

# **Метод дистанционного зондирования Земли при изучении уходящего инфракрасного излучения поверхности геоструктуры северо-западного Китая (Синцзян)**

**Н.В. Вилор<sup>1</sup>, В.А. Русанов<sup>2</sup>, Д.Ю. Шарпинский<sup>2</sup>**

*Институт геохимии СО РАН, г. Иркутск*

*E-mail: [vilor@igc.irk.ru](mailto:vilor@igc.irk.ru)*

*Институт динамики систем и теории управления СО РАН, г. Иркутск*

*E-mail: [lvrusanov@mail.ru](mailto:lvrusanov@mail.ru)*

Изучено распределение интенсивности собственного уходящего ИК излучения поверхности субстрата в крупном регионе с крайне аридным климатом, пустыне Такла – Макан, расположенной на Таримской платформе в северо-западном Китае (провинция Синцзян). Основой фактический материал - изображения поверхности, передаваемые спутниками Земли серий NOAA и TERRA по тепловым каналам 3.7, 8 и 10-11 мкм, от радиометров AVHRR и MODIS. Привлечены результаты радиолокационной съемки спутниковой системы ENVISAT. Рассмотрены характеристики распределения интенсивности контрастного уходящего ИК излучения элементов поверхности геоструктуры, рассчитаны мощности уходящих ИК потоков и вычислены их квазистационарные эквиваленты.

**Ключевые слова:** методы, дистанционное, зондирование, Земля, уходящее, инфракрасное, поверхностное, излучение, геологическая, структура, интенсивность, сейсмоактивные, разломы, Таримская, платформа.

## **Введение**

Целенаправленное изучение материалов, предоставляемых орбитальными средствами дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса выявляет высококонтрастное уходящее ИК излучение, свойственное областям планеты с активными геодинамическими ситуациями. Распределение уходящей ИК радиации обусловлено не только излучающей способностью поверхности, но также связана с составом, свойствами и теплопотоком в субстрате излучающего слоя. Контрастной интенсивностью выделяется уходящее поверхностное ИК излучение крупных, региональных разломов в областях высокой тектонической активности из различных частей северного полушария [1]. Приразломные региональные ИК аномалии, зафиксированные радиометрами спутников серий NOAA и TERRA, увязываются с физическим состоянием, деформационными свойствами субстратов объектов геологической структуры поверхности. Априорно допускаются в качестве исходной причины устанавливаемых аномалий сейсмологические и тепловые свойства верхней коры в зонах сейсмоактивных разломов как важнейшее проявление внутренней энергетики коры планеты. В предшествующих публикациях [2-4] показано, что именно зоны активных крупных региональных разломов характеризуются повышенной интенсивностью уходящего собственного поверхностного излучения в инфракрасном диапазоне 8-11 мкм.

Цель данного исследования состоит в оценке распределения интенсивности собственного уходящего ИК излучения поверхностного субстрата, не осложненного биосферными помехами, в таком крупном регионе с крайне аридным климатом, каким является пустыня Такла – Макан, расположенная на Таримской платформе в северо-западном Китае (провинция Синцзян). В противоположность ситуации регионального тектонического растяжения верхней коры,

сформировавшего излучающие геоструктурные объекты Байкальской рифтовой зоны [3, 4], на Таримской платформе присутствует региональный режим тектонического сжатия – рампа [5]. Необходимость выделения наиболее интенсивно излучающих элементов геоструктуры этого сегмента земной поверхности, включающего платформу и ее складчатое обрамление, предполагает определение таких количественных параметров как интенсивность, мощность и устойчивость уходящего поверхностного ИК потока. Конкретные задачи включают: 1. характеристику распределения интенсивности контрастного уходящего излучения в целом на платформе и на различных элементах ее поверхностной геоструктуры; 2. характеристику структурных элементов с наиболее контрастным излучением; 3. оценку интенсивности уходящих ИК потоков, 4. их корреляцию с современной геодинамикой по данным GPS.

## Методика

Инструментальной основой для анализа природного феномена уходящего ИК излучения являются изображения поверхности, передаваемые по 5 каналам искусственными спутниками Земли 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 и влияния атмосферы использована съемка собственного ИК излучения земной поверхности при пролетах с абсолютно ясной погодой позднего ночного времени второй половины осеннего сезона и зимы. В обобщение включены как отдельные безоблачные сцены, на которых измерен уходящий поток как интегральный, так и селективный для диапазона длин волн в тепловом интервале TIR 8 и 10 мкм, так и обобщенные ИК спутниковые карты за более длительные периоды безоблачных наблюдений.

В массиве спутниковых данных определена зависимость уходящего ИК потока от наземной термодинамической температуры подспутниковой территории путем оценки влияния на эмиссию ИК потока способом измерения на профилях, ориентированных через региональные разломы. Зависимость уходящего ИК потока от термодинамической температуры подспутниковой поверхности formalизована расчетом в терминах полинома или сплайна 3-й степени. Построены графики производных потока по температуре и определены стабилизированные интенсивности излучения, которым априорно придается значение квазистационарных потоков [6]. Интегральная мощность вычислена из их рассчитанных значений, полученных на профилях, и пространственных параметров региональных излучающих элементов геоструктуры поверхности. Использованы данные GPS, опубликованные в русской и китайской литературе.

## Поверхностная геоструктура Таримского сектора провинции Синцзян северо-западного Китая

Крупнейшим элементом макрорельефа провинции является пустыня Такла-Макан протяженностью с запада на восток 1500 км и с севера на юг 650 км, общей площадью более 271 000 кв. км. На южном горно-складчатом обрамлении Таримской платформы и пустыни Такла-Макан возвышается горная система Куньлуна – Алтынтаха. Горный массив в виде колоссальной вогнутой на север дуги ограничивает южный край платформы, отделяя его от высокогорной плоской впадины Цайдама. Вдоль северной границы платформы сухие отроги Восточного Тянь-Шаня, хребты Чолтаг и Куруктаг.

