

Данные дистанционного зондирования Земли из космоса (ДЗЗ) широко используются при решении различных задач, в том числе, весьма успешно, в нефтегазовой сфере. Сложность и высокая стоимость получения геолого-геофизической информации традиционными методами в труднодоступных районах, где осуществляется поиск и добыча углеводородов, повышает значение технологий дистанционного получения данных.

Учитывая важность и актуальность проблематики, которую можно в целом обозначить как использование данных ДЗЗ в нефтегазовой сфере, мы решили посвятить этой теме номер журнала, который Вы держите в руках.

Особенно актуальным является применение съемок из космоса в нынешней кризисной ситуации, когда даже крупные компании сокращают объемы геологоразведочных работ и останавливают инвестиционные проекты по изучению и освоению нефтяных и газовых месторождений.

В нашей стране космические методы стали активно привлекаться в геологоразведочных работах при поиске нефти и газа во второй половине 1980-х гг., когда появились качественные снимки с отечественных спутников серии «Космос». В это же время в соответствующих отраслевых ведомствах создавались научные коллективы, которые не только разрабатывали методику работ с космическими снимками, но и внедряли результаты этих разработок в практику.

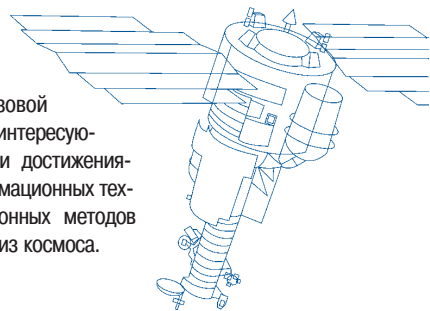
К началу 1990-х гг. были разработаны методические рекомендации по применению аэрокосмических методов при нефтегазовых поисковых работах, созданы космо-тектонические карты на отдельные регионы, выпущены многочисленные монографии и сборники, посвященные многоцелевому применению космической информации при геологоразведочных работах.

Однако в это время, в силу известных причин, нефтегазовое направление ДЗЗ в нашей стране приостановилось в своем развитии, и возрождение этого метода началось в начале XXI века. Произошло активное совершенствование технологии ДЗЗ. Появились снимки сверхвысокого (до 0,5 м) разрешения, в том числе и мультиспектральные данные. Развиваются съемки в

радиолокационном и инфракрасном диапазонах, существенно расширившие области практического использования методов ДЗЗ. В настоящее время космические технологии обеспечивают оперативное решение многих задач нефтегазовой отрасли, в числе которых такие важные как:

- создание высокоточной топографической основы для привязки скважин, сейсмопрофилей и инфраструктуры промыслов, а также для многоцелевых задач на всех этапах геологоразведочных работ;
- детальная оценка инженерно-геологических условий участка работ и выявление предпосылок стихийных бедствий (наводнений, оползней, землетрясений и др.);
- изучение региональной структуры и зон нефтегазо-накопления для слабо исследованных территорий Восточной Сибири и Дальнего Востока;
- прогнозирование структурных ловушек для постановки поисковых сейсморазведочных работ;
- выявление зон трещиноватости в карбонатных резервуарах, обладающих высокими фильтрационно-емкостными свойствами;
- мониторинг технического состояния и оценка экологической обстановки территорий месторождений и трубопроводов;
- контроль и мониторинг рекультивационных мероприятий.

Мы рассчитываем, что статьи и материалы, представленные сотрудниками компании «Совзонд» и других организаций, будут интересны и полезны не только специалистам, работающим в нефтегазовой отрасли, но и всем, интересующимся современными достижениями в сфере геоинформационных технологий и дистанционных методов исследования Земли из космоса.



Содержание

Новости	4
---------------	---

Данные дистанционного зондирования

Д.М. Трофимов Эволюция космических методов, результаты их использования в нефтегазопроисковых работах за период 1987-2007 гг. и потенциальные возможности в будущем	7
Д.М. Трофимов Дистанционное зондирование: новые технологии – новые возможности поисков нефти и газа.....	17
М.А. Болсуновский Создание Центра космического мониторинга для решения задач нефтегазовой отрасли	26

Обработка данных ДЗЗ

В.Б. Серебряков Применение космических данных в комплексе работ при поиске нефти и газа	35
О.Н. Колесникова Использование программного комплекса ENVI для обработки данных дистанционного зондирования Земли	38

Использование данных ДЗЗ

Д.М. Трофимов, В.Н. Евдокименков, В.В. Малышев Методика оценки перспектив нефтегазоносности структурных ловушек, выявленных или подготовленных к поисковому бурению, по космическим и геолого-геофизическим данным.....	42
М.К. Шуваева, В.Н. Евдокименков, В.В. Малышев Результаты апробирования методики прогноза нефтегазоносности структурных ловушек по космическим данным (на примере Печоро-Кожвинского мегавала Тимано-Печорской провинции)	49
В.Б. Серебряков, Д.М. Трофимов, В.Е. Тавризов Прогнозирование перспективных участков для нефтегазопроисковых работ в районе магистрального нефтепровода ВСТО на основе результатов обработки космических снимков	53
Н.А. Малышев, В.Е. Тавризов, Д.М. Трофимов, В.Н. Евдокименков Прогнозирование зон трещиноватости по космическим, сейсморазведочным и промысловым данным (на примере резервуаров рифея Камовского свода)	57
В.Г. Чигир, С.А. Егурцов, М.В. Фокеева, В.А. Горбатов Применение материалов дистанционных съемок для диагностики технического состояния трубопроводов в северных районах	60
А.Н. Бриллиантов, А.В. Глотко, Г.Д. Жуков, И.Н. Каргаполова Использование данных ДЗЗ для мониторинга русловых процессов и диагностики технического состояния подводных переходов магистральных трубопроводов	66
Ю.И. Кантемиров, Ю.Б. Баранов, Е.В. Киселевский, В.В. Билянский, С.П. Вергелес, С.Э. Никифоров, В.Г. Грязнов, М.А. Болсуновский Опыт комплексного мониторинга смещений земной поверхности на разрабатываемых месторождениях углеводородов с помощью геодезических и космических методов	71
Г.Г. Райкунов, В.В. Иванов, Н.И. Кузнецов, С.С. Клименко, В.Н. Евдокименков, А.А. Емельянов, Д.М. Трофимов Методы комплексного многокритериального анализа данных ДЗЗ и результатов геохимических исследований как новый вид нефтегазопроисковых работ	75

Наши конференции

III Международная конференция «Космическая съемка – на пике высоких технологий»	80
---	----

Справочный раздел

Сравнительный анализ эффективности использования данных сверхвысокого разрешения оптико-электронных систем ДЗЗ из космоса для нужд нефтегазовой отрасли	82
Космические аппараты с оптико-электронными системами ДЗЗ	84
Словарь терминов	93

Content

News4

Remote sensing data

D. Trofimov
Evolution of satellite methods, results of its application in oil and gas researching
in 1987-2007, potential in the future7

D. Trofimov
Remote sensing: new technologies – new ways of searching for oil and gas.....17

M. Bolsunovskiy
Engineering and design of Space Monitoring Center for oil and gas tasks26

Remote sensing data processing

V. Serebryakov
Space remote sensing data application in range of oil and gas prospecting works35

O. Kolesnikova
ENVI software usage for remote sensing data processing.....38

Application of RS data

D. Trofimov, V. Evdokimenkov, V. Malishev
Petroleum potential evaluation based on remote sensing data and geology
and geophysics data of structural oil traps, founded or prepared for prospecting drilling.....42

M. Shuvaeva, V. Evdokimenkov, V. Malishev
Testing results of structural oil traps petroleum potential forecasting methodology based on
space-born images. (case study: Pechoro-Kozhvinitskiy megalithic bank in Timan-Pechora
province)49

V. Serebryakov, D. Trofimov, V. Tavrizov
Estimation of prospective sites along ESPO pipeline on basis of remote sensing
data processing results53

N. Malishev, V. Tavrizov, D. Trofimov, V. Evdokimenkov
Fracturing areas prediction through remote sensing, seismic and field data
(case study: the Riphean ach of Kamovsk basin)57

V. Chigir, S. Egurcov, M. Fokeeva, V. Gorbатов
Application of remote sensing data for pipeline technical status diagnosis in the Northland60

A. Brilliantov, A. Glotko, G. Zhukov, I. Karagapolova
River bed evolution monitoring and submerged crossing diagnosis through satellite data66

U. Kantemirov, U. Baranov, E. Kiselevskiy, V. Bilyanskiy, S. Vergeles, S. Nikiforov,
V. Gryaznov, M. Bolsunovskiy
Using complex of space born and geodesic methods for monitoring ground movements
in hydrocarbon producing fields71

G. Raykunov, V. Ivanov, N. Kuznetsov, S. Klimenko, V. Evdokimenkov, A. Emelyanov,
D. Trofimov
Integral multicriterion methods of analysis of remote sensing data and geochemical
research as a new petroleum exploration work type75

Our conferences

III International Conference «Remote sensing – the Synergy of High Technologies»80

References

Comparative analysis of effective using very high resolution data acquired
from optical-electronic remote sensing satellites for oil and gas industry82

Satellites fitted with optical-electronic remote sensing systems84

Glossary93



**Учредитель – Компания
«Совзонд»**

**Издатель – Информационное
агентство «ГРОМ»**

Редакционная коллегия

М.А. Болсуновский,
А.М. Ботрякова,
В.В. Groшев,
Б.А. Дворкин (главный редактор),
С.А. Дудкин,
О.Н. Колесникова,
С.В. Любимцева,
М.С. Романчикова,
М.А. Элердова

Ответственные за выпуск

А.М. Ботрякова, Д.М. Трофимов

Дизайн макета и обложки

И.А. Петрович

Информационно-рекламная служба

А.М. Ботрякова
А.Е. Цейрова

Почтовый адрес:

115446, г. Москва,
ул. Шипиловская, 28а,
компания «Совзонд»

Тел.: +7 (495) 988-7511,
+7 (495) 988-7522,
+7 (495) 514-8339

Факс: +7 (495) 988-7533,
+7 (495) 623-3013

E-mail: geomatics@sovzond.ru

Перепечатка материалов без
разрешения редакции запрещается.

Тираж 2000 экз.
Цена свободная

Номер подписан в печать
25.02.2009 г.

Предпечатная подготовка
Информационное агентство «ГРОМ»

Печать
Издательство «Проспект»

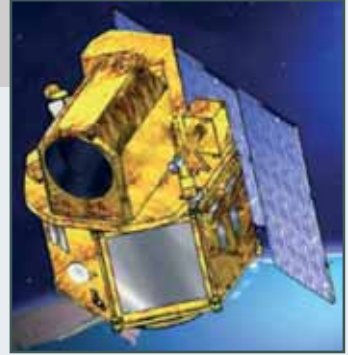
Свидетельство о регистрации
в Россвязькомнадзор
ПИ №ФС77-34855 от 13.01.2009 г.

ВЫВЕДЕН НА ОРБИТУ ПЕРВЫЙ КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ ДЗЗ ТАИЛАНДА THEOS

Космический аппарат (КА) THEOS (Thailand Earth Observation System) был запущен 1 октября 2008 г. с помощью ракеты-носителя «Днепр» из района «Домбаровский» (п. Ясный, Оренбургская область). Спутник разработан по заказу Таиландского агентства по геоинформатике и развитию космических технологий (GISTDA) Европейским аэрокосмическим концерном (EADS, Франция).

КА THEOS был выведен на сол-

нечно-синхронную орбиту высотой 822 км, обеспечивающую его прохождение над любым районом Земли с периодом 26 суток и наклоном 98,7°. Он оснащен панхроматической съемочной системой с пространственным разрешением 2 м и шириной полосы захвата 22 км, а также четырехканальной мультиспектральной системой с разрешением 15 м и полосой захвата 90 км. За счет разворота КА по крену до 30° обеспечивается ширина по-



лосы обзора 1000 км. Максимальное отклонение от надира по тангажу и крену составляет 45°. Расчетный срок пребывания на орбите составляет 5-7 лет.

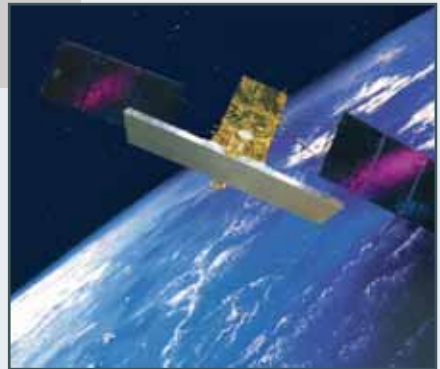
ИТАЛИЯ ПОПОЛНИЛА ГРУППИРОВКУ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СПУТНИКОВ ДЗЗ

24 октября 2008 г. с авиабазы Вандерберг (США) ракета-носитель Delta II успешно вывела на расчетную орбиту третий итальянский спутник COSMO-SkyMed.

Ввод в эксплуатацию КА COSMO-SkyMed-3 позволит увеличить количество получаемых ежедневно радиолокационных снимков с 900 до 1350.

Серия космических аппаратов двойного назначения COSMO-SkyMed 1-4 (Constellation of Small Satellites for Mediterranean basin Observation – Созвездие малых спутников для наблюдения за Средиземноморским бассейном), разрабатываемая Итальянским космическим агентством (ASI) совместно с Министерством обороны Италии, бу-

дет полностью развернута с запуском четвертого спутника группировки в начале 2010 г. Первые два спутника были запущены с авиабазы Вандерберг (США) соответственно 8 июня и 9 декабря 2007 г. и выведены на орбиту с высотой 619,6 км и наклоном 97,86°. Все спутники группировки оснащены радиолокаторами с синтезированной апертурой, позволяющими выполнять интерферометрическую съемку земной поверхности с беспрецедентным пространственным разрешением (лучше 1 м на местности). Радиолокатор каждого спутника



снимает земную поверхность в X-диапазоне длин волн (3,1 см) с изменяемой поляризацией излучения (HH, VH, HV, VV) в диапазоне съемочных углов от 20° до 50°. Расчетный срок пребывания на орбите каждого аппарата COSMO-SkyMed составляет около 5 лет. Оператором спутников является компания Telespazio (Италия).

НОВАЯ ВЕРСИЯ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА SARscape ДЛЯ ОБРАБОТКИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ДАННЫХ ДЗЗ

22 октября 2008 г. вышла новая версия ПК SARscape 4.1, дополнительного модуля ПК ENVI, предназначенного для выполнения комплексной обработки радиолокационных данных ДЗЗ. В новой версии значительно улучшены основные алгоритмы обработки радиолокационных данных, особенно изображений сверхвысокого разрешения, получаемых с КА TerraSAR-X и Cosmo-SkyMed, несколько переработан интерфейс, существенно улучшена последовательная обработка данных, обновлен раздел документации (Help), а также тестовые наборы данных.

Появились следующие новые возможности ПК SARscape:

- переработан интерфейс для модулей Interferometry и ScanSAR Interferometry;
- увеличено количество поддерживаемых систем координат;
- обеспечена поддержка векторного формата ENVI (EVF);
- добавлена возможность автоматического сохранения результатов в формате TIFF;
- обеспечивается автоматическое создание отчета о выполняемых процедурах и ошибках;
- улучшена процедура последовательной обработки данных.

В SARscape Help:

- улучшена и переработана документация о ПК SARscape;
- обновлен набор тестовых данных;
- обновлено ознакомительное пособие SAR Guide Book.

Обеспечена поддержка новых радиолокационных систем:

- COSMO-SkyMed (форматы: SCS, MDG, GEC и GTC);
- RADARSAT-2 (форматы: SLC, SGF, SCN, SGC, SSG, SPG, SGX и SCW).

Расширены возможности по использованию данных ряда радиолокационных систем:

- полная поддержка данных TerraSAR-X в форматах TIFF и COSAR;
- поддержка данных ALOS PALSAR ERSDAC уровня обработки 1.0 как для стандартных кадров, так и для маршрутов;
- поддержка SRTM-3 версии 4.

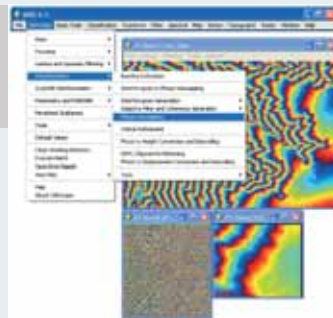
Обновлены некоторые модули ПК SARscape.

В модуле Basic:

- добавлен новый алгоритм корегистрации данных на основе DEM, используемый при обработке данных высокого разрешения;
- процедура корегистрации данных, полученных при различных углах съемки, выполняется в автоматическом режиме;
- разработан новый инструмент автоматического выделения общей территории для массива мультивременных снимков;
- улучшен алгоритм сегментации изображений.

В модуле Interferometry:

- добавлен инструмент, позволяющий совмещать данные интерферометрической обработки для разных



интерферометрических пар;

- добавлен новый улучшенный алгоритм корегистрации данных на основе DEM, используемый при обработке данных высокого разрешения (Spot-light data);
- обеспечивается выполнение корегистрации данных и в SLC формате;
- улучшены алгоритмы (развертка фазы, генерация синтетической фазы) для обработки данных большого объема (PALSAR, TerraSAR-X и COSMO-SkyMed);
- добавлена возможность создания интерферограмм по паре снимков, образованной данными ERS и Envisat;
- добавлена возможность совместной интерферометрической обработки данных с единичной поляризацией и мультиполяризационных данных.

В модуле ScanSAR:

- добавлена возможность обработки не полных кадров, а их фрагментов;
- улучшен алгоритм синхронизации данных.

Более подробно о новых возможностях ПК SARscape можно узнать, обратившись к специалистам компании «Совзонд» по тел: +7 (495) 514-83-39, 988-75-11 или по e-mail: info@sovzond.ru.

6-Й ВСЕРОССИЙСКИЙ СЪЕЗД ГЕОЛОГОВ



6-й Всероссийский съезд геологов проходил в Москве 27-29 октября 2008 г. В его работе приняли участие около 1600 специалистов и большое количество приглашенных, в том числе делегации государств СНГ (Казахстана, Белоруссии и др.) На съезде работало шесть секций, посвященных основным направлениям геологических исследований. В своих выступлениях делегаты критически отзывались о работе Министерства природных ресурсов и экологии РФ и Федерального агентства по недропользованию в связи с низкой эффективностью геологоразведочных

работ, длительными сроками оформления лицензий и высокой степенью бюрократизма при рассмотрении решений, писем и жалоб. По мнению большинства геологов, многие проблемы могло бы разрешить создание Министерства геологии РФ.

На секции нефти и газа выступили руководители ведущих нефтяных компаний, производственных организаций и научно-исследовательских институтов с позитивными оценками результатов работ по наращиванию ресурсов нефти и газа. Вместе с тем, в ряде выступлений говорилось о

сворачивании инвестиционных проектов, намеченных на 2009-2010 гг., в связи с финансово-экономическим кризисом, т. е. о сокращении геологоразведочных работ.

Президент Российского геологического общества В.П. Орлов поднял вопрос о низком практическом уровне использования аэрокосмогеологических исследований в производственных организациях. Вместе с тем, в условиях недостаточных объемов поисковых работ, для расширения минерально-сырьевой базы малозатратные дистанционные исследования могли бы внести существенный вклад в геологическое изучение слабоосвоенных территорий Восточной Сибири и Дальнего Востока, а также оценку их прогнозных ресурсов.

СЛУЖБА ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ США (USGS) ОБНАРОДОВАЛА СТАНДАРТ УСЛОВНЫХ ЗНАКОВ ДЛЯ ЦИФРОВЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ КАРТ



Опубликован стандарт условных знаков для цифровых геологических карт FGDC-STD-013-2006, разработанный USGS. Он призван предоставить составителям и пользователям геологических карт унифицированные и наглядные средства для отображения различных геологических объектов и явлений.

Новый стандарт предназначен как для создания карт в печатном (полиграфическом) виде, так и в

электронных форматах, например, PDF. В настоящее время уже выпущена полиграфическая версия нового стандарта, а также электронные версии в форматах PDF, PostScript для Adobe Illustrator и других графических программных пакетах. Готовится к выпуску также версия стандарта для программных сред компании ESRI. Она должна появиться весной 2009 г.

Стандарт FGDC-STD-013-2006

является обязательным для государственных агентств США, занимающихся созданием геологических карт. Для частных компаний он настоятельно рекомендуется.

Более подробная информация о стандарте FGDC-STD-013-2006 доступна в сети Интернет по ссылке <http://www.fgdc.gov/standards/projects/FGDC-standards-projects/geo-symbol/index.html>.

Д. М. Трофимов (Компания «Совзонд»)

В 1958 г. окончил Московский геологоразведочный институт. В настоящее время – специалист компании «Совзонд». Доктор геолого-минералогических наук.

Эволюция космических методов, результаты их использования в нефтегазопроисковых работах за период 1987-2007 гг. и потенциальные возможности в будущем

Космические методы стали использоваться в нефтегазовой геологии в конце 1970-х – начале 1980-х гг., когда появились снимки со спутников «Метеор» с разрешением в несколько сотен метров, на которых можно было распознавать крупные геологические объекты: складчатые системы, крупные впадины и региональные разломы.

Развитие систем космических съемок в СССР и США шло по двум направлениям: на основе фотографической техники и на основе цифровой. Основным преимуществом первого направления являлось высокое пространственное разрешение в охвате видимого и ближнего инфракрасного диапазонов при некоторых сложностях трансформации снимков в определенную картографическую проекцию, а второго – оперативное использование компьютерной техники для обработки и преобразований получаемых изображений, их коррекции и трансформирования в необходимые масштабы карт. В связи с этим в СССР активно развивались фотографические методы работы со снимками: улучшение их качества, обработка получаемой информации и т. д., но имелись проблемы сохранения и архивирования накопленных изображений. В США в первую очередь развивались цифровые методы в комплексе с геоинформационными системами (ГИС). В общем, качество космических фотоснимков было существенно более высоким, чем космических цифровых изображений, полученных с помощью компьютерных тех-

нологий, хотя последние, начиная со спутника ERTS (США), выпускались в масштабе 1:1 000 000 и могли быть увеличены без существенной потери качества до масштаба 1:200 000. В настоящее время во всем мире используются преимущественно цифровые космические изображения (снимки).

Практическое применение космических снимков в нефтегазовой геологии началось в середине 1980-х гг. и ограничивалось поисковым этапом геологоразведочных работ. В основном они использовались для решения структурных и тектонических задач, в первую очередь, прогнозирования структурных ловушек нефти и газа.

Методика дешифрирования или тематического анализа космических снимков на первом этапе была унаследована с периода применения аэрофотоснимков при геолого-съемочных и в меньшей степени нефтегазопроисковых работах. Ее сутью являлось прямое отображение морфологии наблюдаемых геологических объектов открытых территорий, перенесенное на закрытые территории без существенного анализа и разделения структурной и ландшафтной информации.

В этот период получили развитие несколько методов дешифрирования: контрастно-аналоговый [1], ландшафтно-индикационный [2], ландшафтно-генетический [3], геодинамический [4] и структурный [5, 6].

