ПОВЕРХНОСТНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОТОКИ АКТИВНЫХ РЕГИОНАЛЬНЫХ РАЗЛОМОВ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ

<u>Вилор Н.В.</u>, Зарубина О.В., Андрулайтис Л.Д., Шибанова Е.В., Данилов Б.С.¹ Институт геохимии СО РАН, Иркутск, vilor@igc.irk.ru ¹Институт земной коры СО РАН, Иркутск, boris@crust.irk.ru

Для изучения энергетических и геохимических свойств граничных региональных разломов - важнейшей части структуры рифтов, этих узких проницаемых областей протяженностью до 1000 км и более, с глубоким проникновением в кору, применены тепловая космическая съемка и геохимические исследования. Целью их является определение поверхностного теплового потока и потоков подвижных рудных элементов на краевых разломах Байкальской рифтовой зоны - БРЗ.

Подход к изучению интенсивности (мощности) уходящего поверхностного инфракрасного излучения - УПИКИ имеет инструментальную основу в анализе изображений поверхности, передаваемых по 5 каналам искусственными спутниками Земли - ИС серий NOAA и EOS, в том числе по тепловым каналам от радиометров AVHRR и MODIS. Их обзорные наблюдения позволяют наиболее полно исключить влияние солнечного нагрева поверхности Земли в пролетах позднего ночного времени второй половины осеннего сезона и начала зимы и провести съемку собственного уходящего ИК излучения земной поверхности. Радиометрами ИС регистрируется уходящий поток в тепловом интервале длин волн 3.7, 8 и 10 мкм. Спутниковые определения яркостной температуры заверены наземными измерениями поверхностной температуры с точностью до 0.5° С.

С целью изучения геохимической активности в зонах динамического влияния разломов (ЗДВР) на площади ИК аномалий проведено геохимическое опробование поверхностных отложений по традиционной методике на системе поперечных профилей, в том числе вдоль глубоко врезанных ущелий и долин. Отобраны стандартные образцы массой до 500 г из почв, грунтов и коренных пород. В рыхлом материале проанализированы тонкие фракции -0.1 мм, наиболее реакционно и сорбционно активные. Из приразломных минеральных источников пробы воды взяты на Hg, на общий состав и рудные элементы. В образцах грунтов и пород макросостав минеральной матрицы определен рентгенфлуоресцентным методом (РФА). Содержание As выше 0.001 вес. % установлено этим же методом, а на кларковом уровне с чувствительностью до 0.01 г/ т - атомно-абсорционным анализом и прямым атомно-эмиссионным анализом по способу вдувания-просыпки. Анализ содержания ртути выполнен на анализаторах РАФ-1М и AFS-PSA 10.023 Merlin с пределом обнаружения 0.002 г / т. При полевых измерениях использован портативный pH-метр pH-410 с Eh электродами. Определение Zn, Ag, Cu, Sn, Мо, Ge, Pb, Tl, В проведено атомно-эмиссионным анализом по аттестованной методике с регистрацией спектров на многоканальном анализаторе MAЭС.

Величины УПИКИ, полученные от ИС, тождественны яркости - L с размерностью мВт/м².ср.мкм. Но для радиационных дистанционных ИК измерений и определяемых величин поверхностного теплового потока - ПТП на элементах геоструктуры необходима другая размерность - мВт/м². Такой переход от измеренных яркостей к поверхностному потоку возможен из соотношения, описанного Госсоргом [1] и связавшего F-поверхностный поток и измеряемую на ИС ИК яркость – L с использованием G – геометрического фактора. Определение для радиационного потока УПИКИ в терминах ПТП дается по уравнению

F = 6.8704 L MBT,

где и интенсивность яркости, измеряемая при сканировании с орбит сенсорами ИС, и рассчитываемая радиационная температура происхождением своим обязаны уходящему ПТП с соответствующей термодинамической температурой земной поверхности. Но **F** - величина, которая суммируется из компонентов, составляющих баланс. Слагаемыми в нем являются: \mathbf{F}_{rp} – тепловой поток деятельного слоя грунта, как следствие тепловой инерции, \mathbf{F}_{κ} - тепловой эффект поверхностной конденсации или кристаллизации водяного пара, $\mathbf{F}_{\phi x}$ - тепловой эффект процесса окисления газов из грунтов в верхней части деятельного слоя, $\mathbf{F}_{fc\phi}$ - биосферный вклад склоновых таежных экосистем и \mathbf{F}_{ra} – компонент глубинного теплового потока, т.е. $\mathbf{F} = \mathbf{F}_{rp} + \mathbf{F}_{\kappa} + \mathbf{F}_{\phi x} + \mathbf{F}_{fc\phi} + \mathbf{F}_{ra}$, и соответствует эффективному тепловому излучению земной поверхности (табл. 1).