В геоструктуре региона сочетаются обширный платформенный массив и его горно-складчатое обрамление. В геологическом строении окружающих горных систем участвуют рифейский структурный комплекс с возрастом от 850 млн. лет, которым представлены складчатые комплексы Куруктага, Алтынтаха и передовой части системы Куньлуна. Массив восточного Тянь-Шаня сложен структурным комплексом герцинид [7]. Важнейшим элементом геоструктуры являются многочисленные глубинные и региональные разломы, по которым складчатое обрамление взаимодействует с платформенным массивом (рис. 1А). Наибольшая сейсмическая активность мелко- и

глубоко фокусных землетрясений с магнитудами до 7-8 и более сосредоточена на западной окраине платформы, в Алайской долине - сочленении Тяньшанского и Памирского геоблоков [8]. В восточном направлении вдоль северного и южного ограничений интенсивность сейсмичности уменьшается до магнитуд не более 5-5.5. Густота расположения эпицентров наиболее высока на западной границе с Памиром, в Калпинтаге и по структурному шву на северной окраине Северо-Таримского прогиба. Фронтальные разломы восточной окраины Памира, Куньлуня и Атынтара разделяют структурно - тектонические блоки. Краевые разломы между платформой и восточным Тянь-Шанем ограничивают коровые блоки [9]. Северный и северо-восточный контуры Таримской платформы являются областями высокой деструкции континентальной литосферы [10]. Очевидно, что краевые швы платформы с заложенными по ним активными разломами характеризуются высоким потенциалом энергетики верхней коры, выраженным в сейсмике и повышенных градиентах регионального тепловом потоке [11], эмиссия которого, экспонируемая уходящим ИК излучением, отчетливо фиксируется на орбитах радиометрами искусственных спутников.

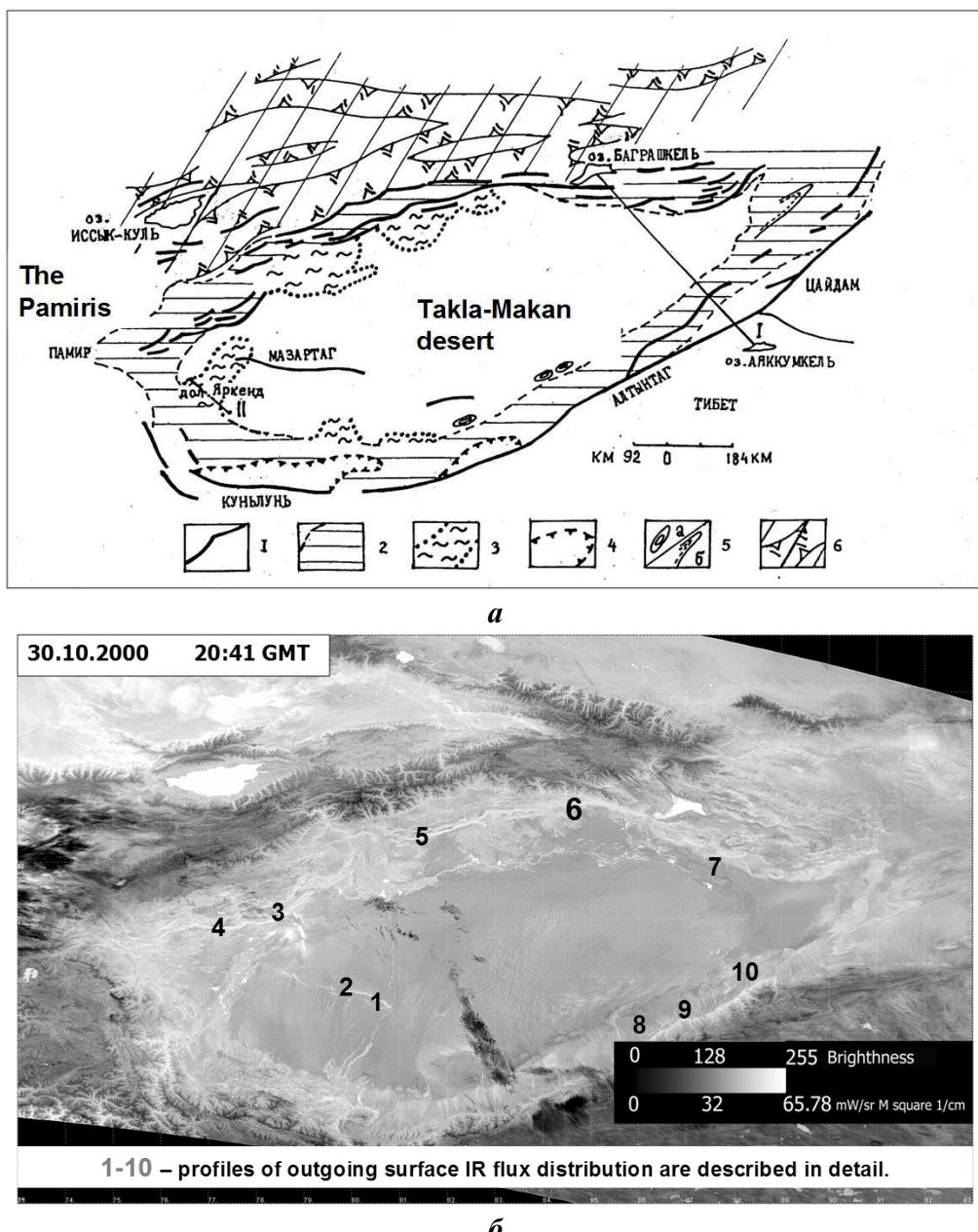


Рис. 1.