Объектом анализа при использовании ландшафт-

но-индикационного и ландшафтно-генетического методов, как видно из их названий, являлся ландшафт, составляющие его природно-территориальные комплексы и природные индикаторы, которые в большинстве случаев не сопоставлялись с глубоко залегающими геологическими объектами, и степень их коррелируемости до сих пор осталась неясной.

Еще одной негативной стороной применения ландшафтно-индикационных методов являлось выявление только двух форм геологических объектов: линейных (или линейных) и кольцевых (как правило, весьма крупных). Эти методы не используются в нефтегазовой геологии и соответственно не прижились в ней. Морфологически кольцевые структуры не имеют широкого распространения среди структурных форм осадочного чехла и представлены небольшими по размерам соляными куполами, рифами и сводами. При благоприятном случае кольцевые структуры отвечают последним. Большинство структурных ловушек нефти и газа имеют ассиметричные контуры с разными соотношениями длинной и короткой осей.

Необходимо подчеркнуть, что эти методы были ориентированы на решение различных геологических задач и использовались при геолого-съемочных

работах, поисках воды и рудных полезных ископаемых. Только структурный метод дешифрирования был предназначен для решения структурно-тектонических задач нефтегазовой геологии и прогнозирования структур осадочного чехла. Его отличие от вышеупомянутых методик заключалось в том, что объектами исследований являлись структурные формы осадочного чехла, а ландшафт, сформированный за несколько тысячелетий, становился помехой для выявления искомого объектов и содержал лишь небольшой объем полезной информации. Она в обязательном порядке фильтровалась через комплекс геолого-геофизических данных или интерпретировалась, что позволяло существенно повысить уровень достоверности прогнозируемых объектов.

Оценка результатов космоструктурных исследований, проведенных в пределах основных нефтегазовых провинций России, показала, что метод структурного дешифрирования является универсальным для различных в геолого-ландшафтном отношении регионов, о чем свидетельствуют относительно высокие показатели подтверждаемости сейсморазведкой локальных объектов, спрогнозированных по космическим данным за период 1987-2007 гг. (табл. 1).

Таблица 1

Оценка результативности космоструктурных исследований по результатам поисковых работ в основных нефтегазовых провинциях за период 1987-2007 гг.

Название нефтегазовой провинции	Название региональных структур*	Сходимость результатов космоструктурных и сейсморазведочных работ по состоянию на 1987 г., %	Общая подтверждаемость прогнозируемых структур сейсморазведочными работами 1987-2007 гг., %
Восточно-Сибирская	Камовский свод Байкитской антеклизы	56	63
	Хапчагайский вал Вилюйской синеклизы	79	89
	Линденская впадина	56	86
Западно-Сибирская	Гыданский свод	82	85
	Салымский свод	76	92
Тимано-Печорская	Хорейверская впадина	60	65
Прикаспийская	Северный бортовой уступ	80	-
	Восточный бортовой уступ	47	-
Волго-Уральская	Бузулукская впадина	65	85
	Мелекесская впадина	53	55

* Примечание. Выборка сделана не по всей площади региональных структур, а по отдельным участкам, на которые имеются результаты геологоразведочных работ. Небольшой прирост новых объектов и соответственно их подтверждаемость объясняется тем, что со второй половины 1990-х гг. объем поисковых работ был сконцентрирован на относительно небольших лицензионных участках, не охватывающих площади космоструктурных исследований

В конце 1980-х гг. в системе Министерства геологии СССР и Министерства нефтяной и газовой промышленности СССР проводилось структурное картографирование нефтегазоносных провинций на основе космических методов, а результаты работ документировались и передавались для внедрения в производственные организации, с которыми, как правило, обратная связь отсутствовала. Основой работ являлись «Методические рекомендации по применению аэрокосмических методов при нефтегазопроисследовательских работах», подготовленные во Всероссийском научно-исследовательском геологоразведочном нефтяном институте (ВНИГНИ) и утвержденные Министерством геологии СССР в 1987 г. [5]. По результатам космоструктурных работ ведущих нефтегазоносных провинций было спрогнозировано немногим более 500 локальных структур [6].

С целью проверки результатов прогнозирования структурных ловушек нефти и газа в 1980-х гг. использовались карты-схемы выявленных локальных структур и месторождений нефти и газа России по состоянию на 2007 г. Так как оценка структурных форм чехла проводилась на топографической основе масштаба 1:200 000, сопоставление оказалось достаточно корректным.

Сложность оценки эффективности космоструктурных исследований заключается в неравномерной плотности сети сейсмопрофилей, покрывавших нефтегазоносные провинции и существенно возросших с проведением поисковых работ в пределах лицензионных площадей. Если космоструктурная съемка относительно равномерно покрывает изучаемую территорию, то изменяющаяся плотность сейсмопрофилей создает некоторые трудности при сопоставлении равнодостоверных поисковых объектов, выделенных этими методами. С целью оценки результатов космоструктурных работ в пределах нефтегазоносных провинций выбирались наиболее изученные участки, по которым и определялась геологическая эффективность космических исследований. Объем статьи не позволяет полностью изложить результаты этих работ. Они будут продемонстрированы фрагментарно по каждой из изученных нефтегазоносных провинций.

В конце 1980-х гг. Западно-Сибирская нефтегазоносная провинция представляла первоочередной интерес, так как Волго-Уральская провинция была уже хорошо изучена и входила в стадию падающей добычи.

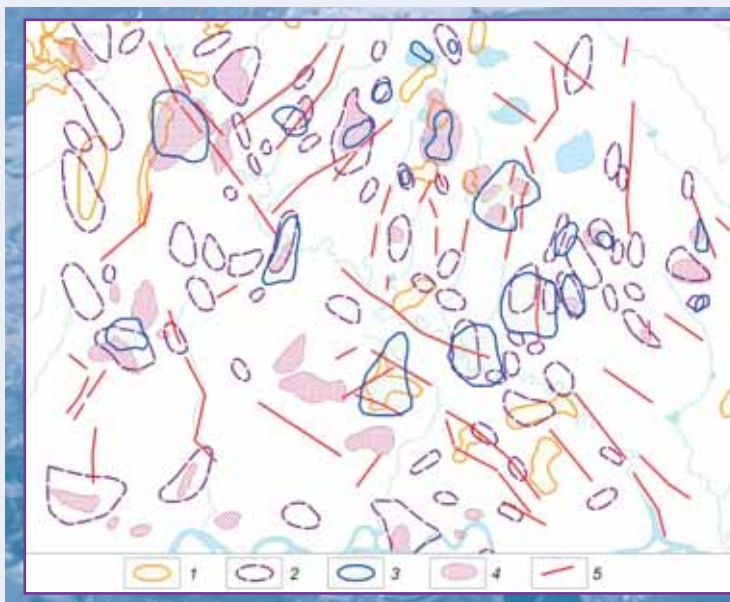


Рис. 1. Фрагмент карты-схемы сопоставления локальных структур, спрогнозированных по космическим снимкам и выявленных по результатам поисковых работ широтного Приобья Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции:

- 1 – локальные структуры, выделенные по сейсморазведочным данным по состоянию на 1987 г.;
- 2 – контуры локальных структур, прогнозируемых по космическим данным;
- 3 – контуры локальных структур выявленных к 2007 г.;
- 4 – прогнозируемые структуры, подтвержденные сейсморазведочными работами по состоянию на 2007 г.;
- 5 – разрывные нарушения, прогнозируемые по космическим данным

Наиболее активные поисково-разведочные работы в 1980-х гг. проводились в широтном Приобье. По результатам космоструктурного анализа двух планшетов карт масштаба 1:200 000 (Горном и Пойкинском) были спрогнозированы 72 локальные структуры, из них 48 подтвердили данные сейсморазведки (рис. 1). Таким образом, сходимость результатов космоструктурных и сейсморазведочных работ на тот период времени составляла 88%, однако часть структур осталась не проверенной. К 1992 г. плотность сети сейсмопрофилей возросла, в результате чего были подтверждены еще 14 структур. По состоянию на 2007 г. из 72 спрогнозированных структур на сейсморазведочных материалах суммарно нашли отражение 65. Эти данные свидетельствуют о том, что по мере роста плотности сети сейсмопрофилей суммарная подтверждаемость результатов космоструктурных работ растет и в данном случае достигла 90%.

Поисковые работы на Ямале в конце 1980-х гг. находились в начальной стадии и здесь были откры-

ты только крупные месторождения газа (Уренгойское, Ямбургское, Бованенковское и др.). По результатам космоструктурных исследований было спрогнозировано 40 локальных структур, из них 20 на тот период времени подтвердили данные сейсморазведки. Таким образом, сходимость результатов по выделению структур на основе независимо полученных данных двумя методами на период работ составила 50%, т. е. подтверждался каждый второй объект. Однако, недостаточно густая сеть сейсмопрофилей не обеспечила возможность проверки всех прогнозируемых объектов на рассматриваемой территории. По состоянию на 2007 г. подтвердилось еще 7 структур, так что общая подтверждаемость достигла 60%, а по северной части Ямало-Ненецкого автономного округа – 78% (рис. 2).

В пределах наиболее изученной Волго-Уральской нефтегазоносной провинции было проанализировано два района: восточная часть Бузулукской впадины и северная часть Жигулевско-Пугачевского свода, где плотность сети сейсмопрофилей была мини-

мальной. Сходимость результатов по итогам независимо проведенных сейсморазведочных и космоструктурных работ составила на конец 1980-х гг. соответственно 75 и 62% (рис. 3, 4). По состоянию на 2007 г. дополнительно подтвердились только несколько прогнозируемых структур, так как в пределах рассматриваемых площадей сейсморазведочные работы проводились в ограниченном объеме, что мало сказалось на показателе подтверждаемости.

Наименее изученной на конец 1980-х гг. была Восточно-Сибирская провинция. Здесь космоструктурные исследования проводились в пределах Вилюйской синеклизы, Камовского и Непского сводов. В это время сейсморазведкой было выявлено несколько десятков локальных струк-

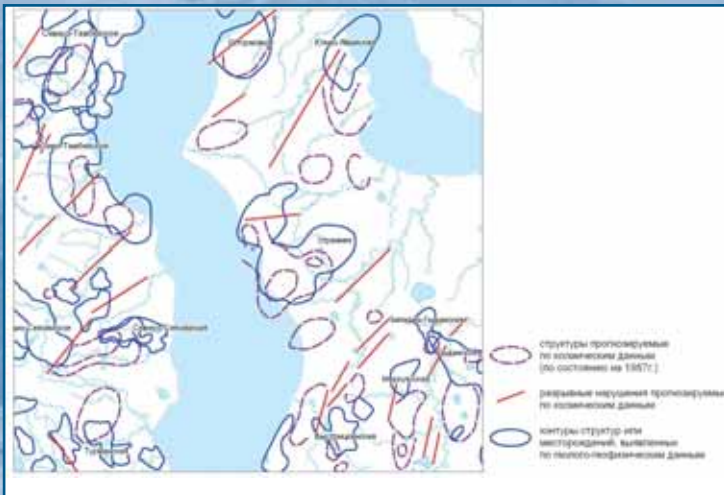


Рис. 2. Фрагмент карты-схемы сопоставления результатов структурного дешифрирования космических снимков со спутников серии «Космос» и контуры структур (месторождений), выявленных геолого-геофизическими работами в районе Гыданского полуострова



Рис. 3. Фрагмент карты-схемы сопоставления локальных структур, спрогнозированных по космическим и выявленным по результатам поисковых работ, Жигулевско-Пугачевского свода Волго-Уральской нефтегазоносной провинции.

тур, из которых было проанализировано 30 (рис. 5). Сходимость результатов сейсморазведочных и космоструктурных работ составила 50%, и еще ряд структур оказался непроверенным, так как сейсморазведка в 1990-х гг. проводилась в ограниченном объеме. По состоянию на 2007 г. в пределах рассматриваемых площадей было подтверждено еще две из спрогнозированных структур.

На территории Камовского свода за истекшие годы поисковая сейсморазведка концентрировалась вблизи открытых месторождений (Юрубчено-Тохомского и Куломбинского), показатели сходимости соответственно не высокие. При этом необходимо отметить сложное геологическое строение Камовского свода, где широко развиты траппы, бронирующие строение осадочного чехла и затрудняющие поисковые работы. Тем не менее, по этому региону отмечается сходимость шести локальных структур, выделенных сейсморазведкой по состоянию на 2007 г. и спрогнозированных в 1980-х гг. (рис. 6).

Проведенный статистический анализ сопоставления результатов космоструктурного дешифрирования и сейсморазведочных данных по итогам двадцатилетних поисковых работ по выделению локальных поднятий осадочного чехла позволяет сделать ряд выводов:

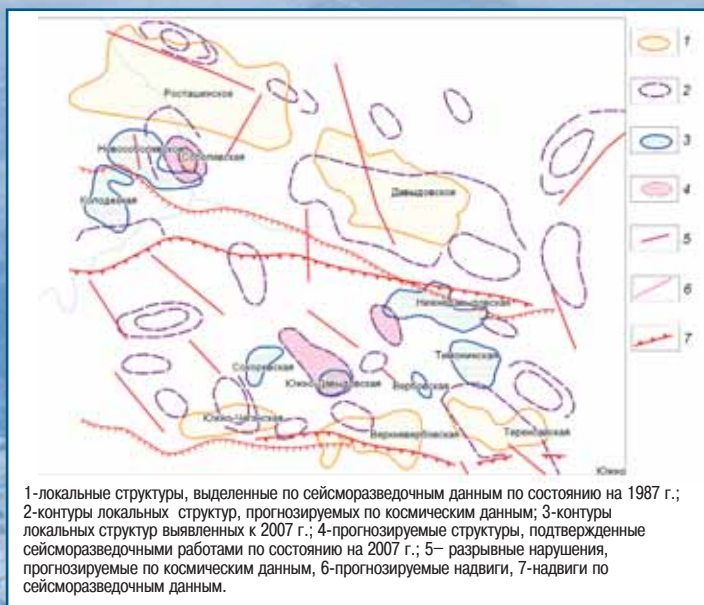


Рис. 4. Фрагмент карты-схемы сопоставления локальных структур, спрогнозированных по космическим и выявленным по результатам поисковых работ, Бузулукской впадины Волго-Уральской нефтегазоносной провинции.

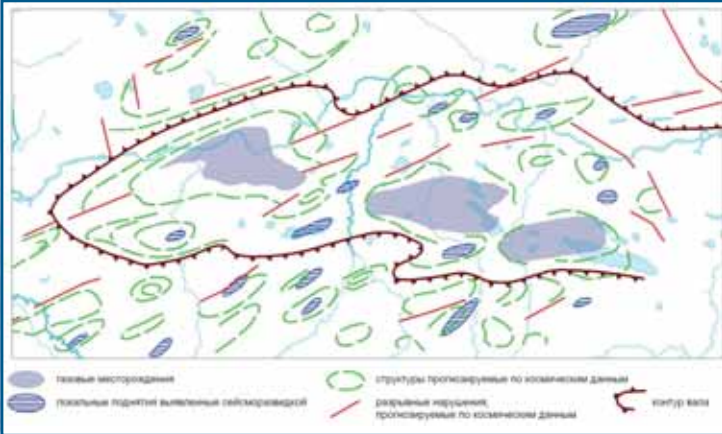


Рис. 5.
Фрагмент карты-схемы локальных структур и разрывных нарушений Ханчагайского вала Вилюйской синеклизы и сопредельных районов

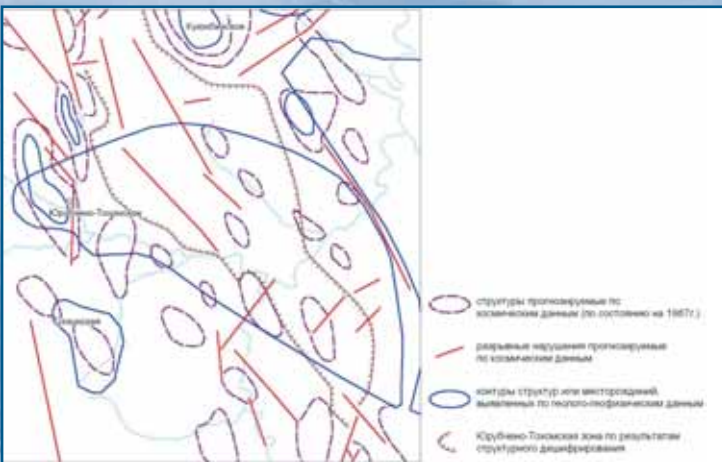


Рис. 6.
Фрагмент карты-схемы сопоставления результатов структурного дешифрирования космических снимков со спутников серии «Космос» и контуры структур (месторождений), выявленных геолого-геофизическими работами в районе Камовского свода

- с повышением уровня изученности и сгущением сети сейсмопрофилей, возрастает показатель подтверждаемости до 70% и более, что показано на примерах Волго-Уральской и Западно-Сибирской нефтегазоносных провинций;
- сопоставление результатов работ двух поисковых

методов в различных нефтегазоносных регионах подтверждает геологическую эффективность космоструктурных исследований, однако численные различия отражают с одной стороны плотность сети сейсмопрофилей, а с другой – сложность строения изучаемых районов;

- по ряду регионов, где объем поисковой сейсмозазведки за период 1990-2007 гг. был не высоким (Восточная Сибирь, Жигулевско-Пугачевский свод, прибортовая часть Прикаспийской впадины), показатель подтверждения является относительно низким и остаются не подтвержденными десятки прогнозируемых структур, являющиеся резервным фондом;
- соответственно с возрастанием вероятности подтверждения прогнозируемых по космическим данным локальных структур увеличивается и количество открываемых на них месторождений, что связано с особенностями и временем формирования скопления углеводородов в поднятиях активно воздымающихся на рельефообразующем этапе, которые фиксируются на космических снимках.

Относительно высокая по сравнению с сейсмозазведкой достоверность прогнозирования структурных ловушек нефти и газа определяет экономическую и

геологическую целесообразность более активного использования космических методов на поисковом этапе работ, особенно в отдаленных и труднодоступных районах Восточной Сибири.

С конца 1990-х гг. отмечается значительный прогресс в области обработки, преобразований и

тематического анализа космических снимков на базе компьютерных технологий и ГИС. Помимо введения необходимых коррекций и трансформаций, обеспечиваются улучшение качества и визуального восприятия изображений за счет следующих функций:

- синтезирование мультиспектральных снимков;
- изменение контрастности и резкости;
- уменьшение маскирующего воздействия почвенно-растительного покрова;
- исключение воздействия антропогенных элементов ландшафта (нарезки полей, транспортных систем и др.);
- построение трехмерных изображений;
- выявление в почвенно-растительном покрове спектральных аномалий, обусловленных микроросачиванием жидких и газообразных углеводородов.

Решение этих задач обусловлено тем, что визуальный подход к дешифрированию до настоящего времени еще является доминирующим.

Особая роль принадлежит тематическому анализу снимков или их структурному картографированию. Автоматизированное выявление линейных структур было разработано еще в конце 1980-х гг. и частично апробировано на примерах нефтегазоносных бассейнов Средней Азии [7]. Но переход к их интерпретации на основе геофизических данных так и не состоялся. Попытки автоматизированного прогнозирования структурных ловушек осуществлялись рядом специалистов. Б.Н. Можаяев для облегчения выявления структур осадочного чехла проводил работы в пределах аридных (безлесных) районов Средней Азии, где представляется возможным прямое истолкование индикаторов и признаков новых локальных поднятий [8]. И.О. Смирнова для повышения достоверности прогноза использовала результаты геофизических работ [9]. Программа структурного анализа видеоизображений «Станвид», основанная на апробированной методике структурного дешифрирования, применима для безлесных и таежных районов, являясь универсальной для регионов с различной дислоцированностью осадочного чехла [10]. Тестирование этой программы по районам с различными ландшафтно-геологическими характеристиками, в том числе и по достаточно сложным, показало возможность ее практического при-

менения, особенно в комплексе с геологической интерпретацией.

Высокую структурную информативность показали данные радиолокационной съемки, однако в XX веке она не получила широкого распространения, так как находилась в стадии совершенствования и проводилась только с авиационных носителей. Прекращение работ в области автоматизированного структурного анализа и дешифрирования объясняется почти полным сокращением финансирования этого направления нефтегазопроисковых работ и ликвидацией многих научно-производственных коллективов. По этим же причинам не получила развития тематика комплексной интерпретации космических и геофизических данных, направленная на повышение достоверности прогнозируемых ловушек нефти и газа, снижение затрат на их выявление и подготовку к поисковому бурению. Проведенный анализ результатов комплексных работ показал их высокую результативность [11, 12]. Однако в период «перестройки» данное направление работ практически «умерло» на несколько лет и начало возрождаться лишь в конце 1990-х гг. по инициативе специалистов-энтузиастов.

Не получили также развития полигонные работы, проводимые в период 1980-х начале 1990-х гг. и способствовавшие совершенствованию методики аэрокосмических исследований и тематической обработке дистанционной информации в интересах различных областей науки. В настоящее время это направление работ активно развивается в США, Франции, Германии и ряде других стран.

На рубеже XX и XXI веков в области аэрокосмической техники, предназначенной для съемок Земли, был сделан резкий рывок. Количество спутников и стран, их запускающих, существенно увеличилось, появились новые виды съемок и методы их обработки, возросла скорость и объем поступающей из космоса дистанционной информации, получаемой в режиме реального времени.

Появление и совершенствование новых видов аэрокосмической съемки: тепловой съемки в дальнем инфракрасном диапазоне спектра и пассивной радиолокационной съемки в СВЧ-диапазоне, привело к решению задач автоматизированного геотемпературного и влажностного картографирования земной поверхности.

Создание геотемпературных карт, используемых в нефтегазовой геологии, гидрогеологии и криологических исследованиях, представляет собой крайне сложную задачу в связи с необходимостью сбора большого количества наземных данных (температуры, теплопроводности, влажности, пористости и проницаемости развитых на поверхности почв и пород, залегающих на разных глубинах, оценке воздействия растительности, геохимических процессов и др.) для тестирования и проверки дистанционных измерений. Эти показатели существенно влияют на точность создаваемых карт, и их получение связано с наземно-дистанционными исследованиями большой трудоемкости. Повышенная точность измерений обусловлена тем фактом, что геотемпературные аномалии, свойственные нефтегазоносным и пустым ловушкам, в ряде районов различаются менее чем на 1°C, а воздействие разных видов растительного покрова дает отличие на 2-3°C.

Профили или карты увлажненности почв или осадочных пород, создаваемые на основе съемок в СВЧ-диапазоне, характеризуются ошибками, составляющими 2-3%. Фактор влажности почвенного покрова является первоочередным при геотемпературных построениях и поэтому целесообразно их комплексное применение и интерпретация. При прогнозировании ловушек углеводородов и структурном анализе наиболее перспективной является радиолокационная съемка, выполняемая в настоящее время в различных спектральных диапазонах и с различной поляризацией, что обеспечивает получение реального рельефа земной поверхности (без растительного покрова) и позволяет провести оценку величины смещения земной поверхности с точностью до нескольких сантиметров.

