

**ГЕОЛОГИЯ,  
ГЕОФИЗИКА  
И РАЗРАБОТКА  
НЕФТЕЯНЫХ И ГАЗОВЫХ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

**5.2009**

**МОСКВА • ВНИИОЭНГ**

Открытое акционерное общество  
"Всероссийский  
научно-исследовательский  
институт организации,  
управления и экономики  
нефтегазовой промышленности"  
(ОАО "ВНИИОЭНГ")



ЛАУРЕАТ  
ЗОЛОТОЙ МЕДАЛИ SPI  
ПАРИЖ ФРАНЦИЯ

НАГРАЖДЕН ПАМЯТНЫМ ЗНАКОМ  
"ЗОЛОТОЙ ИМПЕРИАЛ"  
ЗА АКТИВНОЕ УЧАСТИЕ  
В МЕЖДУНАРОДНЫХ ВЫСТАВКАХ  
И ЯРМАРКАХ

**ГЕОЛОГИЯ,  
ГЕОФИЗИКА  
И РАЗРАБОТКА  
НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

.....  
**5 ♦ 2009 Москва ♦ ВНИИОЭНГ**

## АВИАЦИОННОЕ ТЕПЛОВИЗИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

К.М. Каримов, В.Л. Онегов, С.Н. Кокутин,  
В.Н. Соколов, Л.К. Каримова, В.Ф. Васев  
(ООО "ТРАНС-СЕРВИС")

### 1. Введение

В практике дистанционных геофизических исследований широко применяются космические системы наблюдений многоспектральных изображений Landsat и Terra-ASTER со средним пространственным разрешением, которые в большинстве случаев дают мелкомасштабное представление о состоянии природных ресурсов Земли [1, 2]. Вследствие этого одних спутниковых данных недостаточно для получения достоверной информации о строении геологической среды и состоянии техногенных объектов, расположенных на небольшой глубине. Другим ограничением дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) является отсутствие российской спутниковой группировки для получения современных изображений в тепловом инфракрасном диапазоне. Поэтому для успешного применения в народно-хозяйственной деятельности требуется комплексный подход в развитии технологии ДЗЗ на базе малой авиации с минимальным составом аппаратуры в виде тепловизора, бортовой цифровой видеокамеры, системы глобального спутникового позиционирования и создании методики дешифрирования снимков, основанной на расчетах параметров теплового поля в трехмерной среде.

В качестве летательных средств, как правило, используют вертолеты и сверхлегкие самолеты. Ранее созданные комплексы обладают некоторыми недостатками. В частности, в полной мере не удается исключить "смаз" изображения при выполнении съемки на предельно малых высотах. Одним из наи-

более перспективных и экономически целесообразных средств является тепловой дирижабль, применение которого снимает многие ограничения. Сверхмалые высоты (20...100 м) и небольшая скорость съемки позволяют получать качественно новые снимки по точности и пространственным характеристикам наблюдавшихся объектов. Базирование авиационного носителя в непосредственной близости к исследуемой площади существенно снижает затраты на выполнение полевых работ и обеспечивает повышение достоверности выходных данных.

### 2. Методика тепловизионной вертолетной и дирижабельной съемки

В основе изучения геологического строения положен подход разновысотных съемок, позволяющий реализовать эффект зондирования Земли при решении геологического-разведочных, экологических и техногенных задач. Для этого предлагается использовать снимки в тепловом инфракрасном диапазоне, получаемые с различных носителей: космические для регионального, мелкомасштабного геофизического картирования района; вертолеты и дирижабли для крупномасштабных, детальных исследований верхней части разреза (таблица).

Компания ООО "ТРАНС-СЕРВИС" создала специализированный аэросъемочный комплекс в составе теплового дирижабля GEFA-FLUG AS-105GD, тепловизора NEC Thermo Tracer TH9260, цифровой фотокамеры CANON EOS 350D, системы спутниковой навигации Garmin GPSMAP 496, бортового вычислительного комплекса для управления и накоп-

Основные параметры тепловизионной съемки

	Носители										
	Авиационные							Космические			
	Д	Д	Д	Д+В	Д+В	В	В	Landsat-7 (ETM+)	Landsat-5 (TM)	Terra (ASTER)	Terra, Aqua (MODIS)
Высота полета, км											
0,05	0,1	0,2	0,5	1	2	3	705	705	705	705	705
Размер кадра, м							Размер кадра, км				
19×14	38×29	76×58	190×145	380×290	760×580	1140×870	185×170	185×170	60×60	2300×2300	
Масштаб тепловизионной съемки											
1:50	1:100	1:200	1:500	1:1000	1:2000	1:3000	1:50000	1:100000	1:100000	1:500000	
Глубина проникновения по слоям, м											
Слой	1	0,03	0,06	0,12	0,3	0,6	1,2	1,8	60	120	90
	3	0,09	0,18	0,36	0,9	1,8	3,6	5,4	180	360	270
	5	0,15	0,30	0,60	1,5	3,0	6,0	9,0	300	600	450
	10	0,30	0,60	1,20	3,0	6,0	12,0	18,0	600	1200	900
											10000

Примечание. Д – дирижабль; В – вертолет.