## Результаты

Распределение уходящего поверхностного ИК излучения платформы и ее обрамления (рис. 1Б) тесно связано с элементами геоструктуры различного масштаба. По уровню радиационного контраста в уходящем ИК потоке среди них выделяются как региональные тектонические, так и физико-географические, ландшафтные единицы:

*Элементы геоструктуры Уходящий ИК поток ( $\text{мВт}/\text{м}^2 \cdot \text{стр.мкм}$ ) σ*

Разломы и зоны разломов  $68.813 \pm 2.933$

Подгорные равнины и  $64.293 \pm 2.685$

межгорные впадины

Грядовые пески в центре  $57.908 \pm 0.677$

пустыни

Тибетское нагорье  $52.776 \pm 1.058$ ,

На наиболее контрастированных зимних ночных сценах (рис. 1В) выделяются 4 комплекса структурных форм поверхности с убывающей интенсивностью излучения:

1. региональные разломы и зоны динамического влияния разломов (ЗДВР),
2. немногочисленные изолированные выступы фундамента в центральной части платформы,
3. делювиально-пролювиальная подгорная равнина Куньлуня – Алтынтага вдоль активного Алтынтагского сдвига,
4. области увлажнения и грунтовых вод (инфилтратационных и конденсационных) вдоль речных долин и в «дельтах» их выклинивания на краях пустыни. По ее северу это (с запада на восток) речные системы Аксу, Музарта, Кончендары, по югу (в том же направлении) – Яркенда, Хотана, Керии и Черчена. На фронте подгорной равнины распределение уходящего ИК излучения связано с линейными пятнами солончаков и оазисов по тектоническим структурным направлениям на запад-северо-запад и восток – северо-восток, а также с конусами выноса непротяженных потоков, иссякающих на выходе в пустыню. В единичных случаях при полной прозрачности атмосферы зимней ночи в центре пустыни фиксируются разрозненные облака аэрозоля с радиационной яркостью, превышающей ИК поток холодной песчаной поверхности на первые единицы интенсивности.

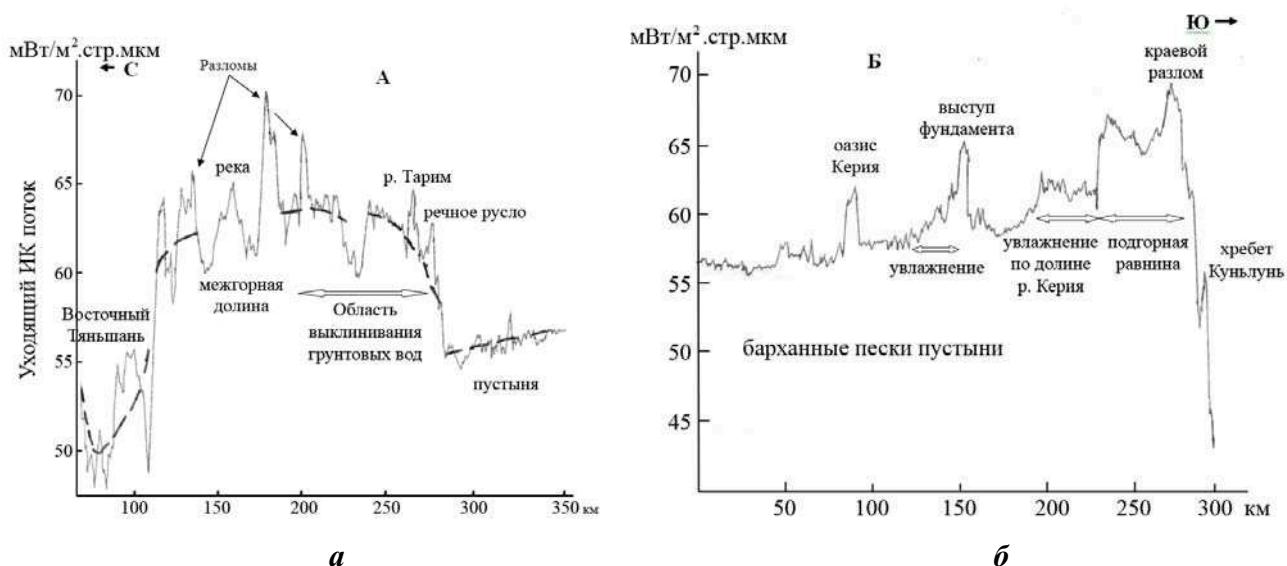


Рис. 2.

Протяженные зоны с повышенной интенсивностью уходящего ИК излучения расположены на границе между крупными морфолого-структурными областями: высочайшими горными хребтами Восточного Тяньшана и Куньлуня – Алтынтага (рис. 2А, Б) и платформой. Они представлены

элементами геоструктуры, выделяющимися большей интенсивностью излучения при градиенте зимнего ночного ИК потока около 8–16 мВт. Среди них основными являются оазисы, площади распространения и выклинивания грунтовых вод, подгорные наклонные равнины и зоны разломов. Существование первых двух типов обусловлено распространением природных гидросистем, формирующихся за счет поверхностного и подземного стока от горных хребтов к внутренним частям пустыни. Гравитационно-инфилтратионный перенос теплоносителя – воды направлен от уровня выпадения и аккумуляции атмосферных осадков в область непрерывного и полного испарения. Ореолы снижения интенсивности ИК излучения на выклинивании грунтовых вод расположены вокруг оазисов, выступов фундамента из-под песков, речных долин, на их «сухих дельтах» в пустыне. Подгорные равнины представлены протяженным, устойчивым по ширине пролювиально-делювиальным шлейфом, тыловой части отделенным от хребтов граничными разломами с градиентом интенсивности излучения не менее 5 мВт.

Как эталонная мера наибольшей контрастности излучения выступает интенсивность уходящего ИК излучения открытой воды в речных руслах и озерах. При зимнем температурном минимуме поверхности наибольший уходящий ИК поток от воды (оз. Иссык-Куль) равен  $84.61 \pm 0.34 \text{ мВт}/\text{м}^2.\text{стр.мкм}$  и рассматривается как элемент сравнения и нормирования для прочих «светящихся» объектов геоструктуры. Среди них в порядке в порядке уменьшения мощности излучения располагаются перечисленные региональные разломы, подгорные равнины на южной окраине платформы и территории залегания грунтовых вод (таблица 1).

