофизических причинах свечений на Алтае // Новосибирск: ИГиГ СО РАН, 1989. С. 39.
9. Морозова Л. И., Борисов О.М. Причинно-следственные связи взаимодействия литосферы с атмосферой // Методы дистанционных исследований для решения природоведческих задач. Новосибирск: Наука, 1986. С.132-139.