



004615000

На правах рукописи

Копь

Кокутин Сергей Николаевич

**РАЗВИТИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ТЕПЛОВИЗИОННОГО
МЕТОДА ПРИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ
ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ СИСТЕМ**

Специальность: 25.00.36 – «Геоэкология (науки о Земле)»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

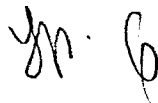
- 2 ДЕК 2010

Екатеринбург – 2010

Работа выполнена в ГОУ ВПО «Уральский государственный
горный университет»


- Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук,
доцент Каримов Камиль Мидхатович
- Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук,
доцент Писецкий Владимир Борисович
- кандидат геолого-минералогических наук
Рябинин Виктор Федорович
- Ведущая организация: ФГУП «Центральный научно-
исследовательский институт геологии
нерудных полезных ископаемых», г. Казань

Защита состоится « 2 » декабря 2010 г. в 14.30 часов на заседании
диссертационного совета Д 212.280.01 при ГОУ ВПО «Уральский
государственный горный университет» по адресу: 620144, г. Екатеринбург,
ул. Куйбышева 30, корпус III, ауд. 3326.



С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ГОУ ВПО
«Уральский государственный горный университет».

Автореферат разослан « 1 » ноября 2010 г.

Ученый секретарь диссертационного совета  А.Б. Макаров

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Охрана окружающей среды в различных регионах России связана с решением двух основных задач – оперативного получения информации и применения эффективных способов изучения природных и техногенных систем. С этой целью созданы и используются разнообразные мониторинговые комплексы, которые основываются на наземных и дистанционных методах в решении экологических задач. Каждый из этих методов обладает достоинствами и недостатками, которые связаны с вопросами экономичности и целесообразности применения.

Неоспоримым преимуществом при исследованиях природных компонентов окружающей среды и техногенных объектов обладают современные аэрокосмические технологии, и в их числе дистанционное тепловизионное зондирование Земли (ДТЗЗ), которое может применяться для решения геологических, экологических и техногенных задач. Сущность метода заключается в получении снимков в тепловом инфракрасном (ИК) диапазоне с космических и авиационных носителей, обработке изображений и представлении их в виде моделей плотности потока теплового излучения.

На локальном и детальном уровнях экологического мониторинга необходимо внедрение современных видов носителей с тепловизорами, имеющими улучшенные пространственные и температурные характеристики, с целью создания более информативной, многоцелевой и экономически целесообразной технологии авиационного зондирования. В этой связи для широкого использования ДТЗЗ в решении геоэкологических задач предусматривается совершенствование многоуровневой методики тепловизионной съемки с использованием возможностей различных носителей, развитие способов обработки и дешифрирования данных, создание нового информационного продукта на основе интерпретации и графического представления материала, что определяет актуальность работы.

Цель работы и задачи исследования. Основной целью исследования является развитие методик съемки и интерпретации данных дистанционного

тепловизионного зондирования при геоэкологических исследованиях природных и техногенных систем.

Цель достигнута решением следующих задач: совершенствование методики многоуровневой авиационной тепловой съемки в различных природных и техногенных условиях; развитие эвристического способа обработки снимков путем построения объемной модели потока теплового излучения, применения нового подхода к истолкованию и графическому представлению тепловизионных материалов; создание эффективного способа интерпретации космических тепловизионных данных при исследовании экологического состояния растительности и природных ландшафтных систем в местах интенсивной разработки нефтяных и газовых месторождений; оценка возможностей тепловизионной съемки при геоэкологическом изучении среды в городских условиях и при эксплуатации магистральных нефтепроводов.

Научные результаты и их новизна

1. В процессе тематических исследований создан авиационный тепловизионный измерительный комплекс на базе вертолета и теплового дирижабля GEFA-FLUG AS-105GD, современной регистрирующей аппаратуры NEC Thermo Tracer TH9260 высокого пространственного разрешения. По результатам многочисленных экспериментальных работ в различных регионах России разработан технический регламент авиационной съемки.