*Таблица 1. Параметры интенсивности уходящего поверхностного ИК излучения элементов геоструктуры Таримской платформы*

Излучающая региональные области		Параметры, км		ИК поток при температурном минимуме, $\text{мВт}/\text{м}^2.\text{стр.мкм}$	$\frac{I_{\text{пов}}}{I_{\text{воды}}}$
Раз- ло- мы	Протяжен- ность	Ширина			
	Мазартаг	235	5 - 12	$65.06 \pm 0.75$	0.769
	Калпинтаг	434	8 - 16	$69.2-68.24 \pm 1.22$	0.818
	Чолтаг-Куруктаг	926	26 - 36	$68.92 \pm 0.54$	0.814
	Алтынтааг	410	16 - 27	$72.82 \pm 1.33$	0.861
Подгорная равнина: конусы выноса между конусами поверхность		1240	92 - 95	$70.8 \pm 0.98$ $66.82 \pm 0.44$ $63.97 \pm 0.31$	0.837 0.79 0.756
Грун- то- вые воды	«дельта» р. Аксу	215	123 - 140	$65.43 \pm 0.9$	0.77
	«дельта» р. Музарт	160	110 - 123	$64.36 \pm 0.57$	0.76
	долина р. Яркенд	245	43	$68.62 \pm 0.53$	0.81
	долина р. Керия	123	31 - 37	$62.75 \pm 0.3$	0.74

К атмосферным факторам уходящего ИК излучения относятся редко появляющиеся облака аэрозоля, характерные для центральных областей пустыни. Интенсивность их излучения на  $2 - 4 \text{ мВт}/\text{м}^2.\text{стр.мкм}$  превышает поток от подстилающих барханных песков.

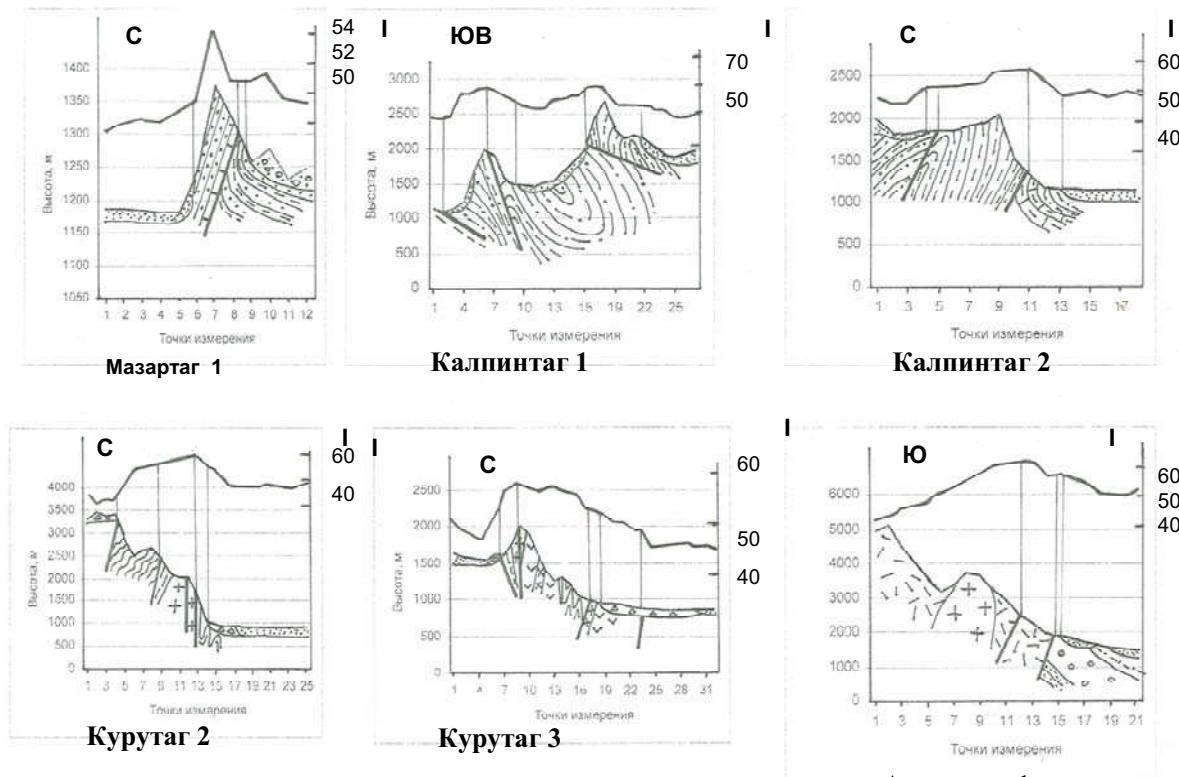
#### *Уходящее ИК излучение зон разломов Таримской платформы и ее обрамления*

Наибольшая интенсивность уходящего ИК излучения пространственно ассоциирует с крупнейшими зонами региональных разломов Таримской платформы и ее краевых частей. Это следующие тектонические структуры с непериодической, постоянной во времени ИК эмиссией (рис. 1):

1. Мазартаг – Росстаг к востоку от долины р. Яркенд до р. Хотан в центре платформы,
2. Калпин-Таг на северо-западной окраине платформы от региона р. Кашкар (на западе) до «дельты» р. Аксу к востоку,

3. гигантское по протяженности сочетание региональных разломов вдоль северного края платформы от р. Аксу на западе до оз. Лобнор на востоке,

4. выделяющаяся наибольшей яркостью излучения зона сдвига у подножия хребта Алтынтау на юго-восточной окраине. Структура распределения излучения рассмотрена на них по отдельным пересечениям – профилям (рис. 3).