Получивший некоторое распространение автоматизированный спектрометрический анализ [13], включающий мультиспектральные съемки и спектральные библиотеки, в значительной степени отражает ландшафт в широком смысле этого термина и преимущественно растительный покров. Наличие корреляционных связей между ними и различными структурными формами осадочного чехла, в том числе и их нефтегазоносностью, еще не доказано по данным современных мульти- и гиперспектральных съемок. В настоящее время они проходят стадию апробирования.

В последние годы получили развитие новые направления аэрокосмических исследований, которые могут быть использованы в нефтегазовой геологии:

- геофизическое, обеспечивающее изучение магнитного и гравитационного полей Земли, получение новой и более точной информации, в том числе за счет более надежного измерения параметров геоида с помощью спутников MAGSAT, EOSAT и др.;
- регионально-тектоническое (геодинамическое), изучающее движение литосферных плит, блоков и региональных разломов с помощью спутника LAGEOS и данным, получаемым на пунктах постоянно-действующих сетей глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС);
- современной тектоники, исследующей подвижки земной поверхности, разломов и структур с точностью до нескольких сантиметров с помощью радиолокационной интерферометрии снимков со спутников RADARSAT-1,2, ERS-1,2, ALOS, и др., также в комплексе с сетями ГНСС;
- структурной геологии, обеспечивающей детальное изучение и структурное картографирование нефтегазоносных провинций с использованием радиолокационных снимков;
- геохимическое, базирующееся на мультиспектральных и гиперспектральных съемках со спутников Terra (с аппаратурой Aster), EO-1 (Hyperion) и др.

Эти методы мало используются для решения нефтегазовых задач, что объясняется слабым знакомством с ними возможных пользователей, значительной стоимостью этой информации, сложностью ее интерпретации и вероятностным характером геологического истолкования результативных материалов, требующих применения математико-статистических методов анализа данных.

Упомянутые выше новые методы в комплексе с традиционными геофизическими данными позволяют решать следующие практические задачи:

- выявлять структурные и тектонически-экранированные ловушки нефти и газа, разрывные нарушения (включая их типизацию) и палеотектонические дислокации, влиявшие на формирование неструктурных ловушек;
- проводить анализ структурных ловушек нефти и газа, оценивать величину и направленность их деформаций за рельефообразующий этап, в зна-

чительной степени определявших гидродинамическую эволюцию и состояние залежи к настоящему времени;

- распознавать ловушки, содержащие скопления углеводородов, и пустые, что в экспериментальном порядке отработано на ряде регионов на основе использования мультиспектральных данных и данных съемки в ИК-диапазоне с использованием специализированных программ;
- на этапе разведки и разработки месторождений нефти и газа выделять разрывные нарушения типа «каналов» и «экранов», незнание которых приводит к преждевременному заводнению залежей или к малой эффективности системы разработки.

Уникальной особенностью дистанционных методов при решении вышеупомянутых задач, в отличие от геофизических, является возможность через детальный анализ образования рельефа определять этапность развития, величину, динамику и направленность формирования структурных форм осадочного чехла на рельефообразующем этапе. Его продолжительность для разных нефтегазоносных бассейнов измеряется от сотен до нескольких миллионов лет. Сейсмические методы в основном фиксируют морфологию и глубину залегания ловушек нефти и газа, сформированных под воздействием палеотектонических движений, и их современный облик.

Период времени после образования ловушек для платформенных регионов часто близок или совпадает с рельефообразующим этапом. Именно за этот интервал времени происходит формирование скоплений углеводородов, их переформирование и разрушение, а традиционные методы исследований не обеспечивают получение информации по данному вопросу.

Кроме того, космические методы дают возможность выявить широкий спектр разрывных нарушений, включая малоамплитудные дислокации, зоны трещиноватости и их современную подвижность, позволяют оценить степень раскрытости флюидоупоров и, следовательно – резервуаров. При относительно низкой вертикальной проницаемости разрывов в комплексе с геохимическими методами представляется возможным определить наличие в ловушках углеводородов их состав.

Эти задачи решаются с помощью экспертного

анализа с частичной автоматизированной обработкой космической информации и ее интерпретацией. Вместе с ними в настоящее время активно ведутся исследования на полигонах для автоматизированного распознавания различных природных объектов, особенно с помощью мульти- и гиперспектральных данных, создания спектральных библиотек, экспериментальных съемок и специализированных программных средств. Является очевидным, что снимки земной поверхности, сделанные с авиационных и космических носителей различной аппаратурой, в разных диапазонах спектра несут информацию искаженную атмосферно-метеорологическими условиями в отличие наземных съемок. При решении структурных задач в учете этих искажений нет необходимости. В то время как при оценке перспектив нефтегазоносности, нуждающейся в цифровой обработке дистанционных данных, ослабление получаемого сигнала за счет атмосферного влияния может отрицательно влиять на получение детальной полезной информации. Существующие программы коррекции не решают эту проблему полностью.

Как уже отмечалось, проблема оценки перспектив нефтегазоносности прогнозируемых, выявленных и подготовленных к бурению ловушек, с точки зрения возможностей космических методов, решается с помощью задач прогнозирования структур и наличия в них скоплений углеводородов. Возможности автоматизированного решения этих задач могут быть реализованы различными путями.

Сложности при прогнозировании структурных форм осадочного чехла обусловлены маскирующим влиянием растительности, почв, антропогенными и экзогенными факторами. Они в значительной степени исключаются при использовании радиолокационных данных, снимающих воздействие почвенно-растительного покрова и обеспечивающих получение двумерных или трехмерных моделей рельефа с точностью, существенно превышающей точность существующих мелкомасштабных топографических карт. Автоматизированное выявление структурных ловушек нефти и газа и разрывных нарушений реализуется с помощью программы «Станвид».

Задача оценки перспектив нефтегазоносности существенно сложнее, так как она решается косвенным способом:

- через спектральный анализ с помощью геоботанических и геохимических исследований, требующих наземных работ для проверки результатов дешифрирования;
- геотемпературными исследованиями, также с трудоемкими и длительными наземными работами.

С целью реализации данной проблемы требуется проведение специальных полигонных исследований на нефтяных и газовых месторождениях, расположенных в различных геолого-ландшафтных условиях, определяющих необходимость соответствующей настройки и адаптации программных средств. При этом, в нефтегазовой геологии, геохимии и гидрогеологии не выяснены многочисленные вопросы миграции углеводородов к земной поверхности, их объемов и скорости, связей с тепловыми потоками, их воздействием на почвенные и растительные покровы и изменением спектральных характеристик. Подобные полигонные работы можно было бы развернуть на лицензионных участках государственных компаний, которые должны быть заинтересованы в оценке нефтегазоносности вводимых в бурение ловушек.

В настоящее время выполнен значительный объем работ по реализации этой задачи на отдельных участках с помощью анализа космических данных в различных диапазонах электромагнитного спектра, произведено тестирование программных комплексов и получены положительные результаты. Однако, эти работы необходимо дополнить наземными исследованиями, которые обеспечат доказательную базу новых методов, нацеленных на прямое прогнозирование углеводородов.

Приведенные результаты практического использования космических методов в нефтегазопроисследовательских работах и оценка перспективности их развития в ближайшем будущем, с учетом оперативности, детальности, возможности многоцелевого применения и относительно небольшой стоимости, определяют целесообразность более широкого участия новых видов дистанционного зондирования в комплексе геологоразведочных исследований.

Список литературы

1. Петрусевич М.Н. Аэрометоды при геологических исследованиях – М., 1961.
2. Можаяев Б.Н., Жученко А.Г. Современное состояние и перспективы развития геоиндикационного метода дешифрирования аэро- и космических снимков // Тез. докладов на совещании «Геоиндикационный метод дешифрирования аэро- и космических снимков». – Свердловск, 1983.
3. Викторов С.В. Ландшафтные индикаторы гидрогеологических и инженерно-геологических условий в районах орошения и обводнения пустынь. – М.: Недра, 1976.
4. Гридин В.И. Геодинамическое дешифрирование и системный анализ космических снимков. – М.: МИИХИП, 1996.
5. Методические рекомендации по применению аэрокосмических методов при нефтегазопроисследовательских работах. – М.: ВНИГНИ, 1987.
6. Трофимов Д.М., Полканова Л.П. Аэрокосмические методы на региональном этапе геологоразведочных работ на нефть и газ. – М.: Недра, 1988.
7. Можаяев Б.Н., Можаяева В.Г., Кудрявцева Е.Н. Формализация описания природных индикаторов разрывных нарушений // В кн. «Автоматизированная обработка аэрокосмических съемок при геологических исследованиях». – Л.: ВСЕГЕИ, 1983.
8. Можаяев Б.Н., Можаяева В.Г., Кирсанов А.А. Применение материалов аэро- и космических съемок при изучении новейшей тектоники Юго-Западной Туркмении. – М.: Недра, 1988.
9. Кирсанов А.А., Смирнова И.О., Блинова М.М. Опыт прогнозирования структурных поверхностей осадочного чехла методами геоиндикационного моделирования с использованием материалов аэро- и космических съемок // Общая и региональная геология, геологическое картирование. Вып. 5. – ВИЭМС, 1987.
10. Райкунов Г.Г., Серебряков В.Б., Трофимов Д.М. Автоматизированная программа прогнозирования антиклинальных ловушек нефтегазоносных регионов (Стандид-2) // Тез. Конференции «60 лет развития методов дистанционного зондирования природных ресурсов: итоги и перспективы». – СПб: НИИКАМ, 2004.
11. Прогнозирование структур осадочного чехла на основе комплексной интерпретации и обработки на ЭВМ аэрокосмических и гелого-геофизических данных. – М.: ВНИГНИ, 1990.
12. Трофимов Д.М., Богословский В.И., Ильина Е. и др. Космические методы изучения закрытых платформенных регионов. – М.: МГУ, 1992.
13. Серебряков В.Б. Применение космических данных в комплексе поисковых работ на нефть и газ // Информационный бюллетень ГИС-Ассоциации. – 2008. – № 1(63).

Д.М. Трофимов (Компания «Совзонд»)

В 1958 г. окончил Московский геологоразведочный институт. В настоящее время специалист компании «Совзонд». Доктор геолого-минералогических наук.

Дистанционное зондирование: новые технологии – новые возможности поиска нефти и газа

Начавшееся общее падение добычи нефти и газа связано с тем что, старые нефтегазоносные регионы (Волго-Уральский, Тимано-Печорский и Западно-Сибирский) вступают в период падающей добычи. Поисковые работы на шельфе в условиях сокращения инвестиционных проектов на 2009-2010 гг. мало реальны, а возможности освоения высоко перспективной Восточно-Сибирской провинции резко замедляется. Развитие этой негативной тенденции будет усугубляться постоянно возрастающей стоимостью сейсморазведки и бурения. В этих условиях остается практически неиспользованным резерв продолжения поисковых работ – применение космических методов, не требующих больших финансовых затрат.

Методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) могут обеспечить на поисковом этапе оперативное изучение больших площадей труднодоступной Восточно-Сибирской нефтегазоносной провинции и дают возможность:

- провести тектоническое районирование слабоизученных территорий Восточной Сибири и Дальнего Востока и на этой основе обеспечить нефтегазогеологическое районирование с выделением зон нефтегазонакопления;
- составить карты ловушек нефти и газа и фонда наиболее перспективных районов, на которых в первую очередь необходимо проводить сейсморазведочные работы.

Спецификой геологии и нефтегазовой геологии, в частности, является низкая плотность информации, получаемой дискретно в виде отдельных скважин и геофизических профилей (рис. 1). Т. е., имеет место дефицит информации при сложном строении ловушек нефти и газа. Эта проблема не решается за счет «субъективной» межпрофильной и межскважинной корреляции. Даже гущая сеть профилей при проведении сейсморазведки 3D, трассирование разрывных нарушений, особенно, если они имеют малую амплитуду или выражены в виде зон трещиноватости, не всегда возможно. Сейсморазведочными работами относительно надежно (с вероятностью в среднем 0,5-0,8) решается вопрос выявления структурных и тектонически-экранированных ловушек нефти и газа, а вопрос прогнозирования в них залежей не решается – ни теоретически, ни практически. Таким образом, за более чем 100 лет нефтегазовой геологии прямые признаки нефти и газа в ловушках, подготовленных к глубокому бурению, хотя бы с вероятностью 0,6-0,7, не могли быть установлены. В основу решения поискового бурения скважин берутся, как правило, экспертные оценки сейсморазведчиков и геологов, являющиеся, в некоторой степени, субъективными. При этом необходимо отметить, что по мировой статистике месторождения углеводородов с каждым годом открываются в среднем двумя-тремя и большим количеством скважин.

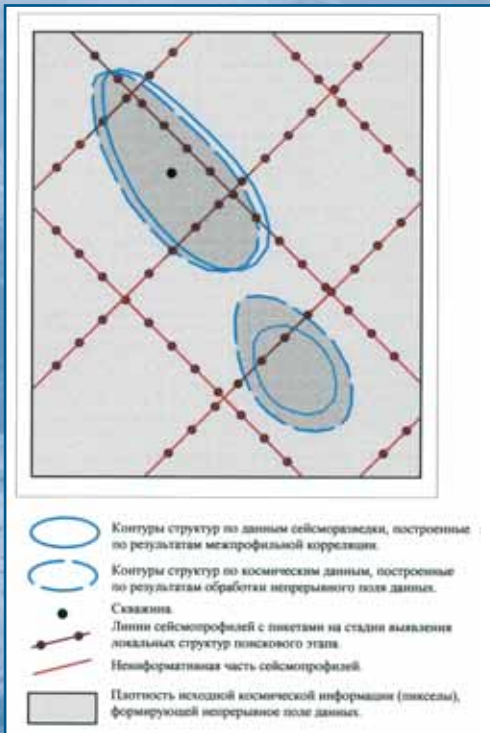


Рис. 1.
 Схема сопоставления плотности исходной информации при проведении сейсморазведочных и космических исследований

Издержками низкой плотности геолого-геофизической информации, получаемой при сейсморазведке и бурении, являются:

- относительно низкий коэффициент извлечения нефти, не превышающий 0,4, а практически являющийся более низким;
- преждевременное заводнение залежей, приводящее как к снижению коэффициента извлечения и нерентабельной добыче нефти, извлекаемой вместе с водой;
- бурение лишних эксплуатационных скважин, что, в конечном счете, ведет к повышению себестоимости нефти и газа.

Появление новых технологий ДЗЗ с космическими и авиационными носителями открывает возможности внедрения и отработки комплекса поисковых аэрокосмических методов, имеющих огромное преимущество перед традиционными видами работ – высокая плотность исходной информации (в среднем до 20-30 точек на 1 км²). В настоящее время основными препятствиями на этом пути являются:

- психологические аспекты неприятия аэрокосмических методов у ряда руководителей предприятий нефтегазовой отрасли и отсутствие обоснованной информации об их современных возможностях;
- отсутствие серийных образцов отечественной дистанционной аппаратуры, прошедших испытания на нефтяных и газовых месторождениях.

Рассмотрим и сравним используемые в настоящее время виды традиционных и альтернативных им поисковых работ.

Таблица 1

Схема поисковых работ нефти и газа геолого-геофизическими методами и их стоимость¹

Наименование поисковых работ	Наименование геолого-геофизических методов	Средняя стоимость работ, тыс. руб. на 1 км ²
Выявление ловушек	Сейсморазведка (модификация 2D)	200 ² (при плотности сети 2 погонных км/км ²)
Подготовка ловушек к глубокому бурению	Сейсморазведка (модификация 3D)	1000 ²
Оценка нефтегазоносности и запасов	Бурение (1 скважина глубиной 4500 м)	200 000

Примечания.

¹ Стоимость работ может колебаться в зависимости от площади изучаемого участка, стоимости используемых снимков и повторной обработки сейсморазведочных данных.

² Стоимость работ в северной части Тимано-Печорской провинции на конец 2008 г.

Таблица 2

**Схема поисковых работ нефти и газа космическими методами
(осуществляется пред постановкой сейсморазведки) и их стоимость**

Наименование поисковых работ	Наименование методов	Средняя стоимость работ, тыс. руб. на 1 км ²
Прогнозирование ловушек	Дешифрирование и интерпретация данных ДЗЗ, полученных в различных диапазонах электромагнитного спектра	6-8
Подготовка ловушек к глубокому бурению	Детальное дешифрирование, комплексная интерпретация данных ДЗЗ и геолого-геофизических информации	35
Оценка локализованных ресурсов и нефтегазоносности	Обработка и интерпретация спектральных и тепловых характеристик в ареале ловушек Математико-статистический анализ комплекса информации с целью выделения и обоснования перспективных ловушек	5

В настоящее время при традиционном подходе к поискам нефти и газа используются только два вида работ: сейсморазведка и бурение. Сейсморазведка решает задачи выявления и подготовки ловушек к глубокому бурению для оценки нефтегазоносности (табл. 1).

После ряда, хотя и ограниченных, опытно-методических работ при поисках нефти и газа может и частично используется дистанционное зондирование в видимом и инфракрасном диапазонах, включая лазерную съемку (табл. 2).

Съемка в ультрафиолетовом диапазоне регистрирует только ареал распространения нефтепроявлений и их продуктов на земной поверхности. Опыт применения этого вида съемки показывает, что она наиболее эффективна при зондировании с небольших высот, т. е. с самолетных носителей. Особенно актуально использование съемки в ультрафиолетовом диапазоне на шельфе, где стоимость геологоразведочных работ огромна. Эту же задачу на акватории может решать и радиолокационная съемка.

Съемки в видимом диапазоне спектра применяются для решения задач прогнозирования структурных ловушек и оценки их нефтегазоносности. При прогнозировании структурных ловушек нефти и газа дистанционное зондирование является в некоторой степени конкурентом сейсморазведки в отношении установления их границ на земной поверхности, но не глубин залегания. Эти методы существенно различаются по плотности исходной информации, но основным преимуществом сейсморазведки является воз-

можность определения глубинных границ изучаемых объектов. При решении данной задачи наиболее целесообразно комплексирование дистанционного зондирования и сейсморазведки, что позволяет существенно сократить затраты на сейсморазведку, особенно при использовании модификации 3D, не снижая качество работ, а существенно увеличивая их достоверность. Анализ вероятности подтверждения прогноза по данным съемки в видимом диапазоне спектра, оцененной по большинству нефтегазоносных бассейнов России и стран СНГ на примере нескольких сот изученных объектов, показал следующее. Значение вероятности колеблется от 0,5 для слабо изученных регионов до 0,9 для хорошо изученных территорий, например, Западной Сибири, т. е. сопоставимо с результативностью сейсморазведки.

Прогнозирование ловушек нефти и газа осуществляется как визуально, так и в автоматическом режиме (рис. 2). Результативность их близка, но при визуальном дешифрировании снимков отмечается субъективизм исполнителя, а при автоматизированном дешифрировании возрастает количество выделяемых объектов за счет существенно большего восприятия градаций спектральных характеристик.

Более эффективной по сравнению с многоспектральной является радиолокационная съемка, осуществляемая со спутников TerraSAR-X, RADARSAT-1, 2, Envisat, ERS-1, 2, ALOS (PALSAR) [1]. На радиолокационных снимках за счет снятия или снижения маскирующего воздействия растительного покрова, являющегося помехой, структурный рисунок изучае-

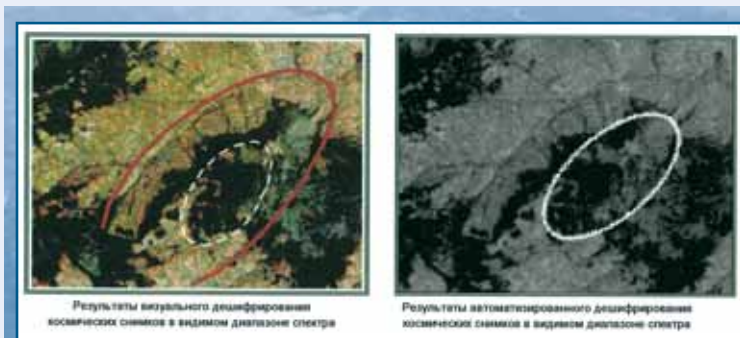


Рис. 2.
Пример визуального и автоматизированного дешифрирования локальной структуры

рых объектов выделяется более четко (рис. 3).

Второе преимущество этого вида съемки заключается в возможности получения величин современных подвижек земной поверхности над ловушками и осложняющими их разломами с точностью до нескольких сантиметров [2], по которым можно оценить степень подвижности:

- разрывных нарушений, которые могут являться открытыми каналами и привести к разрушению залежей, особенно газа, или падению пластового давления;
- структурной ловушки, так как при ее интенсивном

подъеме снижается геостатическое давление и происходит изменение уровня эмигрировавшего газа или ее переформирование.

Информация в видимом диапазоне спектра также может быть использована при оценке нефтегазоносности ловушек, подготовленных к глубокому бурению. На основании многочисленных экспериментов установлено, что при наличии небольшого количества углеводорода, мигрирующего из месторождений к поверхности Земли и скапливающегося в почве, в них происходит ряд химических преобразований, негативным образом влияющих на корневую систе-

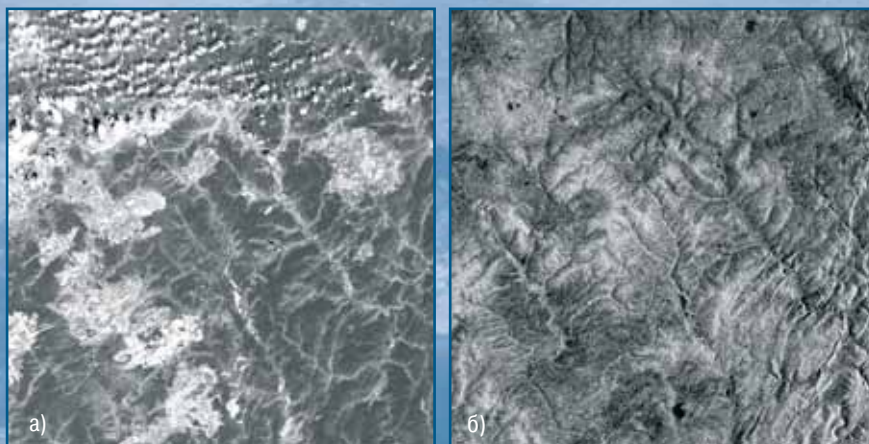


Рис. 3
Структурная информативность космических снимков, полученных в различных диапазонах электромагнитного спектра на район Чаюдинского месторождения:

- а) космический снимок в видимом диапазоне спектра (Landsat-7);
б) космический снимок в радиодиапазоне (ERS)

му растений и приводящих к изменению количества каротиноидов, определяющих изменение окраски листьев. Этот довольно тонкий эффект регистрируется в относительно узком спектральном диапазоне (порядка 10-20 нм) и называется голубой сдвиг (рис. 4). Наиболее эффективно он фиксируется на гиперспектральных изображениях, получаемых со спутника EO-1 (Hyperion) и др. Таким образом, в ареале месторождения регистрируется изменение фоновых характеристик растительного покрова, имеющее повсеместное развитие во всех нефтегазоносных бассейнах России. Этот вид исследований прошел стадию опытно-методических работ, но практического применения не нашел.