ления информации. Основные рабочие характеристики дирижабля: максимальная скорость полета – 40 км/ч, высота – до 2000 м, дальность – 100 км, продолжительность работы – до 3 ч, грузоподъемность – 900 кг, рациональная себестоимость летного часа в 2...3 раза меньше, чем у вертолета.

Глубина расположения слоев объемной модели среды рассчитывается в зависимости от разрешающей способности тепловизионной системы и высоты полета. Выбранный масштаб и точность видеотепловизионной съемки позволяют с помощью получаемой информации обнаруживать, идентифицировать и оценивать состояние большинства техногенных объектов (нефте-, газопроводов) и окружающей их среды.

### 3. Моделирование теплового поля в геологической среде

Тепловизионное изображение, используемое для построения объемной модели среды, представляется как двумерная функция вида  $f(x, y)$  [3]. Значение функции  $f$  в точке с координатами  $(x, y)$  является положительной скалярной величиной и отражает излучательную способность Земли. Поэтому функция  $f(x, y)$  должна быть ненулевой и конечной:

$$0 < f(x, y) < \infty. \quad (1)$$

В результате операций дискретизации и квантования тепловизионного изображения возникает матрица действительных чисел из  $M$  строк и  $N$  столбцов. Координаты  $(x, y)$  становятся дискретными значениями. Для этих дискретных координат используются целочисленные значения. За начало координат принимается левый верхний угол изображения, где  $(x, y) = (0, 0)$ . Каждый элемент этой матрицы называется элементом изображения или пикселям.

Рассматриваемые тепловизионные изображения являются монохромными (черно-белыми). Значение интенсивности в произвольной точке с координатами  $(x_0, y_0)$  называется уровнем серого ( $l$ ) или яркостью изображения в этой точке. Интервал  $L_{\min} \leq l \leq L_{\max}$  называется диапазоном яркостей. Для простоты расчетов его обычно сдвигают по числовой оси, получая интервал  $[0, L - 1]$ , края которого принимаются за минимальную ( $l = 0$ ) и максимальную ( $l = L - 1$ ) излучательную способность элементов теплового изображения. На практике диапазон яркостей зависит от аппаратуры. Современные устройства позволяют использовать дискретный интервал  $[0, 2^{16}-1]$ , но довольно часто встречаются изображения с диапазоном яркостей  $[0, 2^8-1]$ .

Таким образом, исходное тепловизионное изображение представляет собой матрицу действительных чисел и находится в диапазоне  $[0, L-1]$ . Такую матрицу назовем слоем и обозначим  $S_0$ . Построение объемной модели заключается в получении из  $S_0$  остальных слоев  $S_n$ , где  $n = \overline{1, N}$ :

$$S_n = G(S_0, n). \quad (2)$$

Функция  $G(S_0, n)$  в данном случае определяет глубинный шаг дискретизации (расстояние между слоями) модели. В зависимости от характера распределения теплового поля на исходном изображении и для построения наиболее точной модели имеет смысл использовать различные функции  $G$ . Самая простая из них – это расчет среднего арифметического, которая задается выражением

$$G(S_0, n) = \frac{1}{n^2} \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n S_0(i, j). \quad (3)$$

Учитывая, что  $S_0$  и  $S_n$  матрицы действительных чисел:

$$S_{ij}^n = \frac{1}{(2n+1)^2} \sum_{m=i-n}^{i+n} \sum_{k=j-n}^{j+n} S_{mk}^0, \quad (4)$$

где  $S_{ij}^n$  – элемент матрицы  $S_n$  с координатами  $(i, j)$   
 $S_{mk}^0$  – элемент матрицы  $S_0$  с координатами  $(m, k)$ .

Из выражения (4) видно, что каждый элемент второго слоя  $S_{ij}^1 \in S_1$  зависит от элемента первого слоя  $S_{ij}^0 \in S_0$ , а также 8 его соседей. Аналогично, каждый элемент слоя  $n$   $S_{ij}^n \in S_n$  зависит от элемента первого слоя  $S_{ij}^0 \in S_0$ , а также  $(2n+1)^2 - 1$  его соседей. Данный подход является простым в расчетах, но не обладает необходимой точностью.

Более точную модель глубинного строения Земли можно получить, используя функцию расчета среднего геометрического. Она задается выражениями:

$$G(S_0, n) = \left( \prod_{i=0}^n \prod_{j=0}^n S_0(i, j) \right)^{\frac{1}{n^2}} \quad (5)$$

$$\text{и} \quad S_{ij}^n = \left( \prod_{i=0}^n \prod_{j=0}^n S_0(i, j) \right)^{\frac{1}{(2n+1)^2}}. \quad (6)$$

Модель теплового поля, построенная с использованием (6), эффективно отражает среду и расположенные в ней объекты, но является сложной и малопроизводительной при автоматизации построений. С другой стороны, для упрощения расчетов с сохранением определенного уровня точности можно использовать функцию вычисления среднего гармонического:

$$G(S_0, n) = \frac{n^2}{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \frac{1}{S_0(i, j)}} \quad (7)$$

$$\text{и} \quad S_{ij}^n = \frac{(2n+1)^2}{\sum_{m=i-n}^{i+n} \sum_{k=j-n}^{j+n} \frac{1}{S_{mk}^0}}. \quad (8)$$

Модель теплового поля, построенная с использованием формулы (8), наиболее эффективно отражает глубинные объекты.