**Уходящий поверхностный ИК поток (I) литолого-структурных комплексов и разломов Таримской платформы и обрамления**

*Rис. 3.*

*Структура Мазартаг-Росстаг (рис. 3А), расположенная в центре платформы представлена валом шириной до 5-6 км при длине до 240 км вдоль сдвигово-взброса юго-западного падения с узкой зоной смятия в его северной части и сложенным карбонатно-терригенной толщей неоген-третичного возраста. Сопряженные крупные сбросо-сдвиги субмеридионального и северо-восточного направлений иногда вмещают мощные стратиформные гидротермалиты. Максимум излучение создается северо-восточным склоном неширокого хребта высотой до 1375 м, совмещенного с ЗДВР сдвигово-взброса. ИК поток изменяется в зависимости от сезона от 85.02 мВт/м<sup>2</sup>.стр.мкм в августе до 52.23 мВт/м<sup>2</sup>.стр.мкм в январе. По концепции [8] предполагается, что структура Мазартага-Росстага является внутриплатформенным продолжением, развитием субмеридионального сбросо-сдвига Калпинтага. К северу от трассы мазартагского сдвигово-взброса располагаются единичные гипоцентры мало глубинных землетрясений с магнитудой 6-7 [8].*

*Структура Калпинтаг протяженностью около 270 км и шириной до 90 км является сложно дислоцированным разрывно-складчатым сооружением, в котором участвует комплекс осадочных толщ с возрастом от ордовика до среднего карбона [11]. Система региональных разломов представлена сочетанием субширотных надвигов, субмеридиональных и диагональных сдвиго-бросов. Горные хребты высотой до 2000 – 2700 м, ограниченные или сформированные надвигами, имеют наибольшую интенсивность уходящего поверхностного потока ИК излучения (рис. 3Б, В) от 85 до 56 мВт/м<sup>2</sup>.стр.мкм, снижающуюся в отдельные месяцы до 49 мВт/м<sup>2</sup>.стр.мкм. Ширина излучающих пространств до 8 км, радиационный контраст составляет около 11 К. Вдоль*

системы фронтальных надвигов располагаются гипоцентры малоглубинных землетрясений магнитудой до 6-7. На сочетании со структурой Тяньшаня – Памира (западный фланг структуры) проявлены единичные события с  $M \geq 8$  [8].

*В разрывно-складчатой структуре северной окраины платформы, экспонированной сплошной полосой интенсивного ИК излучения, контрастно сочетаются фрагмент дислоцированных неогеновых отложений северной части Таримского прогиба (западный фланг) и протяженный выход гранитно-метаморфического слоя коры с возрастом субстрата от среднего карбона до верхнего протерозоя (рифя) и широкой гаммой составов интрузивных массивов (восточная часть) [11]. Наибольшая интенсивность потока уходящего поверхностного ИК излучения связана с блоками на крыльях региональных надвигов и шарьяжей (неогеновый дислоцированный субстрат), взбросов и региональных сдвигов в палеозойско-рифейском блоке (рис. 3Г, Д). Интенсивность поверхностного излучения достигает  $85-54 \text{ мВт/м}^2\text{.стр.мкм}$  при ширине пространства эмиссии до 36 км. В сейсмическом отношении наиболее активна неогеновая часть структуры с выраженным режимом субмеридионального сжатия и эпицентрами малоглубинных землетрясений с магнитудой 6-7. Единичные события имеют мощность 7-8 М [8].*

*Подножие Алтынтага (южная ИК аномалия) трассирует тектоническое взаимодействие по региональному сдвигу платформенного массива и блока гранитно-метаморфического слоя коры рифейско – протерозойского возраста, выступающего в горстовой структуре хребта Алтынта. В платформенном массиве с ним взаимодействует перикратонный прогиб с мезокайнозойским осадочным заполнением, соответствующим возрасту от юры до палеогена [11]. Область поверхностной эмиссии в ИК диапазоне протяженностью до 410 км и шириной до 16-28 км выделяется интенсивностью от 85 до 60  $\text{мВт/м}^2\text{.стр.мкм}$  и понижением ее в отдельные месяцы до 43 - 48  $\text{мВт/м}^2\text{.стр.мкм}$ . Она располагается на передовом склоне хребта северо-западной экспозиции с максимумами над сместителями сдвига - взбросов (рис. 3Е). Тектоническим фоном является северо-восточная ориентировка регионального сжатия с расположением мало глубинных гипоцентров землетрясений по флангам аномалии: на востоке – в граничной структуре с Цайдамом, на западе – в соединении с Куньлунем при мощности событий до 7-8 М [8].*