Табл. 1.

Квазистационарные яркости поверхностных уходящих ИК потоков (мВт/ м² срд.мкм) и эффективное излучение крупных региональных разломов БРЗ

Разлом	Яркость L в диапазоне(10 мкм + 8 мкм)	Эффективное излучение F , мВт/м ²		
Тункинский	103.027 ± 2.22	707.84		
Приморский	112.242 ± 3.492	771.15		
Баргузинский	85.466 ± 1.235	587.19		
Краевой шов	103.064 ± 0.947	708.06		

Газовые аномалии присутствуют в приземном слое воздуха над изученными разломами. Они представлены высокими содержаниями радона, торона и сопутствующей ионизацией, на порядок, превышающей фоновые значения (рис.1) с проявлениями природного эффекта, аналогичного камере Вильсона. На Тункинском разломе грунтовый поток углекислого газа достигает 2 об. %. Вдоль Баргузинского разлома и краевого шва потоки сероводорода и сернистого газа увеличены до 0.7 и 0.6 мг/м³ соответственно. В воздухе над минеральной водой приразломного термального поля Кучегер (азотнометановые воды) содержится значительная примесь сероводорода, оксида углерода, углекислого и сернистого газов (рис. 2).

Геохимическими индикаторами приразломного массопереноса являются подвижные рудные элементы В их числе В, Cu, Zn, Pb, As с содержаниями более 10 г/т объединяются в I «макро»-группу, Ge, Mo, Sn с содержаниями более 1 г/т включены во II рудную группу. III рудную группу «малых примесей» составляют Ag, Tl, Hg с содержаниями, не превышающими 1 г/т. Концентрации элементов группы Fe: Co, Cr, Ni, V в интервале 10-100 г/т не выделяются определенными корреляционными связями с другими группами. Геохимическая индивидуальность разломов находит отражение в их фоновых характеристиках (табл. 2), отражающих влияние исходных субстратов, по которым заложены Тункинский и Баргузинский разломы, и связанных с составами пород каледонского гранитно-метаморфического комплекса и гранитоидами Ангаро-Бодайбинского батолита. Это – повышенные содержания некоторых рудных элементов I группы и группы Fe. По разломам краевого шва Сибирской платформы и в приразломном термальном поле Кучегер выражен привнос подвижных рудных элементов II и III групп.

Рис.1 Уровень ионизации приземного воздуха на поверхности выхода Тункинского разлома

Табл. 2.

Фоновые характеристики в поверхностных отложениях на современных активных разломах БРЗ

Разлом	n	Фон, г/т
Тункинский	88	$TI_{0.6}, \boldsymbol{B_{38}}, \boldsymbol{Cu_{35}}, Zn_{80}, Ge_{1.2}, Mo_{1.4}, Ag_{0.16}, Sn_{2.8}, Pb_{16}, As_{10}, Hg_{0.02}, Co_{1.8}, \boldsymbol{Cr_{100}}, Ni_{80}, V_{80}$
Баргузинский	75	$TI_{_{0.6}},B_{_{15}},Cu_{_{23}},\mathbf{Zn}_{_{100}},Ge_{_{1.2}},Mo_{_{0.9}},Ag_{_{0.12}},Sn_{_{2.8}},Pb_{_{18}},As_{_{7}},Hg_{_{0.018}},Co_{_{16}},Cr_{_{50}},Ni_{_{45}},\mathbf{V}_{_{90}},Ni_{_{50}},Ni_{50},Ni_{50}},Ni_{50},\mathsf$
Краевой шов платформы	91	TI $_{_{0.6}}$,B $_{_{25}}$,Cu $_{_{20}}$,Zn $_{_{65}}$,Ge $_{_{1.2}}$,Mo $_{_{0.9}}$,Ag $_{_{0.09}}$,Sn $_{_{2.4}}$,Pb $_{_{16}}$,As $_{_{12}}$,Hg $_{_{0.08}}$
Термальное поле Кучегер	65	TI _{0.06} ,B ₂₈ ,Cu ₂₂ ,Zn ₉₀ , Ge ₃ ,Mo _{0.6} , Ag _{0.22} ,Sn ₂ , Pb ₁₈ , As ₁₅ ,Hg _{0.02} ,Co ₁₂ ,Cr ₄₄ ,Ni ₃₆ V ₆₅