2. Предлагается новая методика многоуровневого зондирования геологической среды с использованием тематической обработки снимков в тепловом инфракрасном диапазоне с космических и авиационных носителей для получения непрерывной картины распределения эндогенного потока теплового излучения Земли.

3. На базе эвристического подхода к решению обратной задачи дистанционного зондирования разработана методика построения объемной геотермической модели теплового излучения среды и способы ее

интерпретации для решения геоэкологических и техногенных задач. Использование апробированной методики открывает большие возможности для эффективного изучения состояния нефтепроводов, загрязнения окружающей среды нефтью и нефтепродуктами на суше и море, экологического состояния труднодоступных регионов.

4. Разработан новый способ оценки экологического состояния среды, основанный на комплексном анализе индекса «стресса» растительности и глубинного строения теплового поля Земли, использующий разновременные космические снимки в расширенном диапазоне длин волн от видимого спектра до дальнего инфракрасного.

Фактическая основа работы. Диссертация выполнена в период обучения в заочной аспирантуре с использованием материалов компании «ТРАНС-СЕРВИС» (г. Кириши) в рамках научно-практических исследований по изучению экологического загрязнения окружающей среды в городах Санкт-Петербург, Ульяновск, Туапсе, а также на территории Западной Сибири, Пермского края, Республик Дагестан и Татарстан. В основу работы положены материалы многолетних исследований с применением авиационной съемки регионов России, проводимых при непосредственном участии автора в качестве одного из основных исполнителей. Полученные результаты нашли широкое применение в производственной деятельности многих компаний.

Практическое значение работы. Разработанная методика многоуровневого тепловизионного зондирования Земли и интерпретации данных позволяет осуществлять оперативный мониторинг экологической обстановки и оценку состояния техногенных объектов. Результаты дешифрирования снимков ДТЗЗ, описывающие глубинное строение геологической среды, являются незаменимым источником информации при выявлении потенциально опасных мест. Преимуществами предлагаемой методики является информативность данных и высокая производительность работ, возможность изучения и анализа труднодоступных районов,

относительная дешевизна при исследовании больших территорий, абсолютная экологическая чистота.

Защищаемые положения

1. Эффективность дистанционного тепловизионного зондирования Земли при геоэкологических исследованиях природных и техногенных систем достигается измерительным комплексом высокого разрешения, равновысотной аэрокосмической съемкой, эвристическим способом обработки снимков с построением объемной модели плотности потока теплового излучения и блоково-разломных структур.

2. Предложенный метод оценки экологического состояния в местах интенсивной разработки углеводородов основан на извлечении комплексной информации о пространственной и временной динамике нормализованного индекса «стресса» растительности в увязке с глубинным строением геологической среды.

3. Методика космической и авиационной тепловизионной съемки при изучении экологического состояния окружающей среды в процессе эксплуатации магистральных нефтепроводов, загрязнения нефтепродуктами в городах и акваториях позволила выявить аномальные участки теплового поля, установить местоположение источников загрязнения, путей миграции и концентрации вредных веществ.

Апробация работы и публикации. По теме диссертации опубликовано 18 работ, в том числе 11 статей, оформлено две заявки на патент. Издано три статьи в журналах из Перечня ВАК («Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений», «Георесурсы»).

Основные результаты работы обсуждались на конференциях: «Повышение нефтеотдачи пластов на поздней стадии разработки нефтяных месторождений и комплексное освоение высоковязких нефтей и природных битумов» (Казань, 2007), «Изменяющаяся геологическая среда: пространственно-временные взаимодействия эндогенных и экзогенных процессов» (Казань, 2007), «Problems of Geocosmos: 7th International

Conference» (Санкт-Петербург, 2008), «Актуальные проблемы поздней стадии освоения нефтегазодобывающих регионов» (Казань, 2008), «Современные вопросы природопользования: агропромышленный комплекс и лесное хозяйство» (Казань, 2008), «Аэрокосмические технологии в нефтегазовом комплексе» (Москва, 2009), «Инновационные технологии в геологии и разработке углеводородов» (Казань, 2009).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти разделов и заключения; общий объем работы 137 страниц текста, включая 54 рисунка, 4 таблицы и 123 библиографических наименования.