Предыдущие модели строились на предположении, что распределение поля на тепловизионном изображении является равномерным. Однако на практике, как правило, встречаются поля с распределением, близким к закону Гаусса. В этом случае целесообразно использовать следующую функцию, учитывающую закон нормального распределения:

$$G(S_0, n) = \frac{1}{2\pi\delta^2} \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n S_0(i, j) e^{-\frac{i^2+j^2}{2\delta^2}}, \quad (9)$$

$$S_j^n = \frac{1}{2\pi\delta^2} \sum_{m=i-n}^{i+n} \sum_{k=j-n}^{j+n} S_0^0(m, k) e^{-\frac{m^2+k^2}{2\delta^2}}. \quad (10)$$

Параметр  $\delta$  в данном случае связан с эффективной глубиной  $n$  следующим соотношением  $\delta = kn$ , где  $k$  характеризует шаг проникновения в трехмерной модели. Варьируя коэффициент  $k$ , можно построить объемную модель с малым расстоянием между слоями. Структура теплового поля, рассчитанная с помощью функции распределения Гаусса, приводит к увеличению детальности на малых глубинах и сглаживанию объектов в пространстве. При этом глубина проникновения отвечает логарифмическому закону, вследствие чего снижается чувствительность модели к изменению глубинных аномалий.

Следующим шагом углубленного анализа данных является процесс разделения регионального и локального тепловых полей. При формировании локального поля применимы плоские функциональные аппроксимации в виде полиномов низких степеней. Для глобальных моделей выбраны разложения по сферическим (шаровым) функциям с использованием подхода аддитивного регрессионного моделирования при обработке данных [4]. В качестве описания регионального поля ( $R$ ) на плоскости и сегменте сферической поверхности предлагается использовать аппроксимирующую модель в виде

$$\begin{aligned} R(\lambda, \theta) = \\ = \sum_{n=0}^N \sum_{m=0}^n (C_{nm} \cos m\lambda + S_{nm} \sin m\lambda) P_{nm}(\cos \theta), \end{aligned} \quad (11)$$

где  $\theta, \lambda$  – сферические координаты точки;  $C_{nm}, S_{nm}$  – амплитуды гармоник  $C_{nm}P_{nm}(\cos \theta)\cos(m\lambda)$  и  $C_{nm}P_{nm}(\cos \theta)\sin(m\lambda)$ ;  $P_{nm}(\cos \theta)$  – присоединенные функции Лежандра степени  $n$  и порядка  $m$ .

Для упрощения процесса вычисления регионального поля можно использовать аппроксимацию на основе применения "типовых" распределений. Учитывая, что распределение теплового поля, создаваемого объектом в среде, близко к нормальному, в качестве аппроксимирующей функции выбирается закон Гаусса следующего вида:

$$R(i, j) = \frac{1}{2\pi\delta^2} \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^M S(i, j) e^{-\frac{i^2+j^2}{2\delta^2}}. \quad (12)$$

Параметр  $\delta$  определяет глубину, для которой выстраивается региональное поле, и выбирается исходя из отметок залегания объекта.

Следующим этапом моделирования является преобразование множества построенных слоев теплового поля в объемную модель блоково-разломных структур Земли. Она используется для классификации геологической среды: селективного отображения блоково-морфоструктурного строения (геодинамических блоков и граничных разрывов); внутренних термодинамических неоднородностей блоков; зон сжатия, растяжения и разуплотнения пород с улучшенными коллекторскими свойствами, в состав которых входят зоны флюидоперетоков и флюидонакопления. Для наглядного представления результатов обработки строят карты-срезы на определенных глубинах и вертикальные разрезы в рамках горизонтально-слоистых и/или градиентных сред, по которым устанавливаются общая схема тепловых потоков, их основные направления и неоднородности.

Выявляемые в разрезе геотермические аномалии, как правило, позволяют формализовать их в реальные модели сред, так как температурный режим пород (ниже нейтрального слоя) определяется восходящим эндогенным тепловым потоком, динамикой геологической среды и тепловыми свойствами пород. К поверхности тепло передается через горные породы посредством кондуктивной теплопроводности, конвекции флюидов и излучения. Максимальная величина теплового потока (ТП) связана с увеличением плотности горных пород и характеризует кондуктивный тепломассоперенос.