Примечание: 1. формальный фон равен значениям с 50% накопленной частостью; 2. выделены элементы с повышенным фоном; 3. расчет средних содержаний дает более высокие содержания на краевом шве платформы у Tl=0.9, As=22.56 и Hg=0.6 г/т, а на термальном поле Кучегер для Ag=0.7 и Ge=3.9 г/т.

Применение метода главных компонент для анализа геохимических характеристик поверхностных отложений разломов в рассматриваемых статистических выборках выделяет по два главных фактора, с которыми коррелируют независимые друг от друга группы рудных элементов, свойственные каждому из изученных разломов (табл. 3).

Табл. 3.

Статистика. Главные факторы распределения рудных компонентов в поверхностных отложениях региональных разломов БРЗ

	Главные компоненты			
Разлом	F1, коррелирующая группа А	F2, коррелирующая группа В		
Тункинский	Ge, B	TI, Mo с ними Zn, Cu		
Баргузинский	Ag, Cu, Mo	Pb с ним TI		
Краевой шов платформы	Cu, Zn	TI, Mo		
Термальное поле Кучегер	Zn, Pb с ними Mo, Tl	V с ним Ni, Co		

Проявленная таким образом дифференциация, вероятно, отражает существование генетических ассоциаций рудных элементов. С применением классификации геохимических данных по методу многомерного анализа геохимических полей (Китаев, 1990) устанавливаются ассоциации для наиболее подвижных рудных элементов с наивысшими коэффициентами концентрации - КК. Это – рудные элементы II и III групп (табл. 4).

		1		1		1		
Разлом	n-вы- борки	Подвижные рудные элементы						
		Hg	As	Ag	Мо	ті	В	Cu
Тункинский -	9 (88)			5.85, <i>11</i> , 2	4.99,29, 1	6.55, 9, 3	3.2, <i>12</i> , 4	
	15(41)	11.08, <i>9</i> , 1	8.1, <i>4</i> , 2	7.3, 2, 4	4.61, <i>13</i> , 3			
Баргузинский -	9 (75)			3.95, <i>5</i> , 2		2.6, <i>10</i> , 3	2.85,13, 4	4.66, <i>8</i> , 1
	15(38)		1.73, <i>13</i> , 2		2.03, <i>14</i> , 1	1.2, 6, 3		
Краевой шов	9 (91)			6.27, <i>2</i> 9, 1	9.29, <i>11</i> , 2	7.34,5, 3		
	11(36)	26.3, 6, 1	22.3, <i>4</i> , 3	39, 3, 4	30, 3, 2		2.65, <i>11</i> , 5	
Термальное поле Кучегер							Ge	
	15(65)	24.13, <i>13</i> , 1		16.06, <i>10</i> , 2	4.63, <i>21</i> , 3		4.42,20, 4	

Табл. 4. Геохимические ассоциации в поверхностных отложениях на современных активных разломах БРЗ

Примечание: 1. первая строка 9, вторая строка 15 - количество рудных элементов, 2. в ячейках – первое число – коэффициент концентрации (КК), второе число – количество образцов (точек), третье число-позиция в иерархическом ряду данной ассоциации

среды: педосферу, гидро- и атмосферу.

Весьма близкие по составу геохимические ассоциации, выделяющиеся aposteriory на крупных региональных разломах БРЗ, очевидно, соответствуют группе подвижных

рудных элементов – мигрантов по ЗДВР из верхней коры в прилегающие внешние

поверхности известными горячеводными месторождениями Гусиха, Алла, Кучегер и

Умхей. Второе и третье из них примыкают вплотную к зоне сместителя разлома. На месторождении Кучегер термальное поле локализовано в небольшой приразломной

депрессии, заполненной древними озерно-речными отложениями долины р. Баргу-

зин. На площади 0.12 км² расположены около 17 источников-грифонов с наибольшей

температурой минеральной воды до 48°C, объединяющиеся в 5 термальных выходов. При суммарном дебите источников 100 л/с [3] и данной температуре максимальный