Для оценки содержания метана и легких углеводородов можно использовать оптические трассовые газоанализаторы, погрешность измерений у которых колеблется от 3 до 10% от средней концентрации по длине изучаемого профиля.

Следующий вид дистанционного зондирования, также решающий задачу прогноза нефтегазоносности — это лидарная съемка. На нефтегазовых месторождениях прошел проверку наземный вариант лидарного зондирования, показавший превосходный результат (рис. 5). При относительно низких фоновых значениях метана его величина в контуре месторождения повышается в несколько раз. Минимальное содержание регистрируемого метана может составлять одну миллионную долю от объема воздуха.

Наибольший интерес представляет использование инфракрасной (ИК) съемки при решении задачи прогноза нефтегазоносности для обоснования бурения поисковых скважин. Это связано с тем, что представляется возможным:

- проверить качество ловушки нефти и газа;
- определить наличие разрывных нарушений через трассирование зон разгрузки глубинных вод, их влияние на сохранность залежи и установить непосредственный канал связи между скоплениями углеводородов и земной поверхностью для проведения геохимических исследований;
- проанализировать значимость геотермического критерия нефтегазоносности.

Разработка методики применения ИК-съемки осуществлялась в пределах Западно-Сибирской и Тимано-Печорской нефтегазоносных провинций в ус-

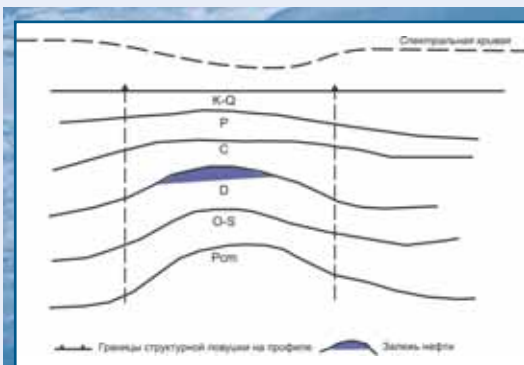


Рис. 4
Схематический геологический разрез через структурную ловушку, отраженную на спектральной кривой в красной зоне снижением отражательной характеристики на уровне фона

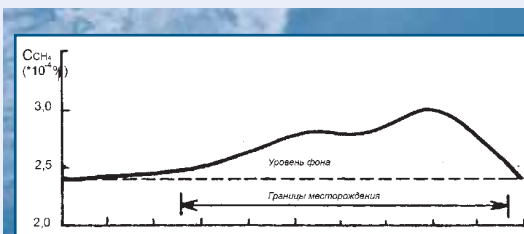


Рис. 5
Изменение концентрации метана по профилю, пересекающему Анастасиевско-Троицкое газовое месторождение

ловиях тайги и широкого развития болот [3]. Традиционно ИК-съемку проводили в степных или полупустынных ландшафтах, что позволяло исключить воздействие растительного покрова. Т. е., полученный результат представляет собой первый положительный опыт практического применения нового, слабо изученного вида дистанционного зондирования при нефтегазопоисковых работах в сложных ландшафтных условиях. Этот результат основан на использовании специализированного программного обеспечения.

Сложность интерпретации результатов инфракрасной съемки заключается в том, что земная поверхность в пределах изучаемых объектов имеет тем-

пературу, близкую к окружающей среде и приземному воздуху. Это затрудняет локализацию геотермической аномалии в пространстве с учетом многочисленных экранирующих и искажающих факторов ландшафтной оболочки и геологической среды, а также идентификацию теплового потока, связанного с наличием ловушки и залежи углеводородов.

Фактически имеет место сложное, разнонаправленное взаимодействие всех компонентов ландшафта, связанных с отражательными, поглощающими и излучающими процессами в атмосфере и на поверхности Земли, точный учет которых не представляется возможным без специальных полевых измерений. С целью решения данной геологической задачи был проведен анализ температур приземного воздушного пространства, земной поверхности, включая почвенно-растительный покров и подпочвенный геологический субстрат. Анализ температурных характеристик на нескольких уровнях позволил выйти на оптимальный вариант оценки фона, на уровне которого оцениваются приращения температур геологических объектов (локальных структур и разрывных нарушений).

С целью проверки разработанной методики проводилось сопоставление температурных характеристик, полученных с различных носителей ИК-аппаратуры и разных высот съемки. Несмотря на воздействие ряда факторов (литологии и влажности), оказывающих большое воздействие на температуру геологического субстрата, по большинству профилей, пересекающих изучаемые объекты, были получены относительно высокие коэффициенты корре-

ляции для дистанционно измеренных из космоса и наземных замеров температур. На основании этого расчеты приращений температурных значений относительно фона для всех типов структур и разрывных нарушений проводились на локальном и региональном уровнях. Последний оказался менее эффективным. Исследования выполнялись как по отдельным профилям (рис. 6), так и по всей площади объекта (рис. 7). Полученные результаты показывают, что разработанная методика объективно отражает индивидуальность геотемпературных полей излучаемых погребенным геологическим объектом и позволяет использовать методы распознавания для классификации локальных структур.

Учет особенностей распределения теплового потока обеспечивает установление пространственной связи с локальными поднятиями. Для эталонных структур, содержащих и не содержащих промышленные скопления нефти и газа, где температурное поле рассчитано за вычетом ландшафтного фона, отмечается совпадение ИК-аномалий, характеризующихся повышенными и пониженными значениями температур, с контурами поднятий, выделенных в видимом диапазоне спектра.

Изучение температурных характеристик исследуемых объектов позволяет сделать следующие выводы:

- локальные структуры и разрывные нарушения выделяются по индивидуальным температурным значениям на уровне локального и регионального фона;
- величины температурных полей изменяются за счет сезонных, суточных и спектрально-временных вариаций температурных показателей компо-

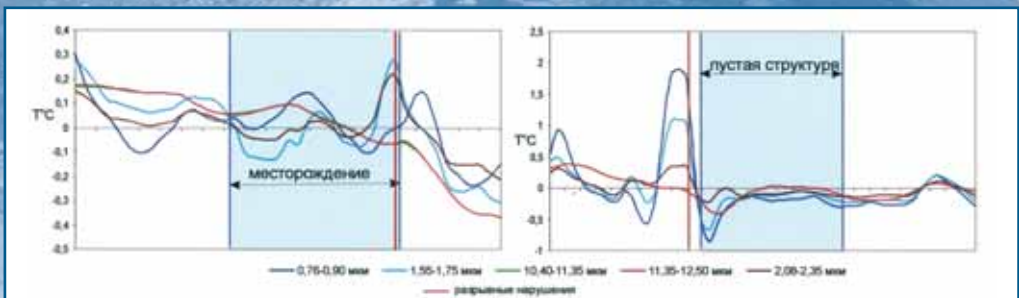


Рис. 6
Температурные профили через месторождение и пустую структуру

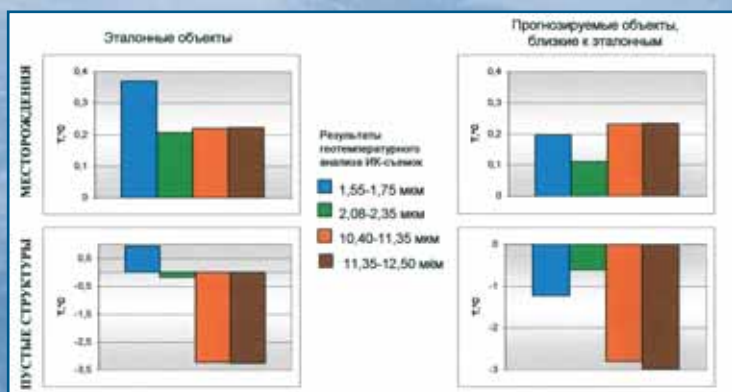


Рис. 7. Прогнозирование нефтегазоносности структур, подготовленных к поисковому бурению, по данным ИК-съемок

- температурные поля в комплексе со спектральными характеристиками в некоторой степени, отражают (прямо или косвенно) ряд критериев (структурных, гидродинамических и геохимических), используемых при прогнозе нефтегазоносности.

В процессе классификации поисковых объектов анализируется три типа структурных ловушек, характеризующиеся наличием нефтегазовых залежей, содержащих непромышленные скопления углеводородов и пустые поднятия.

Необходимо подчеркнуть, что обычно работы проводятся в условиях структурно-тектонической зоны, которой свойственны близость литолого-фациальных характеристик осадочного чехла и условий формирования. Однако, в пределах структурных зон геотемпературные показатели различаются, сохраняя возможность распознавания разных классов объектов. Т. е., в пределах однотипных структурных зон отмечаются относительная дифференцированность и различия типов структур содержащих и не содержащих скопления углеводородов в распределении температурных показателей, полученных в ближнем, среднем и дальнем диапазонах инфракрасной области спектра (рис. 7). Эти данные позволяют подойти к формированию геотемпературных признаков оценки нефтегазоносности прогнозируемых, выявленных или подготовленных к бурению локальных поднятий.

Подводя итог, необходимо подчеркнуть, что методы дистанционного зондирования могут эффективно использоваться на различных стадиях поисковых работ нефти и газа, как в комплексе, так и самостоятельно.

На стадии выявления ловушек нефти и газа использование аэрокосмических методов позволяет на одном объекте сократить протяженность сейсмопрофилей (модификации 2D) до 50 км, что может составить порядка 400 тыс. руб. (в условиях Восточ-

нентов ландшафта при сохранении тенденций, свойственных каждому локальному объекту;

- в большинстве случаев границы структур, установленных по космическим снимкам в видимом диапазоне спектра, характеризуются изменением значений температур относительно свода (рис. 6), что указывает на достоверность спроектированных границ.

Приведенные результаты геологической интерпретации данных ИК-съемок и оценки возможности их использования при прогнозе нефтегазоносности локальных структур, выявленных и подготовленных к глубокому поисковому бурению, позволяют сделать ряд выводов:

- температурные кривые, построенные по сейсмопрофилям, пересекающим локальные объекты, в общих чертах отражают форму поднятий и осложняющих их разрывных нарушений, что свидетельствует о достоверности проведенных исследований, включая результаты структурного дешифрирования космических снимков;
- интенсивность проявления теплового потока в пределах локальных поднятий ниже, чем в зонах термально активных разрывных нарушений, за счет разгрузки по ним глубинных флюидно-газовых струй, трассирующих каналы связи нефтегазоносных пластов с земной поверхностью (рис. 6);

ной Сибири). При совместном использовании аэрокосмических методов и сейсморазведки модификации 2D, сейсморазведку в модификации 3D, затраты на которую на один объект составляют несколько миллионов рублей, можно не проводить.

На стадии оценки нефтегазоносности эта задача решается бурением скважины, которая при глубине 4 км стоит в среднем около 100 млн руб. Причем, для решения этой задачи может потребоваться две-три скважины.

При этом, суммарные затраты отмеченных выше дистанционных методов могут составить порядка нескольких миллионов рублей.

Результаты опытно-методических работ и практического применения новых методов дистанционного зондирования свидетельствуют о том, что комплексирование традиционных и новых аэрокосмических методов позволяет:

- сократить сроки работ;
- уменьшить затраты;
- повысить достоверность прогнозирования;

- создать базы данных по изучаемым объектам с целью более рационального и эффективного проведения дальнейших разведочных и эксплуатационных работ.

Список литературы

1. Никольский Д.Б. Сравнительный обзор современных радиолокационных систем // Геоматика. – 2008. – № 1. – С. 11-18.
2. Колесникова О.Н. Новые возможности программного обеспечения SARscape для обработки радиолокационных данных // Геоматика. – 2008. – № 1. – С. 18-21.
3. Райкунов Г.Г., Серебряков В.Б., Трофимов Д.М. Автоматизированная программа прогнозирования антиклинальных ловушек нефтегазоносных регионов (Станвид-2) // Тез. конференции «60 лет развития методов дистанционного зондирования природных ресурсов: итоги и перспективы» – СПб: НИИКАМ, 2004.



Ханты-Мансийский АО
– Югра.
Синтезированное
цветное изображение
в естественных
цветах.



Наши решения :
-Ситуационные центры
-Диспетчерские
-Конференц залы
-Системы 3D визуализации...
под ключ.

ООО "САЛАЙЕТА"
115094, Москва,
Госпитальный Вал ул.,
д.5 корп.12
Тел.: +7 (495) 632 39 20,
факс: +7 (495) 632 39 22

E-mail: info@stsgroup.ru
<http://www.stsgroup.ru>

SALAYETA LLC
Gospitalny Val str., 5,
bld 12,
115094, Moscow
Phone: +7 (495) 632 39 20,
fax: +7 (495) 632 39 22

E-mail: info@stsgroup.ru
<http://www.stsgroup.ru>

VISUALISING YOUR CONCEPT

М.А. Болсуновский

В 1990 г. окончил Киевское высшее инженерное радиотехническое училище. С 2004 г. работает в компании «Совзонд», в настоящее время – заместитель генерального директора.

Создание Центра космического мониторинга для решения задач нефтегазовой отрасли

Освоение новых нефтяных и газовых месторождений идет, в основном, в районах Сибири и Дальнего Востока, при этом существенные проблемы возникают при геологоразведке и дальнейшей эксплуатации месторождений из-за суровых климатических условий. Интенсификация работ требует также повышенного внимания к вопросам экологической безопасности для того, чтобы сохранить уникальные природные комплексы и биологические ресурсы региона.

В сложных природно-экологических условиях важным средством для решения практических задач становится дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) высокого пространственного разрешения с современных космических аппаратов (КА). Следует отметить, что ДЗЗ относится к одной из наиболее успешно и динамично развивающихся отраслей современного информационного общества [1–5].

В настоящее время можно выделить несколько основных тенденций в развитии ДЗЗ:

- резкое увеличение количества КА ДЗЗ на орбите;
- развитие национальных программ ДЗЗ, появление новых «игроков»;
- развитие систем получения, обработки и представления данных потребителям;
- улучшение основных характеристик аппаратуры ДЗЗ и качества;
- появление КА ДЗЗ сверхвысокого разрешения нового поколения;

- появление радиолокационных КА ДЗЗ сверхвысокого разрешения с возможностью интерферометрической обработки;
- совершенствование технологий обработки;
- увеличение скорости передачи данных;
- сокращение времени поставки данных потребителю – развитие концепции «виртуальных станций»;
- широкое использование сетевых технологий и возможностей Интернет и т. д.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДЗЗ В НЕФТЕГАЗОВОЙ СФЕРЕ

Данные ДЗЗ широко используются в различных сферах деятельности, в том числе и весьма успешно, в нефтегазовой сфере. Сложность получения разнообразной пространственно-распределенной (в том числе геолого-геофизической) информации, особенно в труднодоступных районах, традиционными методами повышает значение технологий дистанционного получения данных. Пространственная информация, получаемая средствами ДЗЗ в различных диапазонах электромагнитного спектра, характеризует спектральный образ объектов (в том числе геологических) и физические процессы, протекающие на поверхности и в недрах Земли, что в совокупности с традиционными методами дает интегральную картину, описывающую их состояние, состав и влияние экзогенных и эндогенных факторов.

При освоении месторождений космические снимки используются на всех этапах работ – от проектирования, разработки, эксплуатации вплоть до консервации. На стадии принятия решений об участии в проекте данные ДЗЗ позволяют получить общую оценку территории (расположение, природные условия, наличие коммуникаций, промышленных объектов и жилых массивов, геологическая изученность). Повторяющиеся съемки обеспечивают мониторинг территории месторождений во времени.

Особое значение в последнее время приобретают радиолокационные данные ДЗЗ. Оперативность получения актуальной пространственной информации о земной поверхности является одним из важных требований, предъявляемых к современным данным ДЗЗ наряду с высоким пространственным разрешением, а также геометрической точностью. Именно оперативность является одним из основных преимуществ радиолокационных систем ДЗЗ [6]. Также следует отметить, что радиолокационные данные позволяют определять малейшие вертикальные смещения (вплоть до нескольких сантиметров), что является альтернативой дорогостоящим и трудозатратным наземным измерениям. Такие данные имеют неограниченное значение при геологоразведочных работах.

В настоящее время идет активное развитие общемировой группировки коммерческих радиолокационных систем. Еще несколько лет тому назад на орбите находилось только три спутника среднего разрешения, работающих в радиодиапазоне, сейчас же доступны данные с восьми радиолокационных спутников, причем пространственное разрешение изображений достигает 1 м (КА TerraSAR-X, Германия и КА COSMO-SkyMed 1–4, Италия).

Можно выделить целый комплекс задач, решаемых с применением технологий ДЗЗ, для повышения эффективности и качества принятия управленческих решений в нефтегазовой отрасли:

- разведка углеводородных ресурсов;
- оценка сейсмической стабильности региона;
- планирование работы при проведении геологоразведочных работ и геофизических исследований;
- планирование развития нефте- и газодобывающей, транспортной, перерабатывающей инфраструктуры;
- инвентаризация запасов углеводородов, оценка продуктивности нефтегазоносных районов и

перспектив их освоения;

- оценка и контроль экологического состояния территорий в районах добычи и транспортировки нефти и газа;
- контроль состояния инфраструктуры (рис. 1);
- определение границ и контроль использования лицензионных участков;
- планирование и контроль прокладки и эксплуатации трубопроводов;
- обнаружение и картографирование протечек нефтепроводов;
- контроль состояния действующих нефтепроводов;
- ликвидация аварий и оценка ущерба;
- обновление и создание картографического материала на территории освоения до масштаба 1:2000 включительно;
- использование в качестве картографической основы для построения геоинформационных систем (ГИС) различного уровня.

Немаловажное значение имеет использование данных ДЗЗ при решении экологических задач и мониторинга состояния окружающей среды. Для экологического анализа используются как пространственные и радиометрические свойства изображений, получаемых со спутников, так и спектральные составляющие, которые позволяют получать дополнительные данные при дешифрировании снимков за счет комбинации отдельных спектральных каналов.

Немаловажное значение имеет использование



Рис. 1
Анализ состояния элементов инфраструктуры нефтехранилища по снимку с КА QuickBird

данных ДЗЗ для решения экологических задач и мониторинга состояния окружающей среды. Для экологического анализа используются как пространственные и радиометрические свойства изображений, получаемых со спутников, так и спектральные составляющие, которые позволяют получать дополнительные данные при дешифрировании снимков за счет комбинации отдельных спектральных каналов (рис. 2).



Рис. 2
Экологический мониторинг в зоне строительства и эксплуатации промышленного объекта (мультиспектральный снимок со спутника IKONOS, синтезированное изображение с разрешением 1 м)

ЦЕНТР КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В НЕФТЕГАЗОВОМ КОМПЛЕКСЕ

Современный уровень развития средств и методов исследования Земли из космоса, программных комплексов обработки космических данных и широкое распространение ГИС позволяют получать качественно новую информацию о состоянии территорий, объектов, процессах и динамике их изменения. При этом необходимы и новые методологические системные подходы для комплексных исследований, анализа и эффективного управления отраслями и регионами, в том числе и в процессе освоения нефтегазовых месторождений.

Создание Центров космического мониторинга (ЦКМ), концепцию которых предлагает компания «Совзонд», – ключ к комплексному решению этих задач [7].

Главная цель деятельности ЦКМ – получение, обработка и анализ оперативных данных ДЗЗ из космоса в целях предоставления наиболее полной, актуальной и объективной информации о природно-ресурсном потенциале, экономическом и экологическом состоянии региона для принятия управленческих решений.

В рамках деятельности ЦКМ нефтегазовой отрасли решаются следующие главные задачи:

- оперативное получение данных ДЗЗ, наиболее полно обеспечивающих мониторинг тех или иных видов природных ресурсов, экологических проблем, чрезвычайных ситуаций;
- первичная обработка данных ДЗЗ, их подготовка к последующему автоматизированному и интерактивному дешифрированию, а также визуальному представлению для управленческих органов производственных структур (в том числе исследовательских, геологоразведочных и т. д.);
- глубокий автоматизированный анализ данных ДЗЗ для подготовки широкого спектра аналитических картографических материалов по различной тематике, определения разнообразных статистических параметров;
- подготовка аналитических отчетов, презентационных материалов на базе данных космической съемки территории, формирование предложений и рекомендаций по решению тех или иных проблем, привлечению инвестиций, перераспределению сил и средств, вкладываемых в те или иные направления.

ЦКМ представляет высокопроизводительный комплекс программно-аппаратных средств, который позволяет оперативно получать и обрабатывать данные ДЗЗ, в том числе радиолокационные, является масштабируемой системой и легко может быть доукомплектован для решения новых задач.

В состав ЦКМ входят следующие системы (рис. 3):

- получения и обработки информации в режиме реального времени.
- динамического отображения информации в геоинформационной среде.
- информационно-аналитической поддержки принятия решений;
- связи и управления.

СИСТЕМА ПОЛУЧЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Работа системы обеспечивается станцией виртуального приема, дающей возможность заказчику самостоятельно осуществлять планирование съемки и получать данные (рис. 4).

Основным преимуществом при использовании станций виртуального приема является оперативность заказа съемки, а также отсутствие необходимости в приобретении дорогостоящего оборудования. Заказчику предоставляется программное обеспечение, которое имеет простой и удобный интерфейс. Используя Интернет, можно резервировать ресурс спутника под собственные задачи, осуществлять планирование периодов проведения новой съемки на интересующие территории, ежедневно отслеживать выполнение новой съемки заданной территории, анализировать и загружать отобранные снимки на компьютер. Огромным преимуществом данного сервиса для многих организаций является возможность оперативного получения данных

ДЗЗ сотрудником, находящимся в любой точке мира, а также заказ съемки любой территории России и мира.

Хорошую перспективу для задач мониторинга имеет группировка из пяти мини-спутников RapidEye, которые были запущены 29 августа 2008 г. Компания RapidEye AG (Германия) – владелец группировки спутников предоставляет потребителям данные ДЗЗ разного уровня обработки: от необработанных снимков до ортотрансформированных на основе цифровых моделей рельефа изображений (с радиометрической и геометрической калибровкой). Новая группировка спутников выполняет съемку одного и того же района Земли с периодичностью 24 ч с ежедневной площадью покрытия 4 млн км². Маневренность аппаратов, большие площади съемки, возможность ежедневного мониторинга, а также высокое пространственное разрешение (до 5 м) делают использование данных, полученных от группировки спутников RapidEye, особенно перспективными в нефтегазовой и других отраслях.