Работа выполнена под руководством доктора геолого-минералогических наук К.М. Каримова, которому автор выражает глубокую признательность. Автор считает своим долгом искренне поблагодарить генерального директора В.Н. Соколова и своих коллег из компании «ТРАНС-СЕРВИС» за поддержку и внимание при выполнении работы.

Основное содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость полученных результатов, приведены сведения об использовании и апробации результатов работы, о структуре диссертации.

В разделе 1 *«Основные направления развития дистанционной тепловизионной съемки при изучении природной среды»* приведены общие сведения о физических основах тепловой ИК съемки, космических («Landsat», «Тетта» и «Aqua») и авиационных тепловизионных системах наблюдений в различных спектрах оптического излучения. Показано, что при современном развитии метода остаются нерешенными многие технические и методические вопросы аэрокосмической съемки и обработки материала, основанные на пространственном представлении теплового поля (ТП) и установлении связи с геологическими средами.

Многоуровневая аэрокосмическая тепловизионная съемка позволяет получать результаты в глобальном (AVHRR, MODIS), региональном (ТМ,

ETM+, ASTER) и детальном масштабах. Выполненный обзор космических систем наблюдений показал, что для решения экологических задач наиболее информативными являются спутники серии «Landsat», обладающие большой обзорностью, высокой проникающей способностью, широким спектральным диапазоном. Авиационные системы тепловой ИК съемки относят к наиболее эффективным средствам для детального и оперативного мониторинга среды.

Установлено, что перед тематической обработкой аэрокосмических данных необходимо проводить отбор тепловизионных снимков на основе определенного набора критериев (масштаб исследований, оптимальное покрытие изучаемой территории кадрами, отсутствие облачности над участком, время съемки) и улучшение изображений (топографическая нормализация, синтезирование, удаление шумов), которые снижают влияние помех при выявлении эндогенного теплового поля Земли.

В разделе 2 *«Совершенствование авиационной тепловизионной съемки»* описываются авиационный тепловизионный комплекс высокого разрешения и технический регламент наблюдений.

Впервые созданный дирижабельный тепловизионный комплекс высокого разрешения (ДТК-ВР) предназначен для авиационной ИК диагностики природных и техногенных объектов, залегающих на небольшой глубине. В состав ДТК-ВР входят тепловой дирижабль GEFA-FLUG AS-105GD, высокочувствительный тепловизор NEC Thermo Tracer TH9260, цифровая фотокамера CANON EOS 350D, система спутниковой навигации Garmin GPSMAP 496, бортовой вычислительный комплекс для управления и накопления информации. Комплекс тепловизионной съемки является мобильным и при необходимости легко устанавливается на вертолет.

Для проведения тепловой ИК диагностики природных и техногенных систем с применением ДТК-ВР выработан набор оптимальных требований к полетным и погодно-временным условиям. Параметры авиационной съемки, включающие в себя высоту и скорость полета носителя, интервал времени между кадрами, величину продольного перекрытия снимков, рассчитывают

с помощью специально созданных номограмм. Это снижает «смаз» изображения и повышает разрешающую способность многоуровневой тепловизионной съемки дирижабельным комплексом, в которой размер пикселя составляет 3-6 см при высоте полета 50-100 м. ДТК-ВР апробирован в различных условиях, и в настоящее время оформлена заявка на патент РФ.

В разделе 3 *«Развитие методики обработки дистанционных тепловизионных снимков»* сформулированы требования к снимкам, технология обработки многоспектральных космических и авиационных данных, алгоритм и методика построения моделей геотермического поля, виды графического представления результатов.

Получаемые тепловизионные изображения являются монохромными (черно-белыми) и представляются в виде матрицы числовых значений $f(x,y)$ для дальнейшей обработки, проводимой по следующей схеме: предварительная обработка космических и авиационных снимков; расчет объемной модели плотности потока теплового излучения среды; построение объемной модели блоково-разломных структур; построение горизонтальных и вертикальных разрезов, их дифференциальных трансформаций; геофизическая интерпретация материала.