Задача расчета модели структуры сводится к увеличению амплитуды малоинтенсивных положительных аномалий при относительном сохранении общего фона теплового поля. Учитывая, что на тепловизионном изображении яркость пикселей отражает величину теплового потока, применяем такое преобразование, которое выделяет области с относительно большими значениями элементов изображения. Это достигается использованием максимизирующего фильтра. Его отклик по определенной окрестности задается выражением

$$b_{ij}^n = \max \left\{ s_{mk}^n \mid m = \overline{l-n, l+n}, k = \overline{j-n, j+n} \right\}. \quad (13)$$

Изображение, полученное с использованием максимизирующего фильтра, позволяет определить участки повышенного теплового потока, но линии разрывов среды на нем проявляются слабо. Для их выделения используется оператор Лапласа. Тепловизионное изображение является функцией двух пе-

0	1	0
1	-4	1
0	1	0

Рис. 1. Маска 1

1	1	1
1	-8	1
1	1	1

Рис. 2. Маска 2

ременных  $f(x, y)$ , поэтому в данном случае лапласиан имеет вид

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}. \quad (14)$$

Чтобы применить данное уравнение при обработке изображений, его необходимо выразить в дискретном виде на основе значений соседних пикселей. Одним из наиболее часто используемых определений является следующее:

для частной производной по  $x$ :

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = f(x+1, y) + f(x-1, y) - 2f(x, y); \quad (15)$$

для частной производной по  $y$ :

$$\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = f(x, y+1) + f(x, y-1) - 2f(x, y). \quad (16)$$

Дискретная формулировка двумерного лапласиана получается объединением этих двух составляющих:

$$\begin{aligned} \nabla^2 f = & f(x+1, y) + f(x-1, y) + \\ & + f(x, y+1) + f(x, y-1) - 4f(x, y). \end{aligned} \quad (17)$$

Это уравнение реализуется с помощью маски, представленной на рис. 1. Она дает изотропный результат для поворота на углы, кратные  $90^\circ$ . Диагональные направления могут быть включены в уравнение (17) добавлением еще двух членов. Вид каждого из них аналогичен выражениям (15) или (16), но в них, кроме того, указываются координаты пикселей, расположенных по диагоналям. Мaska, соответствующая такому определению, показана на рис. 2. Она изотропна для поворотов на углы, кратные  $45^\circ$ . Обработка такой маской является более эффективной, так как объекты на тепловизионных изображениях, как правило, имеют неправильные формы.

Принятый вид представления материала позволяет обеспечить систематизацию разрывных нарушений и районировать территорию по характеру их

пространственного распределения. На таких моделях выделяются области стационарного расчетного параметра и разделяющие их градиентные зоны, что отражает положение в разрезе глубинных шовных зон, границ блоков коры, отдельных локальных разломов. В ходе дешифрирования выделяются тоновые особенности изображений, опосредованно характеризующие разрывную и блоковую тектонику (рис. 3). Структуры сжатия и растяжения различаются по качественным показателям – интенсивностью ТП и плановым положением линий градиента для характерных глубин.

Далее рассмотрим применимость описанной технологии при решении ряда задач.

#### 4. Мониторинг парового воздействия при разработке битумного месторождения

Изучено изменение тепловых потоков и флюидодинамических условий геологической среды Ашальчинского месторождения природных битумов (ПБ) на основе космической и авиационной ИК съемок. В региональном тектоническом плане Ашальчинское месторождение ПБ располагается на западном склоне Южно-Татарского свода в пределах Черемшано-Ямашинской террасы. Залежь битума установлена в песчаном пласте отложений уфимского яруса, представляющего собой брахиантклинальную складку северо-западного простирания с амплитудой поднятия 36 м и размерами  $2,5 \times 4,5$  км. Глубина залегания продуктивных отложений изменяется от 48 до 124 м.

Нами составлена эндогенная тепловая модель до начала промышленного освоения месторождения (снимок от 21.07.2000 г.), которая показывает особенности регионального распространения глубинного теплового излучения в среде. Вытянутость тепловых зон и сгущение изотерм в северо-восточном направлении близки к структуре сформированной продуктивной песчаной пачки. Из сравнения срезов пласта и блоково-разломных карт (рис. 4) видно, что залежь битума разделена естественным холодным врезом широтного простирания на две температурные локальные аномалии. Это свидетельствует о присутствии крупного конвективного подтека из глубины. Несомненно, установленная нами ано-

альная холодная зона может существенно препятствовать распространению искусственно созданного тепла в среде.

В дальнейшем, на этапе технологического процесса парового воздействия на битумный пласт через горизонтально расположенные скважины, авиационной съемкой удалось обнаружить локальные особенности распространения тепла в осадочном чехле (рис. 5). Нагнетательные и добывающие скважины располагаются в различных температурных моноблоках, которые разделены между собой узкой зоной приповерхностного разлома, насыщенного низкотемпературным флюидом (водой). В этом случае при искусственном тепловом воздействии на среду влияние существующего природного фактора, приведшего к возникновению температурного градиента вблизи скв. 2, значительно, и холодная зона влияет на процесс теплопередачи в песчаной пачке, существенно уменьшая эффект прогрева разрабатываемого блока среды. Установленный факт подтвержден инструментальными наземными наблюдениями. Поэтому в дальнейшем при проектировании новых пар скважин учитывались данные тепловизионной съемки.