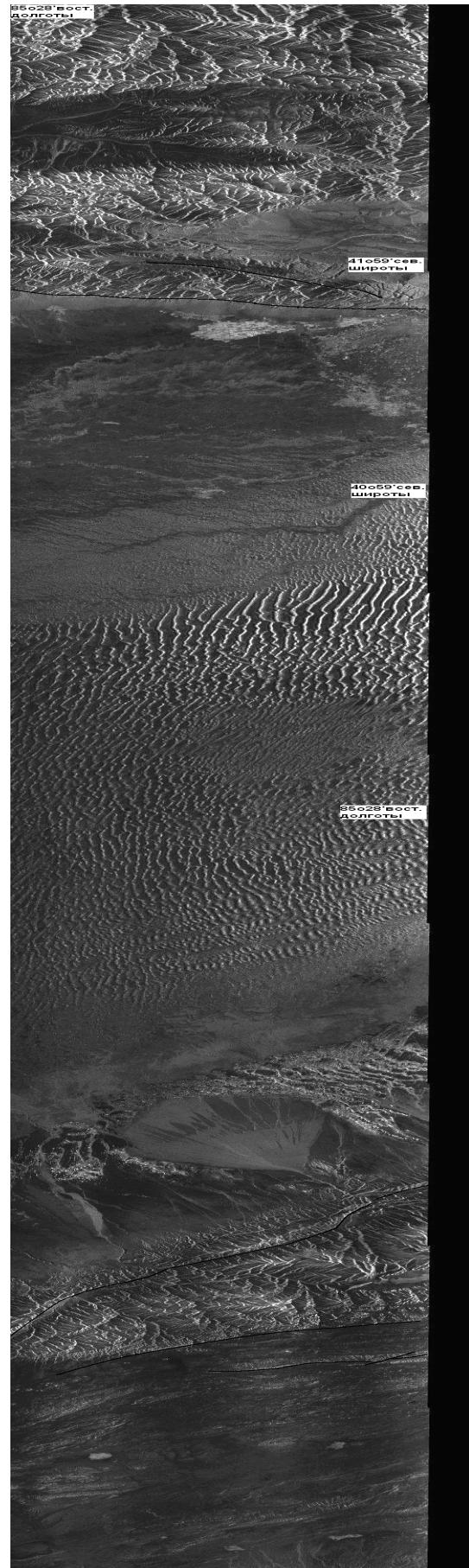
*Уходящее поверхностное ИК излучение подгорной равнины наиболее контрастно вдоль подножий Куньлуня и Алтынтага с относительно повышенной яркостью в пространстве от долины р. Хотан (запад) до долины р. Черчен (восток). Поле излучения неоднородно и формируется, главным образом, уходящим ИК потоком от поверхности конусов выноса речных русел на разлив их после выхода из ущелий и более тонкой структурой сочетания отложений отдельных сближенных потоков (табл. 1). Это области постоянного увлажнения из относительно неглубоко залегающих грунтовых вод.*

*Территории распространения грунтовых вод, примыкающие к подгорным равнинам, совмещаются с «сухими дельтами» северных притоков Тарима – Аксу и Музарта, а с юга – с долинами р.р. Яркенда и Керии. Грунтовые воды ограниченно распространяются от р.р. Хотан и Черчен. При общей причине возникновения уходящего поверхностного ИК излучения его интенсивность на структуре подгорных равнин превосходит на 3% величину эмиссии от площадей распространения грунтовых вод. Все перечисленные элементы геоструктуры поверхности отчетливо зафиксированы на радарных изображениях (ENVISAT, сцены 2006 г.) (рис. 4). При благоприятной ориентировке относительно трассы пролета спутника возникает прямая корреляция интенсивности уходящего ИК потока и отраженного радиолокационного импульса. Так проявляется шарьяжная структура северного окончания Калпинтага, надвинутая на молодую карбонатную платформу (рис. 4А). У подножия Чолтага прослеживается региональный сдвиг субширотного направления, ограничивающий полосу склоновых отложений в тыловой части подгорной равнины (рис. 4Б). Линии выходов регионального надвига северного Калпинтага и чолтагского сдвига на северном ограничении Таримской платформы полностью совмещаются по географическим координатам с трассами расположения максимумов интенсивности уходящего ИК потока (рис. 4В).*



*Рис. 4А.*

Сезонная зависимость уходящего ИК потока обусловлена его зимним минимумом, отчетливо проявленным на бесснежной песчано-каменистой поверхности региона. Однако, уходящее излучение выделяемых объектов резко теряет контрастность в летне-весенний период из-за мощного ИК альбедо, характерного в аридном климате для песчано-солончаковых пустынных территорий. Наблюдаемая интенсивность и контрастность относительно слабого уходящего собственного ИК излучения элементов геоструктуры существенно повышаются при наименьшей дневной солнечной активности (поздняя осень-зима) и наибольшем ночном выхолаживании поверхности и прозрачной атмосфере с сохранением радиационного контраста на уровне 9-10 К с прилегающим пространством. В зимнее время уходящий поток снижается до некоторого относительно стабильного минимума около  $50 \div 55$  мВт/м<sup>2</sup>.стр.мкм, хотя иногда случаются его отдельные уменьшения, обусловленные кратковременными понижениями термодинамической



*Рис. 4Б.*

температуры. При ночном охлаждении зимней поверхности подгорной равнины после выпадения осадков у подножия Алтынтаха возникают интенсивные кратковременные аномалии излучения до  $75.5 \text{ мВт}/\text{м}^2 \cdot \text{стр.мкм}$ , вероятно, обусловленные локальным увлажнением поверхностного слоя грунтов.

## Обсуждение

*Квазистационарный уходящий ИК поток разломов* рассчитывается на основе проявления временного интервала с устойчивой интенсивностью уходящего излучения. При ночной термодинамической температуре конца осени – начала зимы на ЗДВР стабилизируется уходящий поверхностный ИК поток независимо от состава поверхностного излучающего слоя. При определении этой константы потока используется сезонно-температурный ход его графика. Как показано на разломах Байкальской рифтовой зоны [8] вогнутая форма кривой обусловлена влиянием деятельного слоя поверхностного грунта, изменяющего контрастность аномалий излучения. При расчете константы потока  $I_{\text{const}}$  на региональной зоне разломов по временному усредненному графику определяется приращение измеряемых значений  $I_{\text{det}}$  и графически устанавливается минимальная величина производной, соответствующая величине, стабильной при небольшой отрицательной термодинамической температуре территории конца осени – начала зимы (рис. 5). Рассчитываемый квазистационарный уходящий ИК поток (в диапазоне  $8 + 10 \text{ мкм}$ ) и его интегральная интенсивность по площади разломов с учетом вариаций ширины ЗДВР достигают наивысшего уровня в краевой зоне северной окраины платформы и вдоль регионального сдвига, ограничивающего ее у подножия Алтынтаха (таблица 2).