Предварительная обработка космических тепловизионных изображений включает ряд типовых и специально разработанных процедур по переводу данных из исходного вида в стандартные форматы, радиометрической коррекции, топографической нормализации, составлению мозаик из нескольких снимков, синтезированию, устранению помех.

Обработка авиационных снимков включает: разбиение набора тепловых кадров (термограмм) на отдельные маршруты; анализ диапазона распределения значений интенсивности ТП для кадров в пределах одного маршрута; пакетное конвертирование выделенных блоков термограмм из внутреннего формата тепловизора в стандартные графические растровые файлы; составление сшивок из тепловизионных изображений в специализированных программах; обратное RGB-конвертирование

промежуточных псевдоцветных изображений с сохранением исходного динамического диапазона данных.

После процедуры получения стандартных растровых файлов следует географическая привязка тепловизионных изображений с использованием опорных точек на местности, топографических карт и космических снимков высокого разрешения. Для территорий с большим перепадом высот вводятся поправки на рельеф местности. Далее проводится устранение помех и подавление шумов, а по окончании – отбраковка фрагментов, полученных из одиночных снимков или сшивки изображений.

Для построения объемной модели плотности потока теплового излучения от геологической среды применяется эвристический подход решения обратной задачи. В качестве исходных данных для обработки используется изображение, представленное множеством значений ТП размерностью $M \times K$, каждый элемент которого несет в себе информацию о собственной излучательной способности земной поверхности. Такое множество назовем слоем проникновения и обозначим $S_n(x_i, y_j)$, $n = \overline{0, N}$, $i = \overline{0, M}$, $j = \overline{0, K}$, где n – номер слоя проникновения с координатами (i, j) . Все последующие слои получают из первого путем применения к нему функции: $S_n = G(S_1, n)$, где S_n – n -й слой; $G(S_1, n)$ – функция, зависящая от исходного слоя S_1 и требуемой глубины.

Для получения значения ТП на любой заданной глубине наиболее эффективно использовать экспоненциальную фильтрацию:

$$S_n(x, y) = a_{xn} \cdot a_{yn} \cdot \sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^K S_1(x_i, y_j) e^{-\frac{|x-x_i|+|y-y_j|}{z}}$$

где $a_{xn} = \frac{1}{\sum_{i=0}^M e^{-\frac{|x-x_i|}{z}}}$ и $a_{yn} = \frac{1}{\sum_{j=0}^K e^{-\frac{|y-y_j|}{z}}}$ – нормирующие коэффициенты;

$z = f(n)$ – функция, задающая глубину и шаг дискретизации. Варьируя этой функцией, можно реализовать проникновение вглубь Земли с любым шагом между слоями. Изображение, обработанное методом экспоненциальной фильтрации, обладает следующими свойствами. При $z \rightarrow 0$ получаем исходное изображение $S_n(x, y) = S_1(x, y)$. При $z \rightarrow \infty$ получаем однородное, усредненное

$$\text{по всем пикселям изображение } S_n(x, y) = \frac{1}{M \cdot K} \sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^K S_1(x_i, y_j).$$

Основными достоинствами такого подхода является возможность построения объемной модели плотности потока теплового излучения на любой заданной глубине, с любым шагом между слоями, использование при моделировании всех пикселей снимка, что позволяет представить наиболее полную и непротиворечивую картину теплового поля.

При расчёте объёмной модели блоково-разломных структур использован алгоритм, предложенный В.Л. Онеговым. Области с относительно большими значениями элементов тепловизионного изображения выделяются путем увеличения амплитуды малоинтенсивных положительных аномалий. При этом сохраняют общий фон плотности потока теплового излучения геологической среды и используют максимизирующий фильтр, отклик которого характеризуется выражением:

$$b_{ij}^n = \max \{ s_{mk}^n \mid m = \overline{i-n, i+n}, k = \overline{j-n, j+n} \},$$

где b_{ij}^n – элемент n -го слоя модели блоково-разломных структур с координатами (i, j) ; m и k – координаты элемента s ; n – номер слоя элемента s ; s_{mk}^n – элемент n -го слоя с координатами (m, k) .