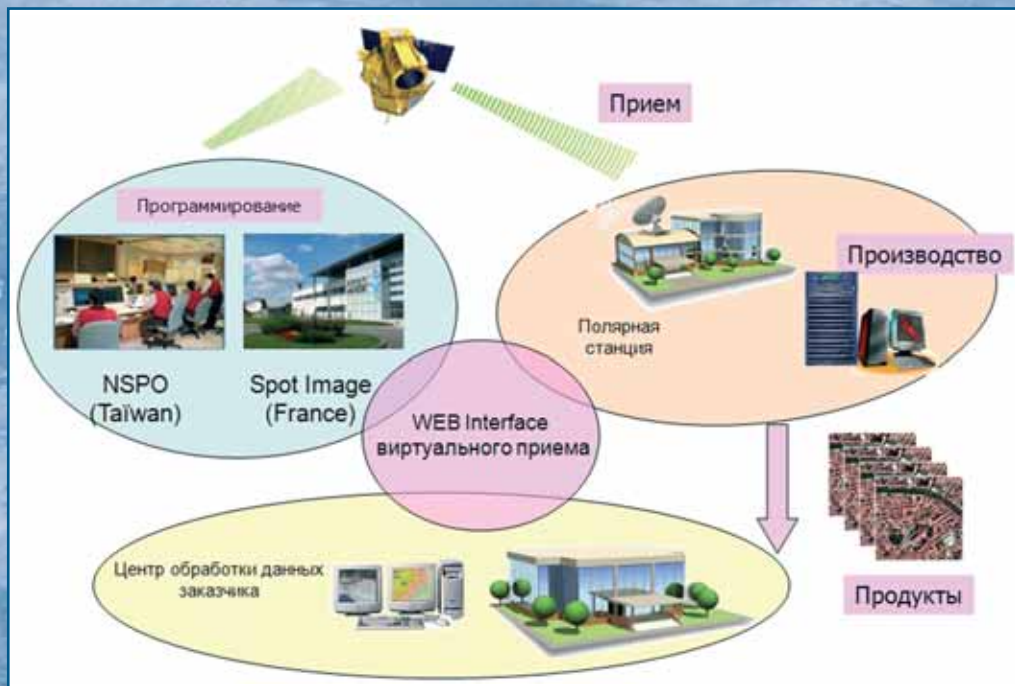


Рис. 4
Станция виртуального приема

СИСТЕМА ДИНАМИЧЕСКОГО ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ В ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЕ

Систему динамического отображения информации предлагается строить на базе сервиса ImageConnect (DigitalGlobe, США), позволяющего обеспечить мультипользовательский доступ к высокоточным данным со спутников QuickBird (пространственное разрешение 61 см в панхроматическом режиме) и WorldView-1 (пространственное разрешение 50 см) непосредственно из ГИС-среды предприятия (рис. 5).

Сервис ImageConnect является уникальным расширением к ГИС, позволяющим загрузить пространственно привязанные космические изображения высокого разрешения в ГИС-среду пользователя непосредственно из архива компании DigitalGlobe. При этом происходит мгновенное отображение спутниковых данных в программном обеспечении заказчика с ав-

томатическим преобразованием в нужную проекцию (установленную в программе на момент отбора данных). ImageConnect совместим с программным обеспечением компаний ESRI (ArcGIS 8.x и 9.x), MapInfo (MapInfo Professional v.8 and v8.5), Autodesk (AutoCAD Map 3D 2006-2008) и др [8].

ImageConnect позволяет:

- организовать одновременный многопользовательский доступ к базе данных ДЗЗ;
- обеспечить интеграцию с пользователями геоинформационных систем;
- существенно снизить стоимость данных ДЗЗ;
- избежать затрат на архивирование терабайтов данных и обеспечить одновременный доступ удаленных филиалов предприятия;
- получить специальные условия на выполнение новой съемки любой территории заказчика со спутников QuickBird и WorldView-1.



Рис. 5
Порядок работы с ImageConnect

СИСТЕМА ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Комплексная обработка космической информации и результатов наземных измерений является основой для получения данных, предназначенных для дешифрирования и тематических исследований, проводимых с целью получения объективной информации о текущем состоянии территории. Результаты обработки интегрируются в тематические ГИС для проведения всестороннего анализа и получения информации о динамике развития позитивных и негативных процессов.

Функционирование системы информационно-аналитической поддержки принятия решений обеспечивается программными решениями для обработки и анализа данных:

- INPHO (INPHO, Германия) – полнофункциональная фотограмметрическая система;

- ENVI (ITT Visual Information Solutions, США) – программный комплекс для обработки данных ДЗЗ и их интеграции с данными ГИС;
- MicroStation (Bentley Systems, США) – профессиональная САПР с полнофункциональными геоинформационными возможностями.

Программный комплекс INPHO предназначен для всех стандартных задач, решаемых в цифровом фотограмметрическом проекте, включая геокодирование, создание цифровых моделей рельефа (ЦМР), ортотрансформирование и стереоскопическую оцифровку [9].

INPHO поддерживает широкий спектр цифровых данных, включая отсканированные аэрофотоснимки, данные, получаемые с цифровых авиационных камер и различных космических аппаратов ДЗЗ.

Основным преимуществом системы INPHO является строгое математическое моделирование для достижения наивысшей точности обработки, а также четко выстроенный рабочий процесс и высокая сте-

пень автоматизации для достижения наивысшей производительности.

Основные компоненты фотограмметрической системы INPHO:

- ApplicationsMaster – ядро системы, позволяющее работать со всеми модулями;
- MATCH-AT – модуль для полностью автоматизированного процесса аэротриангуляции;
- MATCH-T – модуль для построения высокоточных ЦМР;
- DTMaster – эффективный модуль контроля качества и редактирования более чем 50 миллионов точек ЦМР;
- OrthoMaster – высокоточное производство ортотрансформированных изображений по материалам авиационной или космической съемки;
- OrthoVista – мощный и высокоавтоматизированный инструмент для создания мозаик и ортофотопланов;
- Summit Evolution – усовершенствованный цифровой стереоплоттер для векторизации объектов местности по стереопарам аэро- и космических снимков непосредственно в среде AutoCAD или MicroStation.

Программный комплекс ENVI, предназначенный для анализа мультиспектральных и гиперспектральных изображений, включает наиболее полный набор функций для обработки данных ДЗЗ и их интеграции с данными ГИС. Диапазон задач, решаемых с помощью ПК ENVI, достаточно широк: от ортотрансформирования и пространственной привязки изображения до получения необходимой информации и ее интеграции с данными ГИС [10].

Достоинством программного комплекса является наличие удобных алгоритмов автоматической векторизации результатов классификации, что особенно важно при оперативном анализе результатов в современных ГИС.

Отличительной особенностью ENVI является открытая архитектура и наличие языка программирования IDL (Interactive Data Language), с помощью которого можно существенно расширить функциональные возможности программы для решения специализированных задач, создавать собственные и автоматизировать существующие алгоритмы обработки данных и выполнять пакетную обработку данных. Открытая архитектура ENVI обеспечивает удобство обработки и предоставляет пользователю возможность быстро и просто получать необходимую информацию.

К преимуществам ENVI также следует отнести интуитивно понятный графический интерфейс, позволяющий даже начинающему пользователю быстро освоить необходимые алгоритмы обработки данных. Имеется возможность упростить, перестроить, русифицировать или переименовать пункты меню ENVI и модифицировать пользовательский интерфейс.

Особо следует отметить специализированный модуль SARscape, предназначенный для обработки радиолокационных данных, полученных радаром с синтезированной апертурой (SAR).

Радиолокационные данные позволяют получать информацию о земной поверхности при любых погодных условиях, а также освещенности, что особенно актуально для северных и дальневосточных регионов России.

ПО SARscape разработано как дополнительный модуль к программному комплексу ENVI. Отличительной особенностью SARscape является возможность обработки и совмещения радиолокационных данных, полученных из любых предшествующих, существующих и будущих космических систем, что позволяет создавать специализированную продукцию с наиболее полной информацией. Благодаря современным алгоритмам, реализованным в ENVI, обеспечивается полная совместимость между информацией, созданной на основе радиолокационных и оптических данных, что позволяет говорить о SARscape как о полноценном и мощном средстве для обработки данных ДЗЗ.

Результаты обработки данных ДЗЗ интегрируются в тематические ГИС, которые предназначены для информационно-аналитической поддержки принятия решений. Универсальным программным комплексом, который, с одной стороны, имеет широкие возможности систем автоматизированного проектирования (САПР), а с другой – функциональность ГИС, является MicroStation.

К основным преимуществам MicroStation можно отнести следующие:

- основой ПО является ядро твердотельного геометрического моделирования Parasolid, признанное одним из лучших в мире;
- простота операций при трехмерном проектировании;
- передовая технология визуализации сложных трехмерных построений;

- развитые возможности проектирования поверхностей сплайнового и составного типов, усовершенствованная система операций с поверхностями;
- простая организация стилей линий: стили всегда видны, отсутствует необходимость устанавливать масштаб для стиля линии, имеется встроенная система редактирования стилей;
- полная поддержка формата DWG;
- интеграция с другими программными средствами;
- создание собственных приложений с помощью языка программирования MDL;
- простота в изучении.

Центральным звеном ГИС-архитектуры Bentley является приложение Bentley Geospatial Server, которое позволяет объединять пространственные и иные данные, различные документы и изображения. Оно предназначено для создания в организации централизованной защищенной информационной среды, обеспечивающей управление, индексирование, редактирование и графическое отображение больших объемов структурированных и неструктурированных данных. Bentley Geospatial Server использует базирующийся на индексировании федеративный подход к управлению информацией, что позволяет хранить ее в структурированном виде, осуществлять поиск, просмотр и редактирование данных с использованием инструментов, запускаемых непосредственно через интерфейс настольных приложений. Поиск данных может осуществляться с использованием как пространственных, так и непространственных критериев [11].

Среди настольных ГИС-приложений Bentley Systems можно выделить также Bentley Map (ГИС-среда для создания, управления и анализа пространственных данных), Bentley Descartes (приложение для работы с растровыми изображениями), Bentley PowerMap (программа для полномасштабной работы со всеми видами карт) и др.

СИСТЕМА СВЯЗИ И УПРАВЛЕНИЯ

Для решения проблемы передачи изображений больших объемов (в том числе данных ДЗЗ) и работы с ними вполне подходит система скоростной передачи цифровых данных IAS (Image Access Solution), разработанный корпорацией ITT Visual Information Solutions (США).

Для сжатия изображений IAS использует формат нового поколения JPEG 2000, который является международным стандартом сжатия данных (ISO/IEC 15444). Качество сжатия и большая маневренность выгодно отличают JPEG 2000 от формата JPEG DCT (Discrete Cosine Transform). Использование формата JPEG 2000 позволяет IAS решить проблемы ограничения в памяти и обработке, а также пропускной способности систем связи.

Используя передовые технологии скоростной передачи данных, IAS передает информацию на большие расстояния гораздо быстрее традиционных способов, даже при значительных ограничениях пропускной способности систем связи. В результате значительно сокращается время между приемом и передачей данных, что позволяет оперативно и точ-

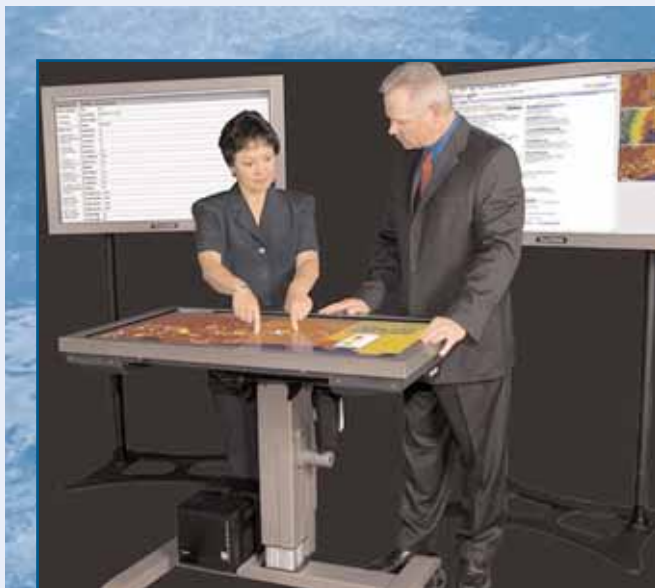


Рис. 6
Программно-аппаратный комплекс TouchTable

но принимать решения при оценке той или иной чрезвычайной ситуации.

Отличным средством для проведения совещаний по принятию оперативных управленческих решений служит программно-аппаратный комплекс TouchTable (TouchTable, Inc., США).

TouchTable (рис. 6) представляет собой специализированный компьютер с большим сенсорным монитором высокого разрешения, который идеально подходит для работы с ГИС. Он служит устройством ввода и отображения информации. Управление работой комплекса происходит с помощью прикосновений пальцев рук к поверхности монитора, который расположен в горизонтальной плоскости, т. е. в виде стола, что делает удобным просмотр и анализ отображаемых пространственных данных группой людей.

Главной особенностью TouchTable является уникальный набор пользовательских возможностей. Например, масштабирование легко выполняется движением пальцев рук (к центру – масштаб уменьшается; от центра – увеличивается), трехмерный режим обеспечивается без использования стереочков, имеется также возможность делать виртуальные «облеты» и «проходы» и т. д. Инфракрасные датчики различают прикосновения с точностью до 1 мм².

Запатентованное программное обеспечение TouchShare, базирующееся на разработках компаний ESRI, Leica и TouchTable, поддерживает клиентский интерфейс, интегрируется в другие программные приложения, имеет интерактивное меню.

Хорошая обзорность и возможность различных способов визуализации пространственных данных позволяют достичь лучшего взаимопонимания и сотрудничества группе людей. Сетевое использование устройств дает возможность удаленно работать нескольким специалистам в одном виртуальном пространстве, используя ноутбуки и КПК, совместимые с TouchTable.

Список литературы

1. Баранов Ю.Б., Кантемиров Ю.И., Киселевский Е.В., Болсуновский М.А. Построение ЦМР по ре-

зультатам интерферометрической обработки радиолокационных изображений ALOS PALSAR // *Геопрофи.* – 2008. – № 1. – С. 31-34.

2. Баранов Ю.Б., Кантемиров Ю.И., Киселевский Е.В., Болсуновский М.А. Построение ЦМР по результатам интерферометрической обработки радиолокационных изображений ALOS PALSAR // *Геопрофи.* – 2008. – № 2. – С. 19-23.

3. Болсуновский М.А. Перспективные направления развития дистанционного зондирования Земли из космоса // *Новости космонавтики.* – 2007. – №11. – С. 42-43.

4. Болсуновский М.А., Любимцева С.В. Космические съемки на пике высоких технологий // *Аэрокосмический курьер.* – 2007. – № 4. – С. 46-47.

5. Серебряков В.Б. Применение космических данных в комплексе поисковых работ на нефть и газ (<http://www.sovzond.ru/dzz/publications/543/3807.html>).

6. Трофимов Д.М., Никольский Д.Б., Захаров А.И. Возможности и результаты практического использования спутниковой радиолокационной съемки и интерферометрии при геологоразведочных работах на нефть и газ // *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений.* – 2009. – № 1. – С. 25-29.

7. Серебряков В.Б. Региональный центр космического мониторинга // *Пространственные данные.* – 2008. – № 1. – С. 52-55.

8. Элердова М.А. Новые сервисы и ПО для прямого доступа к высокоточным данным с КА QuickBird и WorldView-1 // *Геопрофи.* – 2008. – № 3. – С. 32-34.

9. Лютивинская М.В. Фотограмметрический комплекс INPHO (Германия) – передовое решение для обработки аэро- и космических снимков // *Пространственные данные.* – 2008. – № 3. – С. 48-51.

10. Болсуновский М.А., Колесникова О.Н. Использование программного комплекса ENVI для обработки данных дистанционного зондирования // *Пространственные данные.* – 2006. – № 3. – С. 42-43.

11. Колесникова О.Н., Беленов А.В. Решения компании Bentley Systems для картографии и геоинформационных проектов // *Геопрофи.* – 2007. – № 3. – С. 18-20.

В.Б. Серебряков (Компания «Совзонд»)

В 1985 г. окончил Московский авиационный институт по специальности «инженер-механик». В настоящее время – руководитель направления ГИС компании «Совзонд».

Применение космических данных в комплексе работ при поиске нефти и газа

Спецификой изучения геологического строения и особенно поисков нефти и газа является недостаточная плотность исходной геолого-геофизической информации, что приводит к построению низковероятностных моделей искомого геологического объекта и соответственно к невысоким результатам геологоразведочных работ, проводимых только традиционными методами. Особенностью нефтегазоносных регионов России является то, что они относятся к труднодоступным территориям, покрытым почвенно-растительным покровом, скрывающим изучаемые геологические объекты. В геологическом арсенале методов отсутствуют средства, обеспечивающие получение объективной картины строения осадочного чехла на основе высокой плотности информации без значительных временных и финансовых затрат. Исходя из этого, для повышения эффективности традиционных геологических исследований в комплекс нефтегазопоисковых работ должен быть введен метод, обладающий дополнительной плотностью исходной ландшафтно-геологической информации. Подобные возможности обеспечивает аэрокосмическое дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ). Пространственная информация, получаемая средствами ДЗЗ в различных диапазонах электромагнитного излучения, характеризует спектральный образ объектов (в том числе геологических) и физические процессы, протекающие на поверхности и в недрах Земли, и дает в совокупности с традиционными методами интегральную картину об их состоянии, составе и влиянии экзогенных и эндогенных факторов.

Использование разновременной, сезонной и мультиспектральной космической информации позволяет значительно повысить эффективность нефтегазопоисковых исследований. Технология подобных работ основана на тематической обработке, экспертном и автоматизированном дешифрировании космических снимков во всех спектральных диапазонах и комплексной интерпретации геолого-геофизических материалов. В первую очередь, данная технология направлена на уточнение строения зон нефтегазонакопления и выделения в их пределах наиболее перспективных ловушек нефти и газа. При этом основное внимание уделяется выявлению локальных структур различного типа и разрывных нарушений. Спектральная обработка космической информации позволяет выявить аномалии природных объектов, связанные с влиянием на них углеводородов, мигрирующих от залежи к приповерхностному слою Земли. Использование снимков теплового инфракрасного диапазона с построением по ним карт температур поверхности и тепловых аномалий с учетом влияния атмосферы, погодных условий и геологических особенностей исследуемого региона позволяет с большей эффективностью выделять продуктивные структуры и наиболее активные на современном этапе разрывные нарушения. Выделение подобных объектов дает возможность проводить предварительную оценку перспективности труднодоступных и слабоизученных нефтегазоносных участков и сосредоточить на них сейсморазведочные работы и бурение, тем самым, сократив стоимость и значительно повысив достоверность прогнозно-поиско-

вых работ, выполняемых традиционными методами (геология, геофизика, геохимия).

Комплексная целевая обработка космической информации определяет технологическую последовательность, состоящую из следующих этапов работ, скоординированных со стадиями поисковых исследований.

Предварительная обработка космической информации выполняется для проведения необходимых видов коррекции, обеспечивающих точную пространственную привязку, улучшение качественного восприятия, снятие искажений, связанных с экзогенными воздействиями (атмосфера, Солнце, рельеф) (рис. 1) и оценку возможностей распознавания признаков геологических объектов для последующего визуального и автоматизированного дешифрирования. Этап предварительной обработки позволяет получать по данным ДЗЗ и геолого-геофизической информации параметрические поля в абсолютных физических величинах. По результатам этого этапа можно в дальнейшем оценить выраженность геологических объектов в физических полях, таких как поля яркости, альbedo, радиационные температуры, освещенности, вегетации, инсоляции и т. д. Этот комплекс работ обеспечивает новое качество обработки пространственной информации, повышение информативности исходных данных и эффективности тематических исследований.

Тематический анализ осуществляется по двум направлениям: визуальное дешифрирование или распознавание геологических объектов (включая соответствующие им признаки) сквозь почвенно-растительный покров с целью их предварительной классификации (типизации) и создание многослойной модели данных (ММД) (рис. 2), включающей совокупность параметрических и геолого-геофизических полей. Автоматизированный расчет характеристик этих объектов по ММД позволяет получить и систематизировать большой объем

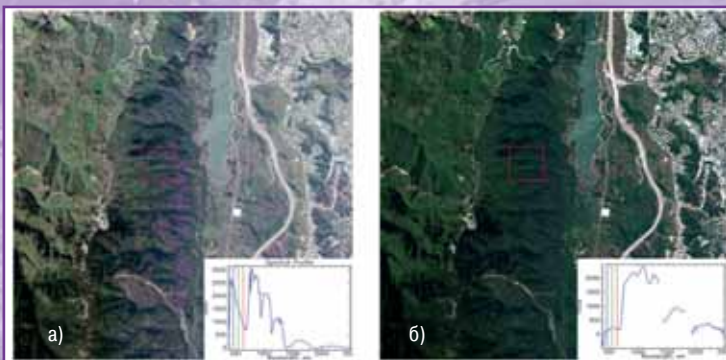


Рис. 1. Пример коррекции искажений, вызванных атмосферой, выполненной в ПК ENVI (модуль FLAASH): а) до коррекции; б) после коррекции

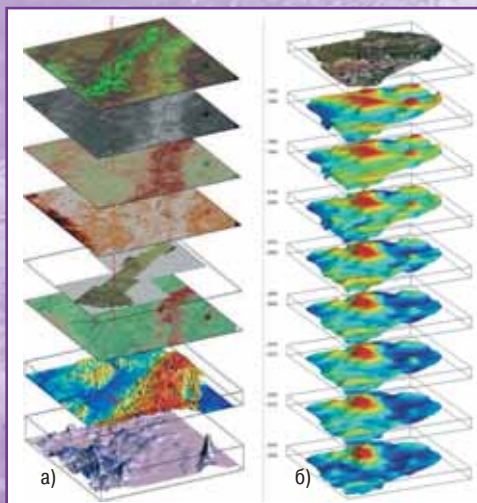


Рис. 2. Пример многослойной модели данных параметрических полей, полученных: а) по космической информации; б) по геолого-геофизической информации

принципиально новой информации по каждому выявленному геологическому объекту, повышающей, в конечном счете, достоверность прогноза. Применяемые методы спектрального анализа и классификации, температурной коррекции и параметрической кластеризации физических полей дают возможность с высокой степенью достовер-

ности выявлять спектральные и тепловые аномальные зоны, характеризующие наличие признаков углеводородов в приповерхностном слое Земли.

Комплексная обработка и статистический анализ космической, геологической, геоморфологической, геофизической и геохимической информации проводятся с целью определения морфологии, глубины залегания и генезиса прогнозируемых объектов, т. е. их завершающей классификации.

Этап комплексной обработки позволяет получить совокупность физических, математических, геологических и статистических характеристик выявленных структур, т. е. практически составить пространственный физико-геологический «портрет» исследуемых объектов в абсолютных значениях параметра. На рис. 3 приведены результаты статистического анализа близости параметров эталонного объекта и выявленных локальных структур по их отражающим характеристикам в определенном спектральном диапазоне (K_c – коэффициент соответствия).

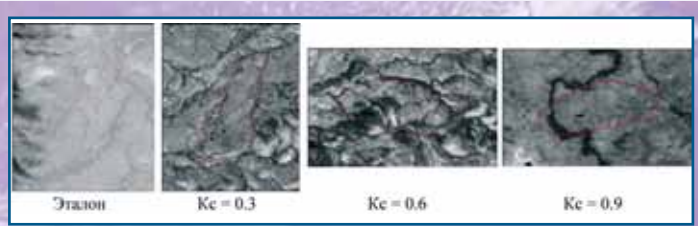


Рис. 3. Пример комплексной обработки объектов

Оценка перспектив нефтегазонасности выделенных объектов проводится на основе экспертных аналитических оценок, распознавания образов месторождений нефти и газа и сопоставления с эталонами путем использования новых методов анализа результатов обработки данных ДЗЗ (рис. 4), что в сравнении с традиционным подходом обеспечивает существенное сокращение сроков и объемов поисковых работ при повышении достоверности прогноза.