Следует рекомендовать режимные авиационные дирижабельные наблюдения геотермического поля Ашальчинского месторождения, которые позволяют своевременно (один раз в 2...3 мес) получать текущую информацию о разработке залежи ПБ в период парового воздействия на пласт и оперативно принимать управленческие решения. В этом случае возникают три основные задачи мониторинга среды.

1. Выявление поля теплового излучения с классификацией неоднородностей по форме и соотношениям со структурными этажами. Объемное картирование на момент съемки изменения верхней песчаной пачки уфимского яруса, к которой приурочена битумная залежь.

2. Определение в объеме мест кумуляции и миграции подземных вод, пара и нефтепродуктов в пределах добычи природных битумов для различных пар скважин.

3. Составление объемной модели геотермического поля с оценкой условий разработки месторождения (изменения паровой камеры во времени, силы воздействия искусственного тепла на прогрев пласта) и выработка рекомендаций по эффективному парогравитационному воздействию.

## **5. Оценка технического состояния магистрального нефтепровода**

Предлагаемая технология видеотепловизионного зондирования успешно применяется для оперативной оценки состояния магистральных нефтепроводов и экологического мониторинга геологической среды. На практике трубопроводы хорошо проявляются в тепловом поле как на глубине, так и на поверхности Земли. Но при этом в основе принципов

дешифрирования материала авиационной съемки положен расчет объемной модели среды с выявлением аномалий плотности потока теплового излучения. По разрезам и схемам устанавливают геодинамические активные зоны (блоково-разломная тектоника), аномальные участки напряженно-деформированного состояния нефтепровода. Проводят обнаружение мест просадки, всплытия (вспучивания) трубопровода с учетом геофизических факторов (степени активизации эрозионных, оползневых, карстовых и обводняющих процессов). Выполняют паспортизацию объекта, рассчитывая пространственные и геометрические параметры трубопровода.

*Места раскопок грунта* вблизи трубопровода дешифрируются по снимкам в видимом и инфракрасном диапазонах с разных высот полета, что позволяет провести градацию объектов по времени вскрытия грунта. Для этого необходимо выполнить их сопоставление. На снимках, полученных в ИК-диапазоне, "старые" раскопки не имеют отчетливой аномалии теплового поля по сравнению с фотоизображением.

*Области обводнения* верхней части осадочного чехла проявляются в тепловом поле холодными участками, приобретая различную форму в плане в зависимости от геодинамики их развития. Вытянутая линейная зона указывает на направление миграции флюидов, а сферическая – на область концентрации обводнения в геологической среде (рис. 6).

*Области остаточного поверхностного накопления нефти (разливы)* отражаются теплыми аномальными участками. Они приобретают неправильные формы, охватывая значительную площадь. При пересчете поля на глубину имеет место резкое затухание тепловой аномалии, что указывает на приповерхностный разлив нефти.

*Несанкционированные врезки* в нефтепровод проявляются на видимом снимке в виде повреждения грунта различной интенсивности, на тепловом снимке – в виде геометрически правильных аномалий в районе трубопровода. Как правило, имеет место концентрическая локальная аномалия над трубой, свидетельствующая о постороннем вмешательстве в естественную среду, и линейная аномалия располагающаяся под углом к трубопроводу. Однако в ряде случаев линейная по форме аномалия на тепловых снимках не прослеживается из-за слабого нарушения почвы. В зависимости от времени вмешательства изменяется интенсивность тепловой аномалии: чем раньше оно было произведено, тем меньшей является ее амплитуда. В то же время построение объемной термодинамической модели позволяет выделить аномалии вне зависимости от времени врезки (рис. 7).

Многочисленные экспериментальные наблюдения позволили установить ряд признаков проявления врезок в нефтепровод. К ним относят: сильные или слабые повреждения грунта на видимом сним-