Технология дешифрирования карт-срезов и разрезов эндогенного ТП нацелена на селективное отображение: геодинамических блоков и граничных разрывов; внутренних тепловых неоднородностей; зон сжатия, растяжения и разуплотнения пород, в состав которых входят зоны флюидоперетоков и флюидонакопления. В результате локализуются места повышенного экологического риска (разломы, оползни, места подтоплений), техногенных

нарушений подземных и наземных инженерных сооружений (водоводов, нефтепроводов, продуктопроводов) и многое другое.

Разработана методика изучения динамики природной среды на основе космической многоспектральной съемки. Предлагается новый индикатор состояния природно-ландшафтных систем IS (индекс «стресса» растительности). Он рассчитывается на основе трансформированного вегетационного индекса TVI и радиационной температуры T_R (в градусах Цельсия) по данным спектральных диапазонов 0,63 – 0,69 мкм (3-й канал), 0,76 – 0,90 мкм (4-й канал) и 10,4 – 12,5 мкм (6-й канал) для разновременных космических снимков спутника «Landsat».

$$\text{Индекс определяется по формуле } IS = \frac{T_R}{100 \times TVI}, \text{ где } TVI = \sqrt{\frac{L_4 - L_3}{L_4 + L_3}} + 0,5.$$

Индекс IS является универсальным, интегральным индикатором водно-теплового стресса растительных ландшафтов. Этот индекс более эффективен, чем применение по отдельности его составляющих T_R и TVI , так как максимально полно отражает основные признаки угнетенного состояния фитоценозов – понижение значений вегетационного индекса и повышение температуры. Он позволяет учесть наличие на снимке растительности с неполным покрытием и исключить влияние почвенного фона. Теоретический диапазон значений IS лежит в пределах от 0 до 1, однако на практике максимальная величина не превышает 0,4. Повышенные величины индекса IS свидетельствуют о большей вероятности присутствия на исследуемой территории стрессового состояния растительности.

Диапазон значений индекса IS для участков ландшафта при разных датах съемки «Landsat» может существенно различаться, что обусловлено неодинаковыми температурными метеоусловиями и несовпадением фаз вегетации. В связи с этим используют нормализованный индекс «стресса», вычисляемый на основе линейной трансформации данных:

$$ISN = \frac{IS - Me + q\sigma}{2q\sigma}, \text{ где } Me - \text{ медиана; } \sigma - \text{ среднее квадратичное отклонение;}$$

q – коэффициент, зависящий от ширины гистограммы значений индекса IS .

Диапазон изменения индекса ISN для ландшафтно-растительных систем находится в пределах от 0 до 1 (за исключением воды, техногенных объектов, открытых горных пород), а значение медианы нормализованной гистограммы располагается в районе 0,5. Путем подбора коэффициентов q учитывается различная дисперсия гистограмм IS , вызванная разнообразием растительных ландшафтов и изменчивостью их состояний. Оценка пространственных и временных изменений природной среды проводится путем интерпретации разностного показателя индекса «стресса» (ΔISN) в увязке с глубинным строением геологической среды.

Тестирование выполнено на загрязненных нефтью землях южной части Самотлорского месторождения путем построения карты ISN для снимка «Landsat-7» и сравнительного анализа с данными российского отделения Гринпис, которые характеризуют экологическую обстановку региона. Выявленные аномалии индекса ISN хорошо совпадают с нефтяными разливами. Пиксели, имеющие значения ISN от 0,55 до 0,75, соответствуют зонам старых нефтяных загрязнений. Величины $ISN > 0,75$ достаточно точно отражают новые нефтяные разливы. Корреляция результатов составляет 82%, а по свежим загрязнениям достигает 90%. Этим подтверждается высокая эффективность методики при оценке экологического состояния разрабатываемого месторождения углеводородов.