Использование космических данных (QuickBird, IKONOS, ALOS, SPOT, Terra/Aster, Landsat, EO/Hyperion и др.) при геологоразведочных работах позволяет:

- значительно сократить сроки работ за счет оперативности аэрокосмических исследований;
- провести предварительную оценку перспективности нефтегазонасных труднодоступных и малоизученных участков, в том числе лицензионных;
- снизить затраты на проведение работ за счет более эффективного использования геофизических методов с учетом результатов космических исследований на поисковом этапе путем выявления большего количества перспективных геологических структур и, соответственно, более высокой оценки прогнозных ресурсов

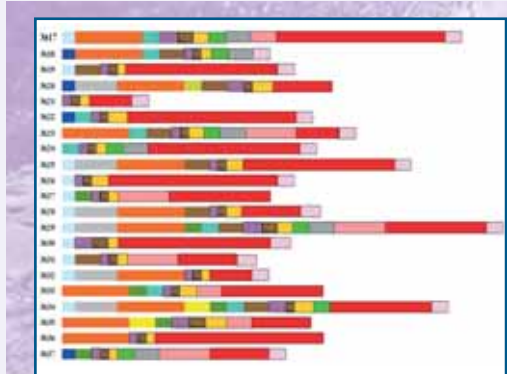


Рис. 4. Пример оценки перспективности прогнозируемых локальных структур по комплексу космических, геолого-геофизических и нефтегазонасных критериев

- углеводородов в пределах лицензионных участков;
- повысить достоверность полученных результатов за счет комплексирования обработанных космических и геолого-геофизических данных, что в итоге обеспечивает открытие месторождений нефти и газа меньшим количеством скважин или отказ от разбуривания локальных поднятий, отнесенных к бесперспективным;
- организовать в комплексе с геологоразведочными работами оценку природоохранных мероприятий на нефтяных и газовых месторождениях с проведением экологического мониторинга.

В настоящее время компания «Совзонд» на основе современных космических данных и геоинформационных технологий осуществляет комплекс работ по разработке, внедрению и практической реализации перспективных методов обработки пространственной информации для решения задач нефтегазодобывающей отрасли.

О.Н. Колесникова (Компания «Совзонд»)

В 2001 г. окончила Московский государственный университет природообустройства. После окончания университета работает в компании «Совзонд», в настоящее время – руководитель отдела программного обеспечения.

Использование программного комплекса ENVI

для обработки данных дистанционного зондирования Земли

Компания «Совзонд» наряду с поставкой данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) предлагает специализированное программное обеспечение (ПО) для обработки космических снимков, позволяющее решать тематические задачи в различных отраслях: картографии, экологии, геологии, сельском и лесном хозяйствах, телекоммуникации, муниципальном и городском управлении, строительстве, энергетике, нефтегазовой отрасли. Одним из таких ПО является программный комплекс ENVI (рис. 1), включающий наиболее полный набор функций для обработки данных ДЗЗ и их интеграции с данными ГИС.

ПК ENVI признан во всем мире как лидер в анализе мультиспектральных и гиперспектральных изображений. Комплекс содержит спектральные библиотеки и средства

для выполнения спектрального и топографического анализа, анализа растительности и классификации изображений по следующим алгоритмам:

- алгоритм k-средних (K-means);
- итерационная самоорганизующаяся методика анализа данных (Isodata);
- способ параллелепипедов (Parallelepiped);
- алгоритм минимального спектрального расстояния (Евклидова метрика, Minimum Distance);
- алгоритм расстояния Махаланобиса (Mahalanobis Distance);
- способ максимального правдоподобия (Maximum likelihood);
- классификация с помощью метода спектрального угла (Spectral Angle Mapper);
- отклонение спектральной информации (Spectral Information Divergence);
- двоичное кодирование (Binary Encoding);
- дерево принятия решений (Decision Tree);
- нейронная сеть (Neural Net).

Например, с помощью алгоритма «Дерево принятия решений» возможен совместный анализ различных данных (цифровая модель рельефа (ЦМР, DEM) – высота, угол и направлении уклона; гидрогеологические особенности – глубина залегания подземных вод, характер грунтов; особенности растительного покрова) для выделения районов, подверженных эрозионным процессам, пожароопасных участков.

Достоинством программы является наличие удобных ал-

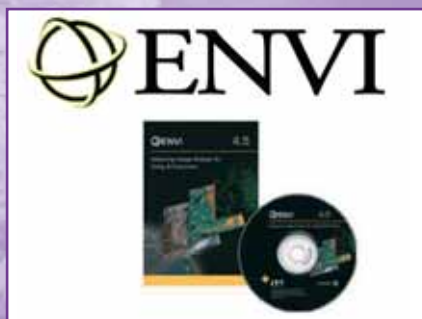


Рис. 1.
Программный комплекс ENVI 4.5

горитмов автоматической векторизации результатов классификации, что особенно важно при оперативном анализе результатов в современных геоинформационных программах.

Отличительной особенностью программного комплекса ENVI является открытая архитектура и наличие языка программирования IDL (Interactive Data Language), с помощью которого можно существенно расширить функциональные возможности программы для решения специализированных задач, создавать собственные и автоматизировать существующие алгоритмы обработки данных, выполнять «пакетную» обработку данных.

Программный комплекс ENVI 4.5 лицензирован ведущими операторами космических данных, поэтому он

обеспечивает поддержку данных ДЗЗ, получаемых со спутников WorldView-1, QuickBird, ALOS, IKONOS, OrbView, CARTOSAT-1, FORMOSAT-2, RESOURCE SAT, SPOT, IRS, Landsat и др. Кроме того, программный комплекс поддерживает широкий диапазон растровых и векторных форматов наиболее распространенных геоинформационных систем, таких как ArcView, ArcInfo, MapInfo и многих др.

В ПК ENVI включена поддержка некоторых дополнительных модулей: создания цифровых моделей рельефа DEM, атмосферной коррекции FLAASH, объектно-ориентированной классификации Fx, а также ряда специализированных модулей обработки материалов радиолокационных съемок ПО SARscape.

Модуль DEM предоставляет пользователям возможность создавать высокоточные ЦМР (рис. 2) для ортотрансформирования, топографического анализа, трехмерной визуализации и создания векторных карт с использованием стереоизображений, полученных с КА WorldView-1, IKONOS, OrbView-3, CARTOSAT-1, FORMOSAT-2, ALOS, Terra (Aster), SPOT 1-5.

С помощью модуля FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes) можно создать более точную информацию (рис. 3) по изображениям, полученным с любых мультиспектральных или гиперспектральных комплексов, регистрирующих электромагнитное излучение в ближнем инфракрасном диапазоне, включая системы вертикального или наклонного визирования.

Модуль Fx (рис. 4) позволяет автоматически выделять линейные и площадные объекты на панхроматических и мультиспектральных изображениях на основе спектральной информации, текстурного рисунка и особенности пространственного положения. Результаты обработки могут быть сохранены в векторном формате.

SARscape (текущая версия 4.1) позволяет проводить обработку материалов радиолокационных съемок, выполненных радиолокаторами с синтезированной апертурой (SAR) и обеспечивает максимальную поддержку существующих радиолокационных систем: ERS-1/2, JERS-1, RADARSAT-1/2, ENVISAT (ASAR), ALOS (PALSAR), TerraSAR-X, COSMO-SkyMed и др. Среди основных возможностей SARscape можно отметить

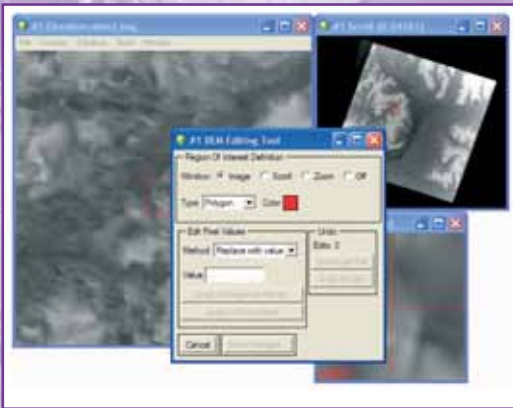


Рис. 2. Построение ЦМР в модуле DEM

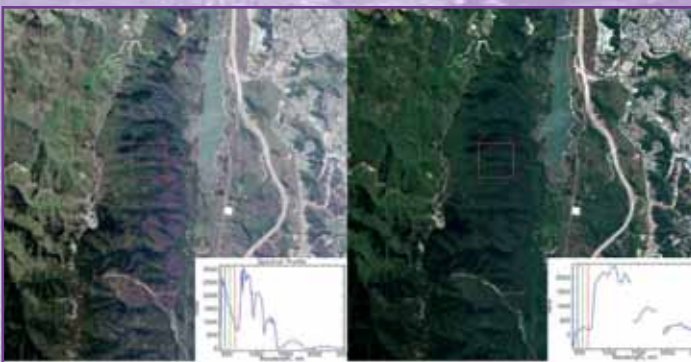


Рис. 3. Результат обработки данных в модуле FLAASH



Рис. 4.
Классификация изображений в модуле Fx

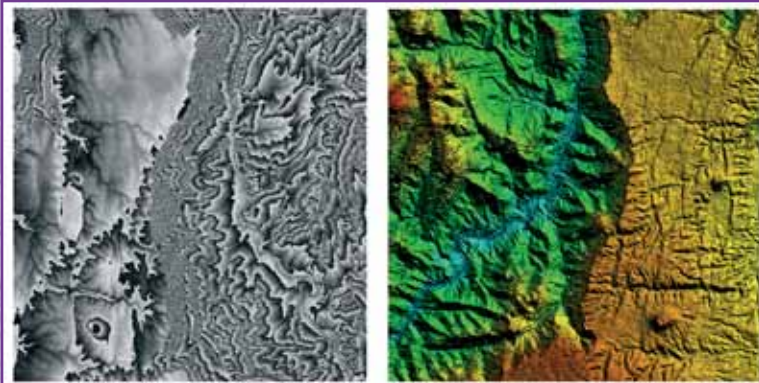


Рис. 5.
Пример обработки пары TerraSAR-X1 (слева – интерферограмма, справа – цифровая модель местности)

различные виды фильтрации, совместную обработку изображений, выполнение высокоточного ортотрансформирования с использованием опорных точек, создание мозаик и др., относящиеся к базовым методикам обработки данных, и специализированные методики обработки данных, такие как интерферометрическая обработка пар изображений с целью получения ЦММ (рис. 5), дифференциальная интерферометрия с целью определения подвижек и просадок, а также обработка поляриметрических наборов данных для целей классификации объектов и др. Более подробно с возможностями ПО SARscape по обработке, а также с различными видами применения радиолокационных данных можно ознакомиться в журнале «Геоматика» (№ 1, осень 2008 г.).

Последняя версия программы ENVI 4.5 вышла в середине 2008 г. В числе новых возможностей данной версии можно отметить:

1. Интеграцию с ПО ArcGIS (ESRI). ENVI 4.5 позволяет осуществлять обмен файлами данных с ArcGIS через геоинформационную базу данных. Кроме того, возможен прямой доступ из ENVI к инструментам создания карт программы ArcMap.

2. Создание векторов в ENVI Zoom. Программа поддерживает возможность оцифровки или создания векторов оператором в одном из интерфейсов ENVI – ENVI Zoom. Создание и редактирование векторов теперь может осуществляться в одном приложении.

3. Поддержку данных с KA WorldView-1 в любых форматах, включая GeoTIFF, NITF и стереопары.

4. Расширение возможностей ENVI Fx. В новой версии ENVI Fx реализованы:

- программируемая «пакетная» обработка (возможность выделять объекты одновременно на нескольких изображениях);
- сглаживание векторов (извлеченные объекты теперь по умолчанию сглаживаются);
- подготовка сводки статистических данных и результатов после окончания процесса обработки;
- сохранение и восстановление данных, использующихся в процессе обучения;
- возможность экспорта результатов классификации, представленных в векторном виде, в shape-файл.

5. Новую среду разработки IDL. В ENVI 4.5 сре-

да разработчика основывается на версии 7.0 языка IDL и использует новую среду IDL-приложений IDL Workbench. IDL-Workbench базируется на популярной платформе Eclipse и позволяет получить следующие преимущества:

- кроссплатформенный графический интерфейс;
- проектную схему организации приложений;
- усовершенствованные средства редактирования программного кода;
- усовершенствованные средства отладки программного кода;
- встроенную справочную систему;
- возможность добавления Plug-in модулей;
- многоязыковую поддержку.

6. Поддержку сертифицированного модуля NITF для 32-битных и 64-битных Linux-систем.

Функциональный набор инструментов, заложенных в ENVI и его дополнительные модули, весьма широк и позволяет решать задачи разного уровня сложности по обработке данных ДЗЗ – от ортотрансформирования и пространственной привязки изображения до тематической обработки, получения необходимой информации и ее интеграции с данными ГИС.

Сферы применения программного комплекса ENVI также достаточно разнообразны: лесное и сельское хозяйства, природопользование, экологические исследования, нефтегазовый комплекс, добыча полезных ископаемых и т. д.

Обращаясь к геологии и нефтегазовой отрасли, хочется отметить, что ENVI может использоваться для решения следующих задач:

- поиск и обоснование перспективных участков под поисковые работы на рудные и нерудные полезные ископаемые;
- создание современной топографической основы на базе космических снимков высокого разрешения для проведения поисково-разведочных работ и размещения инфраструктуры нефтегазовой отрасли;
- оценка перспектив нефтегазоносности прогнозируемых, выявленных и подготовленных к глубокому бурению ловушек нефти и газа (рис. 6);
- мониторинг экологического состояния территорий в районах добычи, переработки, транспортировки нефти и газа;
- мониторинг природных и техногенных смещений земной поверхности на территориях нефтегазовых месторождений методом космической радиолокационной интерферометрии и т. д.

В число организаций, уже использующих ENVI для решения различных задач, входят:

- ООО «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий – ВНИИГАЗ»;
- ГП ХМАО «Научно-аналитический центр рационального недропользования им. В.И. Шпилемана»;
- ОАО «Газпром космические системы»;
- ОАО «Сургутнефтегаз»;
- ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург»;
- Автономное учреждение Ханты-Мансийского автономного округа – Югры «Югорский научно-исследовательский институт информационных технологий»;
- Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина;

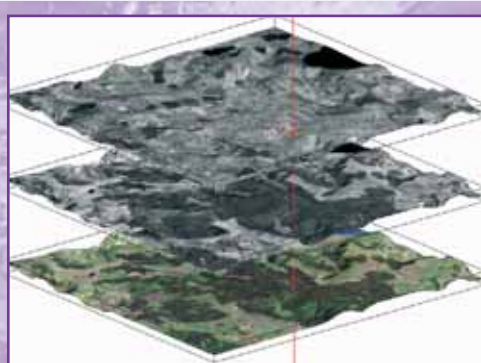


Рис. 6. Применение ENVI при ведении комплексных исследований прогнозируемых структур

- Научно-исследовательский институт экологии и рационального использования природных ресурсов (в структуре Тюменского государственного университета).

Для организаций, только начинающих внедрять в свою деятельность технологии обработки и анализа данных ДЗЗ, компания «Совзонд» предлагает услуги по обучению и консалтингу. Специалисты компании имеют значительный опыт разработки комплексных технологических решений на базе программного комплекса ENVI, позволяющих осуществлять полный цикл обработки данных от подбора, получения и первичной обработки снимков до глубокого автоматизированного тематического анализа для различных областей народного хозяйства.

Д.М. Трофимов (Компания «Совзонд»)

В 1958 г. окончил Московский геологоразведочный институт. В настоящее время — специалист компании «Совзонд». Доктор геолого-минералогических наук.

В.Н. Евдокименков (МАИ)

В 1982 г. окончил Московский авиационный институт (МАИ). В настоящее время — профессор кафедры «Информационно-управляющие комплексы» МАИ. Доктор технических наук.

В.В. Малышев (МАИ)

В 1960 г. окончил Московский авиационный институт (МАИ). В настоящее время — заведующий кафедрой «Системный анализ и управление» МАИ. Доктор технических наук.

Методика оценки перспектив нефтегазоносности структурных ловушек, выявленных или подготовленных к поисковому бурению, по космическим и геолого-геофизическим данным

Актуальной проблемой в современных условиях энергетической напряженности является совершенствование методов прогноза нефтегазоносности структурных ловушек, вводимых в поисковое бурение. Это связано как со стоимостью поискового бурения, уже доходящего до сотен миллионов рублей за одну скважину глубиной 4000-4500 м, так и с исчерпанием простых, крупных и средних по размерам локальных поднятий, что определяет необходимость выявления более сложных и глубоко залегающих ловушек нефти и газа.

В течение истории развития нефтегазопоисковых работ делались попытки использования различных видов геофизических и геохимических исследований для решения задачи прямых поисков нефти и газа [1-6]. С появлением новых нефтегазопоисковых методов каждый из них оценивался с точки зрения возможностей решения данной задачи. Не избежали этой участи и аэрокосмические методы, активно развивавшиеся и совершенствовавшиеся особенно в начале XXI века.

Помимо применения одиночных методов геофизических и геохимических исследований предпринимались попытки их комплексного использования в виде

выявления «аномалий типа залежей», которые не оправдали возлагавшихся на них надежд. До настоящего времени ведущим остается метод экспертных оценок, в рамках которого решение о бурении скважин принимают геологи и сейсморазведчики на основе анализа критериев нефтегазоносности (структурных, тектонических, литологических, геохимических и др.).

Авторы статьи также являются сторонниками комплексного подхода и использовали в своей работе как основные виды аэрокосмических методов, так и экспертную оценку критериев нефтегазоносности с определением значимости или веса каждого из используемых видов информации применительно к конкретному в ландшафтно-геологическом отношении региону.

При решении поставленной задачи привлекаются следующие виды съемок: панхроматическая, мультиспектральная и радиолокационная. Мультиспектральная съемка с космических аппаратов (КА) Landsat-7 и Terra (Aster) обеспечивает получение фитогеохимической информации через состояние растительного покрова. Она может отражать аномальное геохимическое либо гидрохимическое воздействие углеводородов, фиксирующих-

ся в определенном диапазоне спектра, соответствующем зоне поглощения хлорофиллов и каротиноидов, что было установлено при проведении экспериментальных работ.

Объектом исследований являются ареалы просачивания углеводородов или их вынос в зонах разгрузки глубинных вод. Легкие фракции углеводородов (метановые, нафтеновые и ароматические) являются наиболее подвижными. Находясь в почве и в воде, они оказывают токсическое и наркотическое действие на живые организмы, в том числе и на растительный покров [7, 8]. Ареал просачивания углеводородов, латерально мигрирующих по почвенному профилю и водоносным горизонтам, может занимать относительно большую площадь и быстро деградировать на земной поверхности и в почвах.

Циклические углеводороды окисляются очень трудно в связи с их малой растворимостью. Смолы и асфальтены при повышенных концентрациях вследствие их накопления в почвенном слое, оказывают токсическое действие на биоценоз [7]. Этот эффект усиливается за счет повышенного содержания в данных продуктах нефтяного ряда следующих элементов: ванадия, никеля, ртути и др. Соединения этих металлов действуют как яды, угнетая все живое. Вредное экологическое влияние смол и асфальтенов на почвенный покров заключается в изменении его водно-физических свойств. Являясь гидрофобными, они обволакивают корни растений и ухудшают поступление в них влаги и кислорода. Кроме этого, на смолистые вещества микроорганизмы не оказывают существенного воздействия, и процесс их разрушения затягивается на несколько лет. В составе мигрирующего к земной поверхности природного газа содержатся и неуглеводородные компоненты, в первую очередь, сероводород, ртуть, азот, гелий и др. Они также оказывают деградирующее воздействие на почвенно-растительный покров [9]. В целом нефтяные продукты приводят к ухудшению процессов фотосинтеза за счет угнетения хлорофиллов и каротиноидов, вызывающих изменения окраски листвы и хвои, что и фиксируется мультиспектральными снимками [10].

Съемка в инфракрасном диапазоне обеспечивает получение радиационных температур, которые при наземной проверке или коррекции с небольшими ошибками пересчитываются в термодинамические температуры. Использование этого вида съемки базируется на установленном факте, что структурные ловушки нефти и газа

концентрируют тепловой поток, усиливаемый за счет экзотермической реакции в залежи. Наиболее сложным является установление процесса вертикального теплопереноса к земной поверхности, учитывая рассеивающее воздействие многочисленных водоносных горизонтов, а самым простым – выявление глубинных разломов, по которым происходит разгрузка термальных вод. Для решения этой проблемы проводилась тепловая съемка из космоса в дальнем инфракрасном диапазоне со специальной обработкой радиационных температур. По результатам их анализа на структурных ловушках в пре-

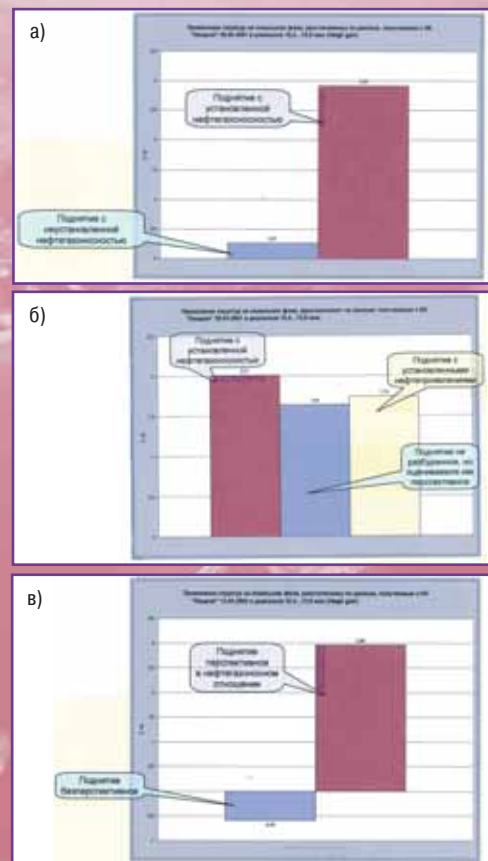


Рис. 1. Температурные показатели: а) по Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции; б) по Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции; в) по Волго-Уральской нефтегазоносной провинции

делах Тимано-Печорской, Западно-Сибирской и Волго-Уральской нефтегазоносных провинций получены относительно устойчивые показатели различий для продуктивных и непродуктивных поднятий (рис. 1). Эти данные свидетельствуют, что при комплексировании с наземной инфракрасной съемкой они могут иметь поисковое значение.

Радиолокационная съемка, фиксирующая пленки нефти в пределах акваторий, на суше служит для структурной привязки спектральных и тепловых аномалий. Она обеспечивает, по сравнению с другими видами съемок, максимальный объем структурной информации (разрывных и пликтивных дислокаций чехла), способствуя выявлению отражающихся на земной поверхности структурных ловушек и установлению связи дистанционно регистрируемых аномалий с дислокациями продуктивных горизонтов (рис. 2).