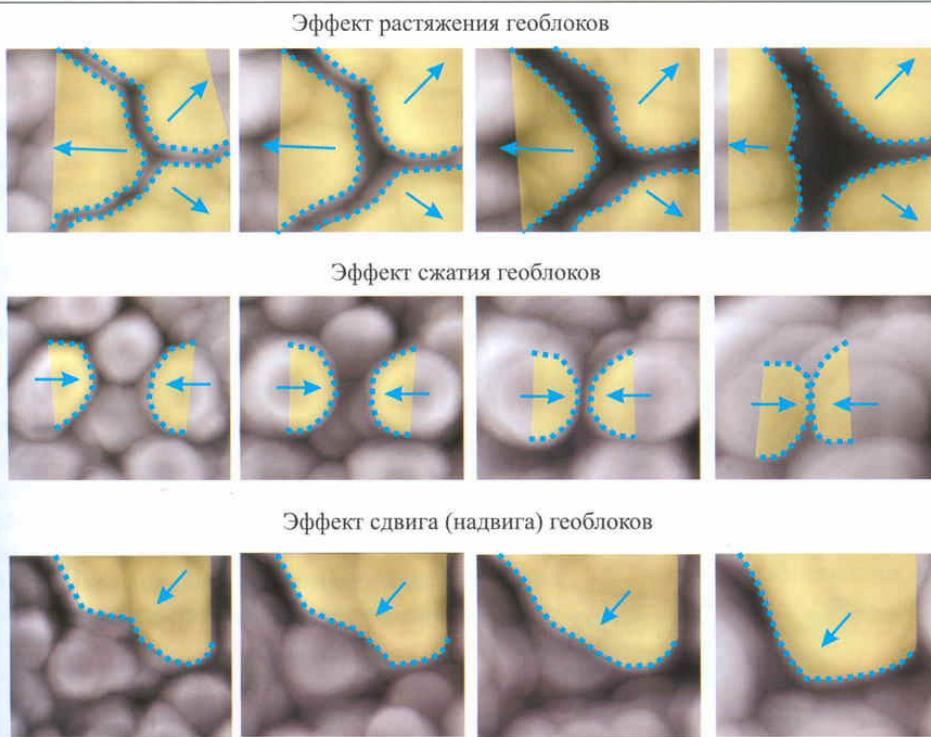


Рис. 3. Схемы отображения блоков и граничных разрывов в тепловом поле

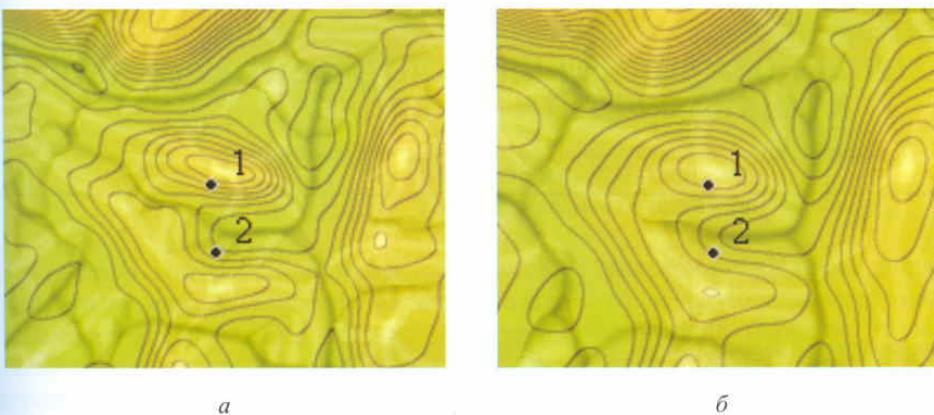


Рис. 4. Изображение теплового поля и тектонических нарушений на глубинах 110 (а) и 150 (б) м

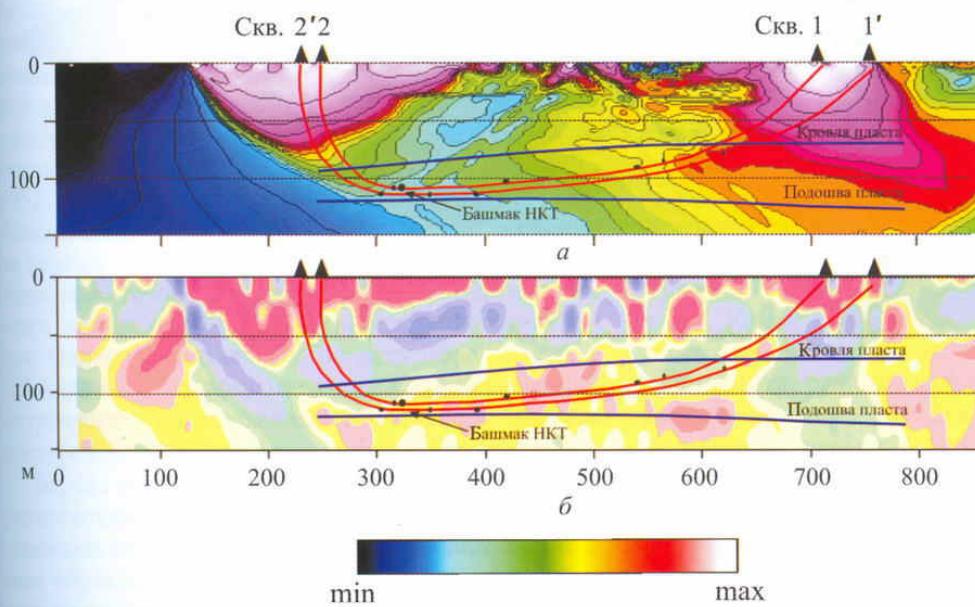


Рис. 5. Модели среды в изолиниях плотности потока теплового излучения для интегральной (а) и дифференциальной (б) характеристик поля