Таблица 2. Квазистационарные уходящие поверхностные ИК потоки крупнейших региональных зон разломов Таримской платформы

Зона разломов	Квазистационарный уходящий поверхностный ИК поток, $\text{мВт}/\text{м}^2 \cdot \text{стр.мкм}$	Площадь ЗДВР, $\text{км}^2$	Интегральная мощность, $\text{МВт}$
Мазартаг	$109.7 \pm 2.4$	до 2585	0.284
Калпинтаг	$129.4 \pm 2.6$	до 7074	0.920
Северная краевая зона	$127.0 \pm 1.5$	до 33234	4.320
Сдвиг Алтынтаха	$135.6 \pm 1.4$	До 11616	1.580

Таким образом, современные методы дистанционного зондирования поверхности Земли предоставляют количественную информацию об энергетических характеристиках протяженных геоструктурных элементов с устойчивой во времени эмиссией уходящего ИК излучения. Интенсивность эмиссии мало зависит от коэффициента излучения поверхностного слоя на различных по составу горных породах. Она связана со свойствами его коренного субстрата в ЗДВР и наиболее вероятно экспонирует теплопоток взаимодействующих блоков верхней коры.

*Соотношение интенсивности уходящего ИК потока с данными спутниковой радиолокации поверхности и GPS.* Карты распределения уходящего ИК излучения поверхности по данным спутниковых систем NOAA и TERRA при их пространственном разрешении, равном  $1 \text{ км}^2$ , содержат генерализованные образы крупных геоструктурных элементов, таких как литолого-структурные комплексы хребтов, ограниченные региональными разломами, их протяженные тектогенные склоны, отрицательные формы рельефа, связанные с эрозией на ЗДВР. Эмиссии ИК потока находятся в тесном пространственном соотношении с конкретными элементами геоструктуры. Радиолокационной съемкой территории платформы по материалам спутниковой системы ENVISAT (сцены 2006 г) выделяются все основные элементы структуры с повышенной интенсивностью уходящего ИК потока (рис. 4). При разрешении  $100 \times 100 \text{ м}$  в хребте Мазартаг (центральная часть платформы) максимум ИК эмиссии прослеживается, полностью совмещаясь с зоной смятия в сероцветной терригенно-

карбонатной толще, датированной третичным возрастом, вдоль взросо-сдвига с крутым юго-западным падением. Юго-западное крыло его сместителя, экспонированное к трассе пролета спутника, создает максимальный эффект отражения радиолокационного сигнала. Трасса размещения максимумов интенсивности основной аномалии уходящего ИК потока в геоструктуре хребта Чолтаг полностью совмещена с выходом сместителя одного из самых молодых региональных сдвигов (рис. 4Б) с высоким отражением радиолокационного сигнала.

Зависимость сезонного радиационного контраста -  $\Delta$  приразломного максимума уходящего ИК потока и окружающей пустынно-песчаной подспутниковой территории от ширины области излучения ( $N$ , км), варьирующей в зависимости от ее термодинамической температуры, в структуре Мазартага выражается корреляционным уравнением:

$$N, \text{ км} = 0.489 \Delta + 3.642$$

И дает величину тепловой инерции поверхности ( при  $\Delta = 0$ ), равную соответственно 3.642 мВт/м<sup>2</sup>.стр.мкм (в диапазоне 8 мкм). С учетом доли в диапазоне 10 мкм, равной 4.669 мВт/м<sup>2</sup>.стр.мкм поток ИК излучения на разломе в 23 раза превышает эмиссию за его пределами.

По данным GPS Таримский блок в составе структурного ансамбля Центральной Азии участвует в 2-х векторах дрейфа: 1. в соответствии с субмеридиональной ориентировкой сжатия в северном направлении и 2. восток – юго-восточном перемещении согласно конвергенции восточной части евразийской плиты [9, 12, 13]. Региональные разломы с высокой интенсивностью уходящего ИК излучения расположены вдоль границ коровых блоков на северном краевом шве платформы. Интенсивное излучение разломов, ограничивающих ее с запада и юга, трассирует поверхности взаимодействия структурно-тектонических блоков [9]. Деформационные нагрузки между восточным Тяньшанем и северным краем Таримского массива, рассчитанные по данным GPS [9], выделяются наивысшим для Центральной Азии модулем субмеридионального линейного сжатия, равным -  $1.118 \pm 0.113 E_n / 10^{-8} \text{Дж/год} \cdot \text{м}^2$ . Этот деформационный эффект выражается наибольшей мощностью уходящего ИК излучения (табл. 2). На юго-восточном фланге наиболее активен левосторонний сдвиг Алтынтара [10, 14] с самой высокой интенсивностью уходящего ИК потока на южной аномалии. Смещения вдоль разлома происходят со скоростью  $9 \pm 5 \text{ мм/г}$  при поперечном сжатии  $3 \pm 1 \text{ мм/г}$ . Значительной доле максимальной деформационной нагрузки, рассчитанной по измерениям GPS [9], на границах активных блоков Мазартага, Калпинтара и Алтынтара, сопутствует аномальная интенсивность ИК эмиссии. В сформированной поверхностной геоструктуре сочетания Таримской платформы с окружающими складчато-разрывными блоками наибольшее ИК излучение свойственно разломам с кинематикой регионального сжатия – шарьякам, надвигам, взбросо-сдвигам и сдвигам. Тектонические нарушения, поперечные к ним, главным образом, сбросы и связанные с ними второстепенные элементы геоструктуры в поле наблюдаемого излучения не проявляются. Геотермические градиенты регионального теплового потока в верхней коре [10] возрастают на рассмотренных разломных зонах, экспонированных интенсивной ИК эмиссией на южной и северной границах геоблока Таримской платформы.

Авторы глубоко признательны зав. лабораторией ИКИ РАН (Москва), к. ф.-м. н. О.Ю. Лавровой и сотрудникам Института солнечно-земной физики СО РАН (Иркутск) Н.А. Абушенко, С.А. Ташилину за помощь при подготовке фактического материала.