Космические съемки в отличие от полевых работ, в связи с высокой оперативностью, относительно небольшими затратами и непрерывным полем данных (в отличие от дискретных данных при наземных съемках), высоким спектральным и пространственным разрешением, обеспечивают быстрое получение детальных и качественных данных. На них с помощью снимаемых параметров (спектральные яркости, радиационные температуры и гипсометрия рельефа), проходящих специальную коррекцию и обработку, выявляются аномалии, обусловленные локальными проявлениями геохимической обстановки, связанной с просачиванием углеводородов, ростом структурных форм чехла и активными подвижками, осложняющими их разрывные нарушения.

Так как применяемые аэрокосмические показатели для оценки нефтегазоносности ловушек имеют косвенную значимость, то на первом этапе работ формируется количественный дистанционный образ нефтяного или газового месторождения, используемого в качестве эталона и расположенного в непосредственной близости от вводимых в бурение структур или в пределах одной структуры второго порядка, характеризующейся относительно выдержанными геолого-ландшафтными условиями. При наличии нескольких эталонных объектов вероятность прогноза может возрастать, так же как и при использовании «антиэталона» – разбуренного непродуктивного поднятия. Формирование этих дистанционных образов осуществляется попиксельно в площадном или профильном вариантах (рис. 3), причем последний обеспечивает более устойчивые результаты.

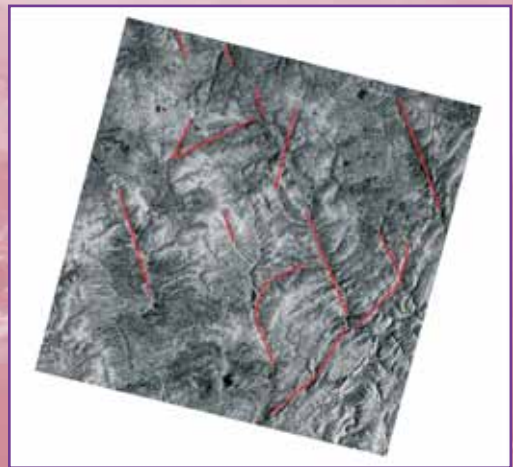


Рис. 2. Космический снимок со спутника ERS в радиодиапазоне и структурно-контролирующие разломы в районе Чаяндинского месторождения

На втором этапе работ проводится сопоставление эталонов и «антиэталонов» с изучаемыми структурными ловушками и определяется местоположение новых структур по всей исследуемой площади, исходя из

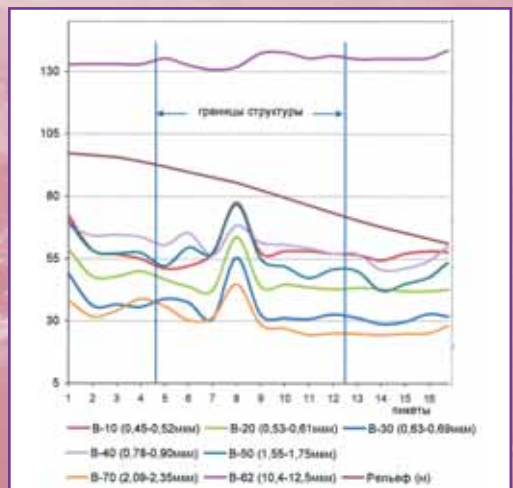


Рис. 3. Спектральный дистанционный образ структурной ловушки нефти и газа

предположения, что не все структуры выявлены сейсмо-разведкой. Современный аппарат математической статистики предлагает достаточно широкий выбор методов, позволяющих проводить подобное сопоставление с количественной оценкой перспектив нефтегазоносности структурных ловушек (рис. 4). Выбор конкретного метода существенно зависит от степени геологической изученности исследуемой территории. При наличии достаточного количества разбуренных структур («эталонов» и «антиэталонов») могут применяться известные методы классификации с «обучением», позволяющие обоснованно отнести изучаемую структурную ловушку к одному из эталонных классов (продуктивных или непродуктивных структур). В том случае, когда на исследуемой площади имеется ограниченное количество «эталонов» и «антиэталонов», недостаточное для «обучения» методов классификации, оценка перспектив нефтегазоносности изучаемых ловушек может проводиться с помощью методов проверки статистических гипотез, позволяющих на основе обоснованных количественных критериев проанализировать исследуемые ловушки с учетом близости

их свойств к свойствам эталонных структур. Наконец, в ситуации, когда на исследуемой территории бурение не проводилось, т. е. отсутствуют объекты, которые могут рассматриваться в качестве «эталонов» или «антиэталонов», предварительный анализ исследуемых ловушек может быть проведен с привлечением методов кластеризации. В этом случае из всей их совокупности выделяется конечный набор групп (кластеров), объединяющих объекты, близкие по своим яркостным или тепловым проявлениям. Выделенные кластеры в дальнейшем могут уточняться по результатам их более глубокого экспертного анализа. Таким образом, имеется фундаментальная, апробированная на практике, база, создающая надежную объективную основу для решения задач, связанных с оценкой перспектив нефтегазоносности структурных ловушек на основе аэрокосмических и геолого-геофизических данных.

Анализ спектральных характеристик, полученных в результате обработки космических снимков, может осуществляться для одной даты или нескольких, охватывающих летний сезон, когда растительность не изменяет резко свою окраску.

Использование нескольких разновременных снимков дает дополнительную информацию, показывающую существенное различие продуктивных и непродуктивных структур. Для первых – характерна высокая степень временной корреляции значений спектральных характеристик, приближающаяся к единице, а для вторых – свойственно отсутствие устойчивых корреляционных связей между значениями спектральных характеристик, соответствующих различным периодам съемки. Относительная однородность по-

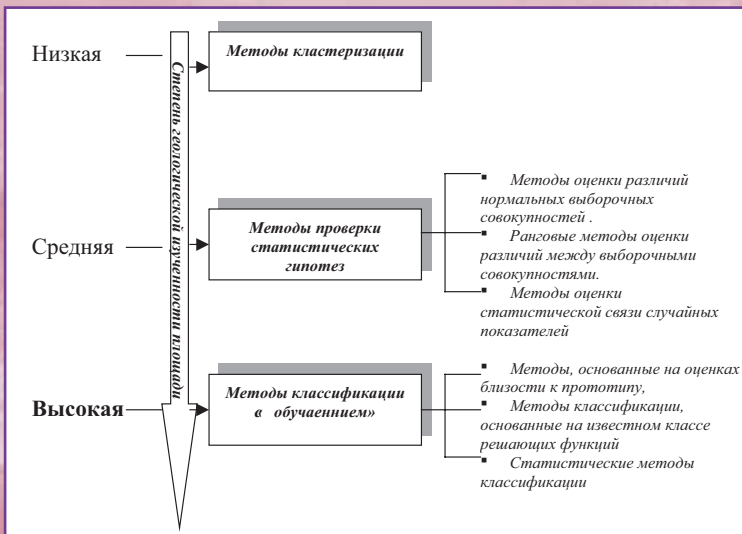


Рис. 4. Структура математических методов, используемых для оценки перспектив нефтегазоносности структурных ловушек

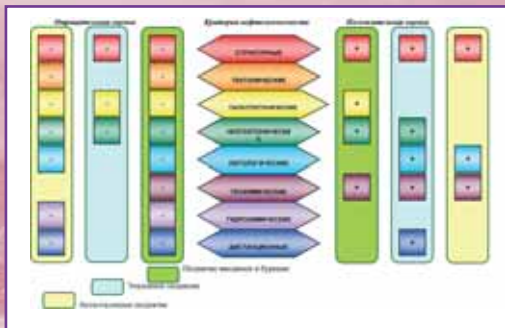


Рис. 5.
Схема сопоставления критериев нефтегазоносности эталонов и «антиэталонов» со структурной ловушкой нефти и газа, вводимой в поисковое бурение

лученных аэрокосмическими методами результатов объясняется наличием специфической геохимической обстановки, связанной с просачиванием из продуктивных горизонтов углеводородов, влиявших на окраску растительного покрова и отражающихся в виде специфических значений спектральных яркостей. Установленным является тот факт, что в ареале месторождений нефти и газа поддерживается устойчивый геохимический режим в четвертичных отложениях и почвенном покрове, характеризующихся определенными показателями eH и pH и набором минералов [11].

Помимо сопоставления этих данных, проводится экс-

пертный анализ критериев нефтегазоносности (рис. 5), отражающих сравнительную оценку перспективности рассматриваемых объектов.

Целью заключительного этапа является сравнительная формализованная оценка объективных данных космических съемок, независимых от точки зрения геолога, и экспертных геологических, геофизических и геохимических показателей, оценки которых могут быть подвержены субъективному влиянию исполнителя, но с учетом количественного определения значимости морфологических характеристик структурных ловушек и критериев нефтегазоносности, применимых к изучаемому региону. Таким образом, критерием оценки достоверности результатов анализа спектральных характеристик при наличии нескольких «эталонов» является сходимость их дистанционных образов, а для рассматриваемых структурных ловушек определяется степень близости к эталонным объектам и отличия от «антиэталонов».

При анализе традиционных геологических материалов использовались данные по тектоническому положению, морфологии структурных ловушек и их характеристикам по основным опорным горизонтам чехла. В первую очередь анализировалось структурное положение ловушек в пределах структур более низкого порядка и осложняющих их разломов, прогнозируемых по космическим данным. Подобный анализ был проведен в пределах Волго-Уральской, Тимано-Печорской и Восточно-Сибирской нефтегазоносных провинций. В отличие от ранее выявленных связей разломов и месторождений,

Значения вероятности правильного распознавания продуктивных и непродуктивных структур по различным морфологическим характеристикам

Наименование морфологической характеристики	Вероятность правильного распознавания продуктивных и непродуктивных структур, %
Площадь структуры по башкирскому ярусу	84,6
Амплитуда по башкирскому ярусу	80,0
Мощность осадочного чехла	78,6
Площадь структур по бобриковскому горизонту	71,8
Площадь структур по фундаменту	56,7
Амплитуда по доманику	56,2
Амплитуда поднятий в рельефе	54,5
Площадь структур по космическим данным	46,1
Площадь структур по доманику	43,5
Амплитуда по фундаменту	43,3
Амплитуда по бобриковскому горизонту	39,3

авторы изучали связи нескольких разнонаправленных разрывных нарушений с продуктивными и непродуктивными скважинами. В пределах Жигулевско-Пугачевского свода связь нефтяных месторождений с ограничивающим его с севера разломом была однозначной. Для Камовского свода Байкинской антеклизы был использован традиционный метод оценки статистической связи качественных (бинарных) признаков, в основе которого лежит таблица сопряженности признаков и критерий Фишера-Пирсона. Полученный результат позволяет с вероятностью 0,9942 (т. е. практически достоверно) утверждать, что существует объективная связь между продуктивными скважинами и узлами пересечения разрывных нарушений, прогнозируемых по космическим данным и не зафиксированных сейсморазведкой. Частота присутствия этих нарушений для продуктивных скважин статистически достоверно превышает частоту их наличия для непродуктивных скважин.

В качестве иллюстрации выше изложенного приведем некоторые результаты исследований по Жигулевскому валу и северной части Жигулевско-Пугачевского свода. На первом этапе был проведен анализ оценки информативности отдельных морфологических характеристик изучаемых локальных поднятий и их комбинаций в задаче распознавания продуктивных и непродуктивных объектов. В качестве меры дифференцирующих возможностей этих характеристик рассматривалась вероятность правильного распознавания продуктивных и непродуктивных объектов, достигаемая при использовании их значений в методе дискриминантного анализа.

При проведении статистического анализа использовались следующие морфологические характеристики локальных поднятий: мощность осадочного чехла; площади структуры по фундаменту, девону, бобриковскому горизонту, башкирскому ярусу, амплитуда по этим опорным поверхностям, площадь структуры по космическим данным и амплитуда поднятий в рельефе. По результатам анализа наиболее информативной характеристикой разграничения продуктивных и непродуктивных структур является значение площади локальной структуры по башкирскому ярусу. Вероятность правильного распознавания по этой характеристике составила 84,6% (см. таблицу).

При исследовании взаимосвязей значений геолого-геофизических и аэрокосмических признаков, свойственных продуктивным и непродуктивным структурам,

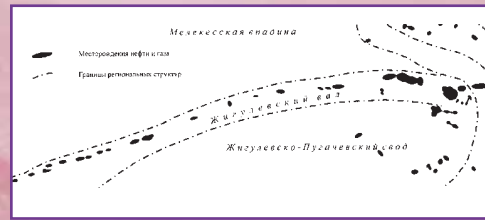


Рис. 6.

Схема расположения структурных ловушек нефти и газа северной части Жигулевско-Пугачевского свода, изученных космическими методами

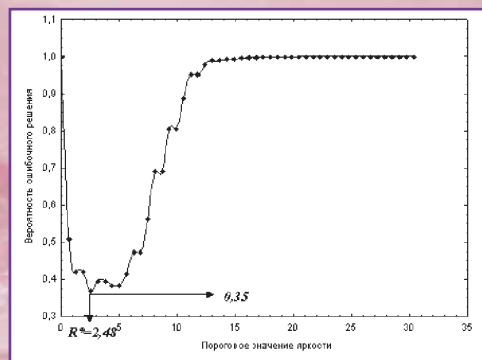


Рис. 7.

График спектральных яркостей для оценки исследуемых объектов

возникают различные по сложности ситуации:

- имеется информация об эталонных объектах на участках, которые могут рассматриваться в качестве надежных аналогов изучаемых участков;
- эталонные объекты не обнаруживают достаточного геологического подобия с прогнозируемыми или выявленными структурами.

В первом случае геологические и аэрокосмические характеристики эталонных объектов объединяются в обучающую выборку, непосредственно используемую для формализации решающего правила в процедуре распознавания. Подобная ситуация свойственна Жигулевскому валу (рис. 6), где анализировалось большое количество продуктивных и непродуктивных структур, что позволило выявить некоторые статистические закономерности, используемые для оценки структур, представляющих интерес для разбуривания.

Анализ распределения значений яркостей в среднем ИК-диапазоне, полученных с КА Landsat-7, свидетельствует о возможности разделения продуктивных и непродуктивных структур по спектральному признаку. На рис. 7 приведена зависимость, отражающая вероятность ошибочной классификации эталонных объектов только на основе значений яркостей. Отсюда видно, что при оптимальном пороговом значении яркости, вероятность правильной классификации эталонных продуктивных и непродуктивных объектов по спектральному признаку достигает величины $P = 0,65$. Следует заметить, что комплексное использование спектральных характеристик, выявляемых на основе обработки результатов космических съемок, с морфологическими характеристиками увеличивает вероятность правильной классификации эталонных продуктивных и непродуктивных структур до величины $P = 0,88$.

Более сложная ситуация возникает в слабоизученном регионе, например, в Восточной Сибири, где отсутствуют эталонные объекты.

Проведенные исследования в различных регионах позволили выявить важную закономерность – среднее значение спектральной яркости нефтегазоносных структур выше, чем среднее значение пустых структур. Эта тенденция в разной степени проявляется для всех каналов и разных периодов времени, что позволяет использовать метод кластерного анализа.

Так как при решении задачи оценки перспектив нефтегазоносности структур приходится сталкиваться с большим количеством неопределенностей, в подобных условиях целесообразно использовать многовариантный подход, когда решение формулируется на основе анализа большого количества критериальных функций, полученных различными методами. Такой подход позволяет совместить в рамках единого алгоритма как эвристические методы распознавания, так и методы, использующие принцип обучения.

Полученные результаты показывают, что предлагаемая методика позволяет разделять перспективные и неперспективные ловушки углеводородов и дает возможность использовать его на практике для оценки нефтегазоносности ловушек выявленных или подготовленных к глубокому бурению.

Список литературы

1. Агалаков С.Е., Бакуев О.В. Новые объекты поисков углеводородов в надсеноманских отложениях Западной Сибири // Геология нефти и газа. – 1992. – № 11.
2. Березкин В.М., Киричек М.А., Кукарев А.А. Применение геофизических методов разведки для прямых поисков месторождений нефти и газа. – М.: Недра, 1978.
3. Бродов Л.Ю., Гогоненков Г.Н., Тальвирский Д.Б. и др. Эффективность сейсморазведки при прямых поисках залежей нефти и газа // Совершенствование методов подготовки площадей для поисков нефти и газа. – М.: ВНИГНИ, 1979.
4. Кукура В.Д. Геоэлектрические факторы в процессах формирования нефтегазоносности. – Киев, 2003.
5. Прямые поиски месторождений нефти и газа геофизическими методами // Реферативный сборник «Региональная, разведочная и промысловая геофизика». – М.: ВИЭМС, 1971. – № 22.
6. Суворов В.В. О природе магнитных аномалий над нефтегазоносными структурами // Геофизические методы поисков и разведки месторождений нефти и газа. – Пермь, 1989.
7. Киричек М.А., Заранова Н.Г., Киршин А.В., и др. О возможности поисков газонефтеперспективных зон в юрских подсолевых карбонатных отложениях Западного Узбекистана зондированием становления поля // Региональная, разведочная и промысловая геофизика. – М.: ВИЭМС, 1974. – Вып. 5.
8. Пиковский Ю.Н. Трансформация техногенных потоков нефти в почвенных экосистемах // В сборнике «Восстановление нефтегазоносных почвенных экосистем». – М.: Наука, 1988.
9. Исмаилов Н.М. Микробиология и ферментативная активность нефтезагрязненных почв // В сборнике «Восстановление нефтегазоносных почвенных экосистем». – М.: Наука, 1988.
10. Колмогорова Л.Г. Разработка фитогеохимических показателей нефтегазоносности. – М.: ВНИИЯГ, 1988.
11. Куваев В.Б., Щебенко А.М. Растительный покров у газовых скважин на западном побережье Ямала (окрестности поселка Харасавей) // В сборнике «Вопросы охраны редких видов растений и фитоценозов». – М.: Наука, 1987.

М.К. Шуваева (ОАО «ЛУКОЙЛ»)

Окончила Московский институт нефтехимической и газовой промышленности им. И.М. Губкина. В настоящее время – главный специалист ОАО «ЛУКОЙЛ». Кандидат геолого-минералогических наук.

В.Н. Евдокименков (МАИ)

В 1982 г. окончил Московский авиационный институт (МАИ). В настоящее время – профессор кафедры «Информационно-управляющие комплексы» МАИ. Доктор технических наук.

В.В. Малышев (МАИ)

В 1960 г. окончил Московский авиационный институт (МАИ). В настоящее время – заведующий кафедрой «Системный анализ и управление» МАИ. Доктор технических наук.

Результаты апробирования методики прогноза нефтегазоносности структурных ловушек по космическим данным (на примере Печоро-Кожвинского мегавала Тимано-Печорской провинции)

Многолетний опыт работ по использованию геофизических и аэрокосмических методов по оценке нефтегазоносности выявленных и подготовленных к поисковому бурению ловушек углеводородов до настоящего времени не давал однозначных результатов.

Появление принципиально новых данных ДЗЗ из космоса позволило получить более определенные результаты решения данной проблемы. Для этого использовались как данные космических съемок в различных диапазонах электромагнитного излучения (видимого, инфракрасного и др.), так и методы математико-статистической обработки получаемой информации. При этом соблюдались условия апробирования метода в пределах относительно близких геолого-ландшафтных условий (обычно структур второго порядка) и проверки его эффективности при разделении продуктивных и непродуктивных поднятий (к последним отнесены

разбуренные локальные поднятия, по которым не получены промышленные притоки нефти или газа). Анализ спектральных характеристик, получаемых по семи каналам со спутника Landsat-7, проводился в площадном (попискельном) и профильном вариантах, и заключался в определении корреляции со структурными показателями ловушек, а также вариаций отражающих характеристик во времени.

С целью практической проверки методики была выбрана региональная структура – Печоро-Кожвинский мегавал, характеризующийся, в основном, однотипными структурными ловушками нефти и газа, относительной выдержанностью ландшафта и разреза, различными нефтяными и газовыми месторождениями и некоторой представительностью использованной выборки анализируемых объектов. В качестве объектов исследования были взяты 42 локальные структуры, выявленные по данным сейсморазведочных работ, из них 14 месторождений

нефти и газа, 10 пустых структур и 18 не включенных в поисковое бурение. Первые и вторые использовались, соответственно, в качестве «эталонов» и «антиэталонов», на основании которых оценивалась перспективность структур, не введенных в бурение и оставленных для тестирования. Их спектральные и морфологические характеристики анализировались с помощью методов математической статистики.

С целью выявления закономерностей, которые могут быть использованы в качестве поисковых признаков в процессе интерпретации получаемой информации для оценки перспектив нефтегазоносности локальных поднятий, проведен статистический анализ корреляционных связей между значениями спектральных характеристик, соответствующих различным периодам космических съемок. В качестве исходных данных привлекались средние по площади значения спектральных характеристик по классам продуктивных и непродуктивных структур. Поскольку количество эталонных объектов, на основе которых рассчитывались коэффициенты корреляции ограничено, дополнительно была проведена проверка статистической значимости рассчитанных выборочных значений корреляции.

В таблице приведены значения коэффициентов корреляции в различные периоды времени для эталонных продуктивных и непродуктивных структур. То обстоятельство, что выборочный коэффициент корреляции статистически достоверно отличается от нуля, позволяет утверждать как объективный факт наличие взаимосвязи между значениями спектральных характеристик, несмотря на то, что оценка проводилась на ограниченной выборке эталонных объектов.

Из приведенной таблицы видно, что для нефтегазоносных структур обнаруживается устойчивая корреляционная связь между данными, полученными в период май – сентябрь во всех спектральных диапазонах. При этом для пустых структур такая связь проявляется менее очевидно, и присутствует, в основном, между данными, полученными в июне и сентябре. Можно предположить, что наличие залежей углеводородов является основным (эндогенным) фактором, который определяющим образом влияет на значения спектральных характеристик и

Значения коэффициентов корреляции между разновременными спектральными характеристиками продуктивных и непродуктивных (указаны в скобках) ловушек нефти и газа для различных каналов съемки

Спектральный диапазон 0,45-0,52 мкм			
	Май	Июнь	Сентябрь
Май	1,00	0,93 (-0,09)	0,94 (-0,09)
Июнь	0,93 (-0,09)	1,00	0,98
Сентябрь	0,94 (-0,09)	0,98 (1,00)	1,00
Спектральный диапазон 0,52-0,60 мкм			
	Май	Июнь	Сентябрь
Май	1,00	0,77 (-0,20)	0,84 (-0,20)
Июнь	0,77 (-0,20)	1,00	0,96 (0,99)
Сентябрь	0,84 (-0,20)	0,96 (0,99)	1,00
Спектральный диапазон 0,63-0,69 мкм			
	Май	Июнь	Сентябрь
Май	1,00	0,68 (-0,36)	0,80 (-0,29)
Июнь	0,68 (-0,36)	1,00	0,94 (0,98)
Сентябрь	0,80 (-0,29)	0,94 (0,98)	1,00
Спектральный диапазон 0,76-0,90 мкм			
	Май	Июнь	Сентябрь
Май	1,00	0,87 (-0,26)	0,85 (-0,36)
Июнь	0,87 (-0,26)	1,00	0,99 (0,97)
Сентябрь	0,85 (-0,36)	0,99 (0,97)	1,00
Спектральный диапазон 1,55-1,75 мкм			
	Май	Июнь	Сентябрь
Май	1,00	0,84 (-0,33)	0,31 (-0,28)
Июнь	0,84 (-0,33)	1,00	0,71 (0,98)
Сентябрь	0,31 (-0,28)	0,71 (0,98)	1,00
Спектральный диапазон 2,08-2,35 мкм			
	Май	Июнь	Сентябрь
Май	1,00	0,97 (-0,15)	0,95 (-0,30)
Июнь	0,97 (-0,15)	1,00	0,98 (0,97)
Сентябрь	0,95 (-0,30)	0,98 (0,97)	1,00
Спектральный диапазон 10,4-12,05 мкм			
	Май	Июнь	Сентябрь
Май	1,00	0,72 (-0,45)	0,64 (-0,49)
Июнь	0,72 (-0,45)	1,00	0,74 (0,97)
Сентябрь	0,64 (-0,49)	0,74 (0,97)	1,00

Примечание. Жирным шрифтом выделены значения тех коэффициентов корреляции, которые статистически достоверно (с вероятностью не менее, чем 0,95) отличны от нуля.