тепловой поток составляет 9.533 МВт. Поэтому даже распределенный по площади

месторождения при средневзвешенной температуре воды 20.23°С, он достигает 74

Вт/м². Значительный поток приразломного конвективного теплопереноса инициирует

геохимические потоки перечисленных выше подвижных рудных элементов. Распре-

деление «рудной нагрузки» в поверхностных отложениях ЗДВР региональных разло-

мов обусловлено процессами концентрирования в разрезе педосферы. В зависимости

от образования комплексов с лигандами почвенных гуминовых и фульвокислот вы-

деляются группа элементов, концентрирующаяся в гумусированных горизонтах АО,

A1, B1, и группа с концентрациями, тяготеющими к низам иллювиального горизонта вблизи границы со слоем С (рис. 3). Распределение в грунте геотермального поля Кучегер, аналогичное W, с локализацией в A1 свойственно As, Mo, B и Ge. Графики

Непосредственным проявлением тепловых потоков по рифтогенным региональным разломам являются приразломные геотермальные поля. В ЗДВР Баргузинского разлома, располагаясь по его юго-западному крылу, они представлены на современной



Рис.2 Содержание газов, выделяющихся из минеральной воды приразломного термального поля Кучегер

распределения, подобные Tl, имеют

Пространственная локализация на барьерах открывает возможность расчета геохимических потоков по ЗДВР разломов и в приразломном геотермальном поле на основе временного интервала устойчивости гумуса [2] на верхнем барьере и радиоуглеродных датировок палеопочв [6, 5], подстилающих нижний барьер (таблица 5).

Табл. 5.

Рассчитанные геохимические потоки токсичных подвижных рудных элементов в поверхностных отложениях региональных разломов БРЗ, кг/км² год

Разлом	Ртуть	Таллий	Мышьяк
Тункинский	0.011*	0.108	1.427
Баргузинский	0.02*	0.135	0.886
Краевой шов Сибирской платформы	0.037*, 0.055**	0.228**	4.09**
Приразломное термальное поле Кучегер	0.0105*	0.303	13.03

Примечание: * - на почве и верхнем торфе, **- на Fe – части основания слоя В.



Рис. 3/ Распределение подвижных рудных элементов в поверхностной части рыхлых отложений на термальном поле Кучегер. V, Pb, Cu и Zn. В отдельных частных разрезах с содержаниями Hg изменяются аналогично таковые W и As. Для ассоциации Hg, W, As, Mo, B, Ge, а также для S выдерживается значимая положительная корреляция с С_{орг}, обусловленная влиянием гумусовой составляющей. В поверхностных отложениях на 3ДВР по краевому шву платформы Hg, As и TI нередко положительно коррелируют с суммой оксидов Fe+Mn на нижней границе иллювиального горизонта. При участии транспирации и биогеохимических процессов формируются верхний комбинированный сорбционноиспарительный и нижний сорбционный геохимические барьеры.

Гидротермальные растворы существенно увеличивают привнос As и Tl в важнейшую часть биосферы – педосферу. Существует определенная тенденция, связывающая приразломные геохимические потоки с конвективной глубинной составляющей эффективного излучения разломов. Тепломассоперенос на крупных активных региональных разломах вследствие их «проводимости-проницаемости» не исключает возможности обратной связи по их трассам между внешними оболочками и более глубинными частями верхней коры.

1. Госсорг Ж. Инфракрасная термография. М.: Мир, 1988. 399 с.

2. Добровольский В.В. Основы биогеохимии. М.: АСАДЕМА, 2003. 397 с.

З.Ломоносов И.С., Кустов Ю.А., Пиннекер Е.В. Минеральные воды Прибайкалья. Иркутск: Вост.-Сиб. книжн. изд-во, 1977. 223 с.

4. Китаев Н.А. Многомерный анализ геохимических полей. Новосибирск: Наука, 1990. 120 с.

5. Лунина О.В., Гладков А.С., Неведрова Н. Н. Рифтовые впадины Прибайкалья: тектоническое строение и история развития. Новосибирск: Академич. изд-во «Гео», 2009. 314 с.

6. Чипизубов А.В., Смекалин О.П., Семенов Р.М. Палеосейсмодислокации и связанные с ними землетрясения в зоне Тункинского разлома // Геология и геофизика. 2003. т. 44. № 6. С. 587-602