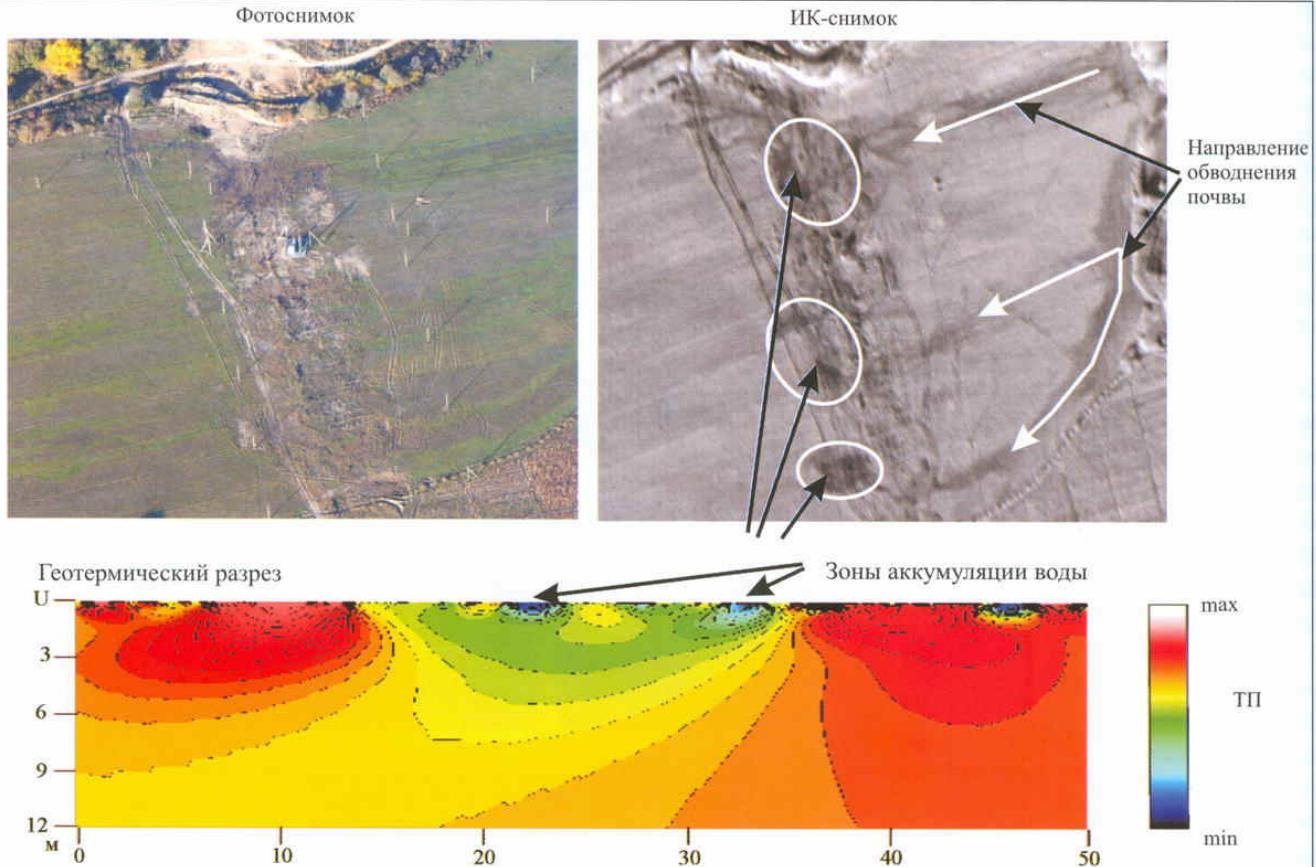


Рис. 6. Проявление эффектов обводнения осадочного чехла в тепловом поле

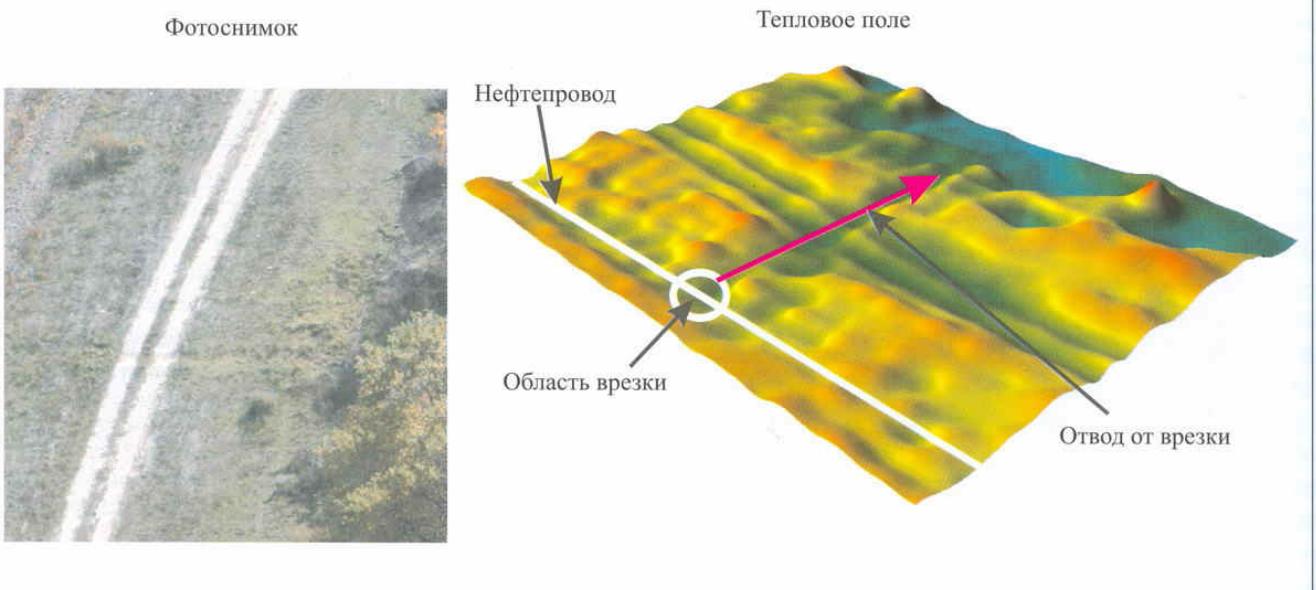


Рис. 7. Результаты дешифрирования авиационных снимков над участком несанкционированной врезки в нефтепровод

концентрическая тепловая аномалия над трубопроводом; линейная тепловая аномалия, проходящая под углом к трубопроводу; изменение характера теплового излучения в объемной термодинамической модели; проявление аномальных разрывов среды на схеме блоково-разломных структур объемной модели на глубинах 0,5...1,5 м.

## 6. Заключение

Разработанная и апробированная на практике технология обработки тепловизионных изображений (снимков) с различных авиационных и космических систем наблюдения показала возможность получения новой геоинформационной продукции в природно-техногенной сфере. Преимущества предлагаемого подхода определяются сочетанием информативности материала при покрытии больших территорий и детальностью изучения геологической среды и обследования техногенных объектов (нефте- и газопроводов, зданий и др.). Авиационная технология видеотепловизионной съемки с использова-

нием теплового дирижабля открывает большие перспективы метода при решении прикладных задач.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Каримов К.М., Онегов В.Л., Кокутин С.Н. Дистанционное видеотепловизионное зондирование Земли при решении геологических задач // Георесурсы. – Казань, 2009. – 1(29).
2. Каримов К.М., Мухамедяров Р.Д., Онегов В.Л., Кокутин С.Н. Дистанционное видеотепловизионное зондирование при нефтепоисковых работах на Токмовском и Жигулевско-Пугачевском сводах: тез. в кн. "Актуальные проблемы поздней стадии освоения нефтегазодобывающих регионов". – Казань: ФЭН, 2008. – С. 226–230.
3. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
4. Валеев С.Г. Регрессионное моделирование при обработке данных. – Казань: ФЭН, 2001. – 296 с.

УДК 553.98:550.835

## ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ ПЛОЩАДЕЙ ЗАПАДНОЙ И СРЕДНЕЙ СИБИРИ

И.С. Соболев, Л.П. Рихванов  
(ГОУ ВПО "Томский политехнический университет")