на фоне которого сезонные колебания прочих (экзогенных) факторов не оказывают существенного влияния на эти значения. Именно поэтому для продуктивных структур сохраняется устойчивая, почти линейная связь между значениями спектральных яркостей, соответствующих различным периодам съемки. Для непродуктивных структур влияние подобного определяющего фактора не проявляется и, следовательно, значения яркостей формируются под влиянием большого числа экзогенных факторов, механизм воздействия которых абсолютно случаен и подвержен сезонным колебаниям.

Выявленный феномен можно использовать как дополнительный поисковый признак, особенно в ситуациях, когда отсутствуют данные по эталонным структурам, которые можно было бы привлечь для процесса «обучения» прогноза нефтегазоносности. В подобной ситуации достаточно использовать серию разновременных снимков по прогнозируемым структурам. Далее для каждой из них проводится оценка корреляций между значениями спектральных показателей, соответствующих различным перио-

дам съемки. Те структуры, для которых будет выявлена устойчивая, статистически достоверная корреляция, можно рассматривать как потенциально продуктивные.

Важным этапом процесса интерпретации информации, получаемой по космическим снимкам, является анализ наиболее информативных (в смысле дифференциации продуктивных и непродуктивных объектов) признаков и присущих им статистических закономерностей. Результатами подобного анализа должен стать набор признаков распознавания, обладающих наиболее выраженными дифференцирующими способностями с точки зрения оценки перспектив нефтегазоносности изучаемых поднятий. По нескольким региональным структурам Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции (Печоро-Кожвинскому мегавалу, Косью-Роговской и Хорейверской впадин) проанализированы спектральные характеристики структурных ловушек в видимом и инфракрасном диапазонах. Полученные результаты показывают, что спектральные характеристики продуктивных поднятий выделяются превышением спектральных яркостей относительно непродуктивных структур практически во всех спектральных диапазонах (рис. 1). Применение метода кластеризации эталонных объектов по значениям их спектральных характеристик показало, что в 69% случаев наблюдается их правильная классификация.

Выявленные общие закономерности, подтвердившие возможность разделения структурных ловушек, на два класса: продуктивные и непродуктивные структуры и позволили перейти к их анализу с помощью данных, полученных в инфракрасном диапазоне спектра. При этом использовались средние площадные и профильные характеристики (рис. 2). Причем, в последнем случае на графике выводились не фактические значения спектральных характеристик, а их контрастность на уровне фона, что позволяет оценить истинную величину аномалии, соответствующую различным структурным ловушкам двух классов.

Анализ данных позволил сделать следующие выводы:

- во-первых, регистрируемые значения в трех зонах (ближней, средней, дальней) инфракрасного диапазона четко вписываются в границы поднятий;

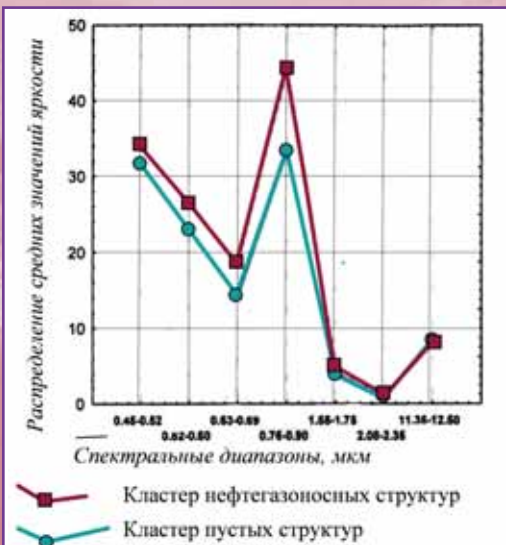


Рис. 1. Распределение средних значений яркости по кластерам прогнозируемых структур (без коррекции атмосферных искажений и по вегетационному индексу)

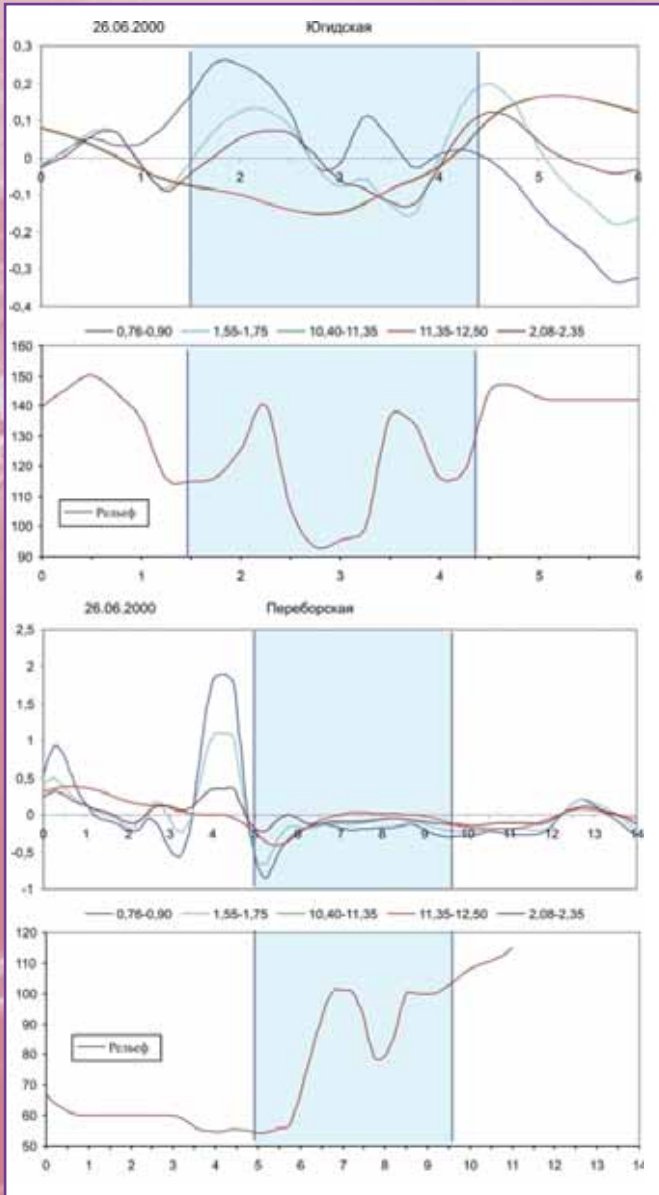


Рис. 2.
 Графики значений контрастности спектральных показателей, полученных в инфракрасном диапазоне, для продуктивных и непродуктивных ловушек нефти и газа

- во-вторых, эти значения выделяются на уровне фона;
- в-третьих, при отсутствии аномальной ландшафтной ситуации (прежде всего заболоченности) продуктивные поднятия выделяются повышенными относительно фона значениями спектральных характеристик.

Дополнительно проводился анализ структурной информации с целью выявления закономерностей, которые могут быть связаны с региональным положением структурной ловушки нефти и газа.

Для выявления закономерностей, которые могут быть связаны с региональным положением структурной ловушки и ее морфологическими характеристиками, использовался другой метод обработки космической информации. Он основывался на оценке амплитуды локальных поднятий по основным отражающим горизонтам (разновозрастной поверхности ордовика-нижнего девона, подошве фоменского яруса девона, подошве визейского яруса карбона и кровле карбонатов карбона-нижней перми). Для месторождений характерна связь с формированием ловушек погребенного типа, расформированных уже по кровле карбонатов карбона-нижней перми.

Установленный комплекс поисковых и косвенных признаков, позволяющих разделять продуктивные и непродуктивные ловушки с вероятностью 0,75-0,80 (при совместном использовании спектральных и морфологических характеристик), в настоящее время делает возможным разработку методики оценки перспективности структурных ловушек нефти и газа перед включением в глубокое бурение.

В.Б. Серебряков (Компания «Совзонд»)

В 1985 г. окончил Московский авиационный институт по специальности «инженер-механик». В настоящее время – руководитель направления ГИС компании «Совзонд».

Д.М. Трофимов (Компания «Совзонд»)

В 1958 г. окончил Московский геологоразведочный институт. В настоящее время – специалист компании «Совзонд». Доктор геолого-минералогических наук.

В.Е. Тавризов (ВНИГНИ)

В 1971 г. окончил Московский институт нефтехимической и газовой промышленности им. И.М. Губкина. В настоящее время – ведущий научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского геологоразведочного нефтяного института (ВНИГНИ).

Прогнозирование перспективных участков для нефтегазопроисловых работ в районе магистрального нефтепровода ВСТО на основе результатов обработки космических снимков

Освоение нефтегазовых месторождений в районе прокладки магистрального нефтепровода «Восточная Сибирь – Тихий Океан» (ВСТО) является актуальной задачей для всего топливно-энергетического комплекса страны. Нефтепровод проложен по территории трех субъектов РФ: Иркутская область, Красноярский край и Республика Саха (Якутия) и вместе с 200-километровой сопредельной зоной в последнее время образует территорию интенсивного предоставления лицензированного права пользования недрами на добычу нефти и газа (на начало 2009 г. выдано более 150 лицензий). Известные месторождения нефти и газа, а также открытые в последнее время – Аянское, Чаяндинское и другие по своим запасам не создают достаточной сырьевой базы для устойчивой добычи нефти и эффективной транспортной работы нефтепровода на ближайшие 30 лет.

С целью активизации поисковых геологоразведочных работ нефти и газа, запланированных ранее, вдоль трассы построенного ВСТО уже выделены и готовятся к выдаче новые лицензионные участки (рис. 1).

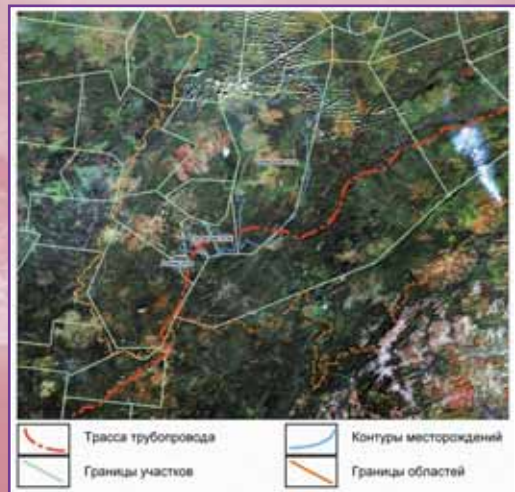


Рис. 1.

Космический снимок с расположением трассы ВСТО, контуров известных месторождений и предполагаемых лицензионных участков вблизи Аянского и Чаяндинского месторождений

Однако резкое падение цен на нефть и экономический кризис, а также высокие расценки на проведение сейсморазведочных работ и бурение скважин, привело к свертыванию многих проектов геологоразведки на территориях лицензионных участков даже у ведущих компаний России.

В связи с этим активное использование космических методов при прогнозе нефтегазоносности перспективных территорий указанных субъектов РФ при их малозатратности (стоимость изучения 1 км² составляет 3–7 тыс.руб., в зависимости от цены используемых снимков), оперативности, высоком пространственном разрешении и непрерывности поля данных обеспечивает построение высокоточных цифровых моделей местности. Эта информация является достаточной для практических целей и вероятностных оценок прогнозирования ловушек углеводородов и определения перспектив их нефтегазоносности.

По результатам космоструктурного дешифрирования в кратчайшие сроки представляется возможным выявить в районе ВСТО наиболее перспективные участки, оценить их локализованные ресурсы углеводородов и сосредоточить на них необходимые объемы геологоразведочных работ. В первую очередь такая последовательность исследований в пределах лицензионных участков, предоставленных для геологического изучения недр, в условиях их «нулевой» или слабой изученности работами прошлых лет, приведет к наиболее осознанному и рациональному размещению сети наземных региональных, рекогносцировочных и поисковых профилей при проведении сейсморазведочных работ.

В свою очередь, такой подход позволит сократить и общее число погонных километров сейсмопрофилей, а в ряде случаев и число неудачных (непродуктивных) скважин.

К другим аспектам использования высокоточных космических снимков и современных геоинформационных систем можно отнести и создание базы данных для проведения наземных геологоразведочных работ. В частности, создание цифровой модели рельефа (ЦМР) для привязки на местности (точной локализации) участков, выделяемых по данным структурного дешифрирования как перспективных на обнаружение месторождений

нефти и газа, для последующего обоснования и рационального размещения на местности проектируемых сейсмопрофилей. Не менее важной является и задача выбора наиболее подходящей площадки для размещения буровых установок с учетом наличия водоемов для забора воды на технические нужды, прокладки в условиях севера кратчайших по протяженности временных дорог («зимников») и т. п. Кроме того, в пределах открытых месторождений углеводородов, подготовленных к промышленному освоению, наименее затратным способом может быть выполнен первый этап размещения инфраструктуры для обустройства месторождения с учетом экологического состояния лицензионного участка и его последующего экологического мониторинга.

Для решения вышеупомянутых задач используются космические снимки с пространственным разрешением от 30 до нескольких метров со спутников Landsat-7, Terra (Aster), ALOS, QuickBird и др., решающие определенные задачи на разных этапах геологоразведочных работ. С целью обеспечения необходимой информативности эти снимки подвергаются специализированной тематической обработке, включающей следующие операции:

- предварительную обработку космической информации;
- тематический анализ, осуществляемый по двум направлениям: визуальное дешифрирование или распознавание геологических объектов;
- комплексную обработку и статистический анализ космической, геологической, геоморфологической, геофизической и геохимической информации;
- оценку перспектив нефтегазоносности выделенных участков на основе экспертных аналитических оценок, распознавания образов месторождений нефти и газа и сопоставления с эталонами.

Подробное описание каждого из этих этапов приведено в статье В.Б. Серебрякова «Применение космических данных в комплексе работ при поиске нефти и газа» (см. с.35).

Опыт и результаты работ в зоне нефтепровода показывают, что используемые космические снимки являются эффективным средством для ре-

шения структурных задач регионального и поискового этапов: тектонического районирования, прогнозирования и оценки ловушек углеводородов, а также выявления зоны ареалов трещиноватости в развитых здесь карбонатных резервуарах.

Рассмотрим результаты проведенных дистанционных исследований на примере ряда освоенных лицензионных участков (начиная с 2005 г.) в районе открытых месторождений: Алинского, Талоканского и др. (рис. 2).

Было установлено, что структуроформирующими здесь являются разломы двух направлений (северо-восточного основного и северо-западного подчиненного), в которые вписываются контуры ловушек, имеющих четко выраженное блоковое строение. Они рассечены разрывными нарушениями преимущественно северо-восточной ориентировки и сопровождаются зонами трещиноватости. Спецификой этих ловушек является их воздымание на рельефообразующем этапе вплоть до настоящего времени, что может свидетельствовать о переформировании ранее образованных залежей или о молодом возрасте их формирования.

По итогам проведенных работ установлено, что ловушками открытых месторождений являются блоковые поднятия (рис. 2), а их резервуары контролируются разрывными нарушениями, сопровождаемыми зонами трещиноватости, для которых характерны повышенные значения пористости и проницаемости и, следовательно, более высокие дебиты нефти и газа в пробуренных скважинах.

Полученные результаты свидетельствуют, что отмечаемая сходимости космических и геолого-геофизических данных по вышеупомянутым месторождениям указывает на практическую целесообразность применения дистанционных методов при одновременном решении задач регионального и поискового этапов.

Рассмотрим результаты предлицензионной оценки участков, расположенных к югу от нефтепровода, которые планируются к распределению, начиная с 2009 г.

Также как и по району Алинского и Талоканского месторождений, здесь ведущими и структуроформирующими являются региональные разломы северо-восточного простирания (рис. 3) с подчи-

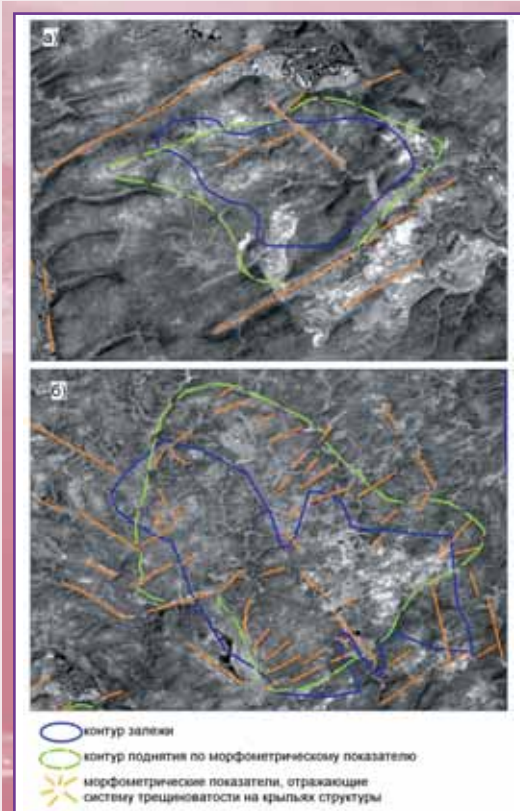


Рис. 2.

Схема отражения эталонных структур через морфографический и морфометрический признаки на космических снимках со спутника Landsat-7:

- а) Алинское месторождение;
- б) Талоканское месторождение

ненными зональными нарушениями северо-западной ориентировки. Первые – характеризуются сбросо-сдвиговым характером, изменявшимся во времени. Они и контролируют большую часть структурных ловушек, являющихся тектонически экранированными. Им также свойственно активное поднятие на рельефообразующем этапе.

По результатам специализированной обработки и структурного анализа космических снимков к югу от нефтепровода спрогнозировано четыре локальных объекта, уверенно вписывающихся в вы-



Рис. 3.
Результаты структурного анализа космических снимков предполагаемых лицензионных участков

деляемые зоны нефтегазоаккумуляции. Другими словами, была выполнена предварительная оценка космической и геолого-геофизической информации лицензионного участка перед официальным предоставлением права пользования по нему конкретному недропользователю.

При этом вся информация может быть предоставлена в виде базы данных (рис. 4) с выделением перспективных для разработки нефти и газа локальных участков, оценкой их ресурсов, ранжированием по степени достоверности очередности геологоразведочного изучения и указанием рационального минимального обоснования объемов и пространственного расположения проектируемых сейсмопрофилей.

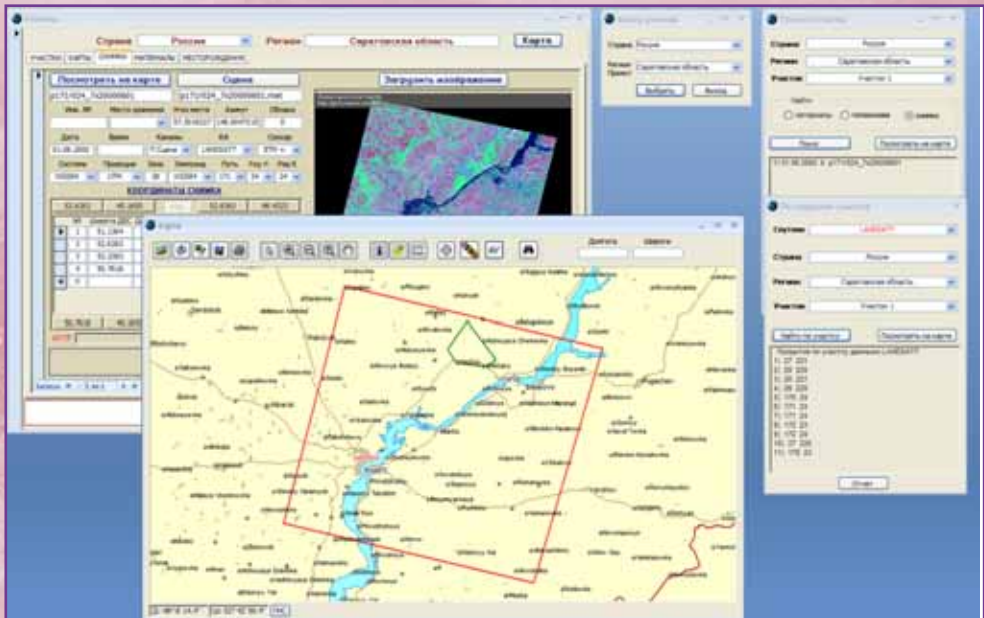


Рис. 4.
Фрагмент модели базы данных лицензионного участка

Н.А. Малышев (ОАО «НК «Роснефть»)

В 1975 г. окончил геологический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова. В настоящее время – главный геолог корпоративного научно-технического центра ОАО «НК «Роснефть». Доктор геолого-минералогических наук.

В.Е. Тавризов (ВНИГНИ)

В 1971 г. окончил Московский институт нефтехимической и газовой промышленности им. И.М. Губкина. В настоящее время – ведущий научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского геологоразведочного нефтяного института (ВНИГНИ).

Д.М. Трофимов (Компания «Совзонд»)

В 1958 г. окончил Московский геологоразведочный институт. В настоящее время – специалист компании «Совзонд». Доктор геолого-минералогических наук.

В.Н. Евдокименков (МАИ)

В 1982 г. окончил Московский авиационный институт (МАИ). В настоящее время – профессор кафедры «Информационно-управляющие комплексы» МАИ. Доктор технических наук.

Прогнозирование зон трещиноватости по космическим, сейсморазведочным и промысловым данным (на примере резервуаров рифея Камовского свода)

Проблема карбонатных резервуаров и их активизация для разработки нефтегазовых месторождений в рифейских отложениях Восточной Сибири является актуальной по нескольким причинам:

- имеется ограниченное распространение простых типов ловушек нефти и газа, в частности, структурных;
- значительная часть ловушек является тектонически экранированными, блоковыми или комбинированными;
- уровень подготовки подобных ловушек сейсморазведкой к поисковому бурению, особенно при развитии траппов, является недостаточно высоким.

Эти обстоятельства в условиях монополизма сейсморазведки диктуют необходимость привлечения дополнительных или новых методов, способствующих более полному решению данной задачи.

Проблема трещиноватости карбонатных коллекторов напрямую связана с формированием разрывных нарушений. Опыт работы на