В разделе 4 *«Исследование геоэкологического состояния природной среды на основе авиационного тепловизионного комплекса высокого разрешения»* анализируются результаты детальных съемок магистрального нефтепровода «Грозный – Баку» протяженностью 56 км (Республика Дагестан) и акватории Финского залива г. Санкт-Петербурга.

Показана эффективность применения дистанционного тепловизионного метода при оперативной оценке технического состояния магистрального нефтепровода, включая достоверность установления мест утечек нефти, местоположения и глубины залегания трубопровода, картирование

гидрогеологического строения, оценку степени экологической опасности эксплуатации нефтепровода в результате тектонических деформаций и несанкционированных врезок. Проведенное обследование, несомненно, полезно с точки зрения устранения или предотвращения процессов, оказывающих вредное влияние на экологическое состояние среды. Детальная вертолетная съемка проводилась с разных высот полета (150, 300, 600 и 1000 метров) с последующей обработкой 1700 тепловизионных снимков.

Области обводнения верхней части осадочного чехла проявляются в ТП 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.

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

В результате установлен ряд признаков проявления врезок в нефтепровод: повреждения грунта на видимом снимке; концентрическая тепловая аномалия над трубопроводом и линейная аномалия, проходящая под углом к нему; изменение характера теплового излучения в объемной модели и проявление аномальных разрывов среды на схеме блоково-разломных структур на глубине 0,5 – 1,5 м.

Результаты подтверждены инструментальной наземной заверкой на местности состояния нефтепровода и экологии среды компанией ОАО «Черномортранснефть».

Проведено исследование и установлены места экологического загрязнения акватории Финского залива выпусками очищенных сточных вод объектов водоканала г. Санкт-Петербурга (Северная и Центральная станции аэрации). Несмотря на то, что рассеянный выпуск очищенных сточных вод в

залив производится на большом расстоянии от берега, тем не менее, наблюдается экологическое нарушение прибрежной части. В процессе тепловизионной авиационной съемки установлены зональные тепловые аномалии, которые разделяют акваторию на ряд областей, отличающихся по степени загрязнения донных отложений биогенными и химическими элементами. Для Северной станции зона максимума предельно допустимой концентрации вредных веществ составила площадь $0,58 \text{ км}^2$, а средней загрязненности – $0,82 \text{ км}^2$. В районе Центральной станции наибольшее нарушение естественной водной среды приходится на площадь $0,25 \text{ км}^2$, а умеренный уровень изменчивости акватории залива – $0,46 \text{ км}^2$. Съемкой достоверно установлено, что станции аэрации г. Санкт-Петербурга проводят очистку сточных вод с высокой эффективностью, так как не обнаружены признаки загрязнения акватории вдали от береговой линии.

В разделе 5 *«Исследование геоэкологического состояния природной среды на основе космической съемки»* рассмотрено применение технологии при оценке экологического состояния зоны отдыха «Винновская роща» г. Ульяновска и в местах интенсивной разработки Самотлорского и Федоровского нефтегазовых месторождений Западной Сибири.

При оценке экологического риска зоны отдыха «Винновская роща» г. Ульяновска установлены скрытые места загрязнения нефтепродуктами. По особенностям изменения ТП выполнено картирование блоково-разломных структур Волжско-Свияжского водораздела с глубокой (до 40 м) эрозионной палеодолиной неогцевого времени. Установлены три потенциально возможные зоны распространения флюидов в реальных условиях, проведено ранжирование по степени вероятности их принадлежности к источникам загрязнения нефтепродуктами. По данным ДТЗЗ пробурены скважины на участках предполагаемого распространения флюидов в среде, с отбором проб и геохимическим анализом грунта и воды. Они подтвердили простираение зоны глубинной миграции нефтепродуктов от промышленных объектов Куйбышевской железной дороги, в которой содержание дизельного топлива

в пробах значительно превышало предельно допустимую концентрацию (до 55 000 мг/л).

Решение экологической проблемы по ликвидации очага загрязнения на территории природного комплекса памятника природы «Винновская роща» г. Ульяновска состоит из следующих этапов: картирование контуров погребенной долины и кровли слабопроницаемой толщи в зоне аэрации, а также размеров нефтяной линзы; выявление утечек нефтепродуктов из хранилищ и подземных нефтепродуктопроводов промышленных объектов, расположенных в пределах развития погребенной долины и водосборной площади; разработка мероприятий по ликвидации очага загрязнения и реабилитации природной среды по результатам новых исследований.