## Выводы

1. В градациях снижения интенсивности уходящего поверхностного ИК излучения Таримской платформы наиболее контрастно выделяются следующие сочетания структурных форм: структурно-литологические комплексы, региональные разломы и их зоны динамического влияния, изолированные выступы фундамента в центральной части платформы, делювиально-пролювиальная подгорная равнина Кунылуня – Алтынтара вдоль активного Алтынтарского сдвига, площади увлажнения и грунтовых вод (инфилтратионных и конденсационных) вдоль речных долин и в «дельтах» их выклинивания на краях пустыни.

2. Наибольшее уходящее поверхностное ИК излучение свойственно разломам с кинематикой регионального сжатия – шарьяжам, надвигам, взбросо-сдвигам и сдвигам.

3. Квазистационарные ИК потоки крупнейших региональных зон разломов Таримской платформы варьируют от  $109.7 \pm 2.4$  до  $135.6 \pm 1.4$  мВт/м<sup>2</sup>.стр.мкм, а их интегральная мощность достигает  $0.284 \div 1.580$  МВт.

4. Деформационные нагрузки между восточным Тяньшанем и северным краем Таримского массива, рассчитанные по данным GPS, выделяются наивысшим для Центральной Азии модулем субмеридионального линейного сжатия, которому соответствует наибольшая мощностью уходящего ИК излучения более 1.6 МВт.

5. Самая высокая интенсивность уходящего ИК потока (южная аномалия,  $I_{det} = 135.6 \pm 1.4$  мВт/м<sup>2</sup>.стр.мкм) приурочена к активному левостороннему сдвигу Алтыната, по которому скорость смещений достигает  $9 \pm 5$  мм/г.

## Литература

1. Вилор Н.В., Абушенко Н.А., Таццилин С.А. Спутниковый метод корреляции эмиссионного потока и элементов геологической структуры Земли в северном полушарии // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных объектов и явлений. Сб. научн. статей. М.: ООО «Азбука-2000», 2006. Вып. 3. Т. II. С. 215-224.
2. Вилор Н.В., Минько Н.П. Инфракрасное излучение Саяно-Байкальской горной области и Байкальской рифтовой зоны по данным спутникового мониторинга // Доклады РАН, 2001. Т. 379. № 5. С.666-669.
3. 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.
4. Вилор Н.В., Минько Н.П. Инфракрасное излучение геолого-структурных элементов Саяно-Байкальской горной области и Байкальской рифтовой зоны по данным спутникового мониторинга // География и природные ресурсы, 2003. №2. С.57-63.
5. Башарин А.К., Беляев С.Ю., Ли Году. Сравнительный анализ тектоники и эволюции Енисей - Байкитской части Сибирского кратона и Таримской платформы в рифейско-фанерозойский период // Геология и геофизика, 2000. Т. 41. № 4. С. 479-490.
6. Вилор Н.В., Ключевский А.В., Демьянович В.М., Русанов В.А., Шарпинский Д.Ю. Методы тематического спутникового мониторинга: уходящее поверхностное излучение Земли, как экологический фактор // Инженерная экология, 2008. № 4. С.32-50.
7. Тектоническая карта Евразии масштаба 1:5 000 000. Ред. академик АН СССР Яншин А.Л. М.: Геологический институт АН СССР, министерство геологии СССР, 1966.
8. Литосферная динамика Китая и древних морей. Карта. Масштаб 1:4 000 000. Ред. Ма-Кси-Туан. Cartographic Publishing House. China. 1986.
9. Huang L., Zhang P. Velocity field block motion and strain field derived from GPS observations in mainland China // Proceedings of the APSC symposium. Space geodesy and its application for earth sciences. Shanghai. Publishing by Shanghai astronomical observatory Chinese academy of sciences. 2004. Рр. 67-77.
10. Актуальные вопросы современной геодинамики Центральной Азии. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. С. 296.
11. Atlas of geological maps of Central Asia and adjacent areas. SPb.: VSEGEI. 2008. Рабочий вариант, представленный на 33 Международном геологическом конгрессе. Осло. 2008.
12. Gatinsky Yu.G., Rundquist D. V., Tyupkin Yu.S. Modern crustal structure and block motion: East and southeast Euroasia // Proceedings of the APSC symposium. Space geodesy and its application for

earth sciences. Shanghai. Publishing by Shanghai astronomical observatory Chinese academy of sciences. 2004. Pp. 59 – 66.

13. Jinwei R. Correlated crust and mantle strain field in China // Proceedings of the APSG symposium. Space geodesy and dynamic planet. Publishing by APSG program. Central bureu. Shanghai. 2006. Pp.221-224.

14. Jun Sh., Yipeng W., Jinwei R., Zhongguan C. The Guaternary dextral shearing in the southern Tibetan plateau // Proceedings of the 4-th workshop APSG program. Shanghai. Shanghai scientific and technical Publishers. 2001. Pp. 133-145.

## **The distance probing of the Earth method for research of the outgoing infrared radiation of the surface geostructure of north-western China (Xinjiang)**

**N.V. Vilor<sup>1</sup>, V.A. Rusanov<sup>2</sup>, D.Yu. Sharpinsky<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Institute of Geochemistry, Siberian Branch of RAS, Irkutsk

<sup>2</sup>Institute of System Dynamics and Control Theory, Siberian Branch of RAS, Irkutsk

The distribution of the own outgoing infrared (IR) radiation of the surface substrate intensity is studied in the large extrarid climate region, called Takla-Maran desert, which situated on Tarim platform. Basis fact material is the surface pictures, which were passed by NOAA and TERRA satellites for 3.7, 8 and 10  $\mu\text{m}$  from AVHRR and MODIS radiometers. Radar survey ENVISAT system results are used. Distribution characteristics of contrast outgoing IR radiation of the surface geostructural elements intensity are considered, the outgoing IR fluxes powers are calculated and its quasiconstant values are produced.

**Keywords:** methods, distance, probing, Earth, outgoing, infrared, surface, radiation, geological, structure, intensity, seismoactive, faults, Tarim, platform.