Для поисков месторождений нефти и газа радиогеохимические методы наиболее активно начали применяться в 50–60-х гг. XX столетия. Во многом это было связано с разработкой и началом массового использования гамма-спектрометрической аппаратуры на основе сцинтилляционных счетчиков, позволяющей с высокой точностью оперативно измерять гамма-радиоактивность и концентрации естественных радиоактивных элементов (ЕРЭ) в полевых условиях. В значительных объемах гамма-спектрометрические съемки осуществлялись на нефтегазоносных площадях СССР, США, Канады (Lunberg H., 1952; Лаубенбах А.И. и Скосырева Л.Н., 1958; Алексеев Ф.А., 1959 и др.). Полученная, особенно на первых этапах, прогнозно-поисковая информация позволяла говорить о высокой информативности этого метода при решении нефтегазопоисковых задач. Однако в дальнейшем по ряду объективных и субъективных причин интерес к гамма-спектрометрическим исследованиям как способу поисков месторождений нефти и газа значительно снизился.

Версия происхождения аномальных нарушений в радиогеохимических полях над углеводородными залежами во многом является дискуссионной. Главным образом это обусловлено слабой изученностью поведения радиоактивных элементов в субверти-

кальном столбе пород, попавших в область активного и разностороннего воздействия нефтегазовых скоплений. Особенно это касается нижней геохимической зоны.

Как следствие – некоторыми исследователями высказываются мнения о связи радиоактивных аномалий в первую очередь со структурно-тектоническими особенностями строения нефтегазоносных территорий (Gregory A.F.; Алексеев Ф.А. и др., 1973; Афонин В.И., 1970 и др.). Существуют предположения, что аномалии химических элементов во многом являются следствием электро- и биохимических реакций, активизирующихся на путях поступления углеводородных и неуглеводородных компонентов от залежей в породы надпродуктивного комплекса (Pirson S.J., 1975, 1980; Путиков О.Ф. и др., 2000 и др.). Кроме того, в эпигенетических моделях радиогеохимические аномалии обусловливают либо вовлечением радиоактивных элементов в газововодную миграцию с уровня локализации залежей и их транспортировку в верхние приповерхностные части разреза (Lunberg H., 1956), либо объясняют их активным перераспределением в зоне гипергенеза по причине возникновения своеобразных физико-химических обстановок (Алексеев Ф.А., 1959; Филонов В.А., 1994 и др.).