Новизной экологического мониторинга в труднодоступных регионах с интенсивной разработкой нефтяных и газовых месторождений является совместное изучение спектральных характеристик дневной поверхности и глубинного строения осадочного чехла. Для подтверждения эффективности метода рассмотрены два участка Среднеобской нефтегазоносной провинции в составе южной части Самотлорского месторождения и восточной части Федоровского месторождения.

Наглядно показаны разные ситуации, при которых легкие углеводороды по зонам латеральной трещиноватости среды и крупным разломам устремляются к дневной поверхности за счет перепада давления. При этом изменяется состав флюидов, заполняющих трещины горных пород, и плотность потока теплового излучения среды. Это отражается на характере развития растений, так как растворенные углеводороды оказывают негативное воздействие на их корни. В результате выделено три степени изменчивости растительного покрова за счет отсутствия (нормальная), незначительного и сильного (аномальная) влияния эндогенного процесса. Там, где флюиды не «заражены» различными фракциями углеводородов, растительность находится в нормальном, неугнетенном состоянии. В тех местах, где наблюдается высокая корреляция аномального поведения

индекса *ISN* и выходов углеводородов, распространяющихся с глубин залегания продуктивных горизонтов до дневной поверхности, велика вероятность экологического нарушения природной среды.

Согласно полученным результатам исследований, становится очевидным, что в структуру построения геоинформационного обеспечения перечня нормативной картографической продукции, которая может быть привязана к электронному паспорту наблюдаемых объектов на разных этапах их экологического обследования, может входить комплексная система информации, получаемая по развиваемой технологии. Это позволит с единых позиций получать оперативные сведения на разных уровнях детализации информации в целом и отдельных участков исследуемой территории.

Целевыми задачами системы геоинформационного обеспечения экологического мониторинга являются: во-первых, определение фоновых параметров окружающей среды территории на момент начала разработки нефтегазовых месторождений (на региональном этапе исследований); во-вторых, оценка динамики изменения окружающей среды под воздействием создаваемых и эксплуатируемых объектов. Для этого могут быть использованы как архивные материалы космических съемок, позволяющие получать изображения различного пространственного разрешения, так и действующие системы спутниковых наблюдений.

В заключении приведены основные результаты работы.

1. Созданный тепловизионный дирижабельный комплекс высокого разрешения и методика авиационной съемки являются компонентами недорогой и мобильной технологии для оперативного экологического мониторинга природной среды.

2. Разработана и апробирована методика расчета объемной модели плотности потока теплового излучения геологической среды (эвристический подход к решению обратной задачи) для градиентных сред и техногенных объектов (трубопроводов) на основе тепловизионных снимков с космических

и авиационных носителей, позволяющая получать новую геонформационную продукцию в природно-техногенной сфере.

3. Разработанная технология авиационного тепловизионного зондирования даст возможность проводить диагностику нефтепроводов, объемное картирование гидрогеологического строения среды и обнаружение нефтяных разливов. Результаты обследования магистрального нефтепровода «Грозный – Баку» подтверждают эффективность использования нового подхода в изучении экологического состояния среды.

4. Комплексное использование ДТЗЗ на основе космической и авиационной съемок позволяет провести оперативную оценку экологического состояния геологической среды в городских условиях, которая подверглась техногенному воздействию в результате деятельности человека. Оценен экологический риск зоны отдыха «Винновская роща» г. Ульяновска, установлены зоны глубинной миграции и места загрязнения нефтепродуктами от промышленных объектов, которые подтверждены бурением скважин. Установлены места экологического загрязнения акватории Финского залива выпусками очищенных сточных вод объектов водоканала г. Санкт-Петербурга.

5. Разработана методика комплексного анализа многоспектральных данных космических снимков путем районирования состояния природно-ландшафтных систем по индексу «стресса» растительности (фитогеохимическая информация) и анализа глубинного строения геологической среды. Выполнен экологический мониторинг природной среды в труднодоступных местах интенсивной разработки нефтяных и газовых месторождений Западной Сибири.

Основные публикации по теме диссертации

Статьи, опубликованные в ведущих рецензируемых научных журналах, входящих в Перечень ВАК:

1. Дистанционное тепловизионное зондирование Земли при решении геологических задач / К.М. Каримов, В.Л. Онегов, **С.Н. Кокутин**, В.Н. Соколов, В.Ф. Васев // Георесурсы. 2009. № 1(29). С. 38–42.

2. Авиационное тепловизионное зондирование геологической среды / К.М. Каримов, В.Л. Онегов, **С.Н. Кокутин**, В.Н. Соколов, Л.К. Каримова, В.Ф. Васев // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2009. № 5. С. 24–31.

3. Космическое тепловизионное зондирование континентального шельфа морей / К.М. Каримов, В.Л. Онегов, **С.Н. Кокутин**, Р.Р. Назырова, В.Н. Соколов, Л.К. Каримова, В.Ф. Васев // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2010. № 2. С. 8–15.

Статьи, опубликованные в других изданиях:

4. Мухамедяров Р.Д., **Кокутин С.Н.** Возможность оценки зеленой биомассы сельскохозяйственных культур системой дистанционного зондирования в видимой и ближней инфракрасной областях спектра // Оптический журнал. 1999. Т. 66. № 4. С. 43–46.

5. Мухамедяров Р.Д., **Кокутин С.Н.** Алгоритмы оценки зеленой биомассы сельскохозяйственных посевов системами дистанционного зондирования // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 1999. № 2. С. 19–22.

6. Опыт создания и результаты эксплуатации многоспектрального сканирующего устройства в составе космического аппарата «Океан-О» / Р.Д. Мухамедяров, А.С. Глушков, А.С. Михайлов, Р.Ш. Хисамов, С.Е. Захаров, Н.И. Горбунов, А.М. Газизулин, **С.Н. Кокутин** // Оптический журнал. 2002. Т. 69. № 4. С. 31–37.

7. Современные спектрорадиометры для мониторинга природно-техногенных систем с низкоорбитальных космических аппаратов /

Р.Д. Мухамедяров, Р.Ш. Хисамов, А.С. Глушков, Н.И. Горбунов, А.С. Михайлов, **С.Н. Кокутин** // Оптический журнал. 2002. Т. 69. № 12. С. 44–47.

8. Опыт использования космических многоспектральных данных аппаратуры МСУ-В для мониторинга растительных ресурсов Республики Татарстан / Р.Д. Мухамедяров, Н.И. Горбунов, **С.Н. Кокутин**, Д.И. Файзрахманов, А.Т. Сабиров // Вестник Казанского ГАУ. 2006. № 3. С. 58–63.

9. Экологическая оценка эрозийных ландшафтов с использованием космических снимков / А.Т. Сабиров, И.Р. Галиуллин, **С.Н. Кокутин**, Е.Р. Колесникова // Вестник Казанского ГАУ. 2007. № 1(5). С. 74–79.

10. **Кокутин С.Н.**, Сабиров А.Т., Галиуллин И.Р. Применение космических снимков при оценке развития эрозии в природных ландшафтах Прикамья // Вестник Казанского ГАУ. 2008. № 1(7). С. 132–137.

11. Оценка экологического риска зоны отдыха «Винновская роща» г. Ульяновска по данным дистанционного зондирования Земли / К.М. Каримов, В.Л. Онегов, В.Н. Соколов, **С.Н. Кокутин**, В.В. Бердник, Е.П. Бондарович // Российский геофизический журнал. 2009. № 47–48. С. 109–114.

Подписано в печать 28.10.2010 г. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная.

Печать на ризографе. Печ. л. 1,0. Тираж 100. Заказ √22.9

Отпечатано с оригинал-макета в лаборатории множительной техники
издательства УГГУ

620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30.

Уральский государственный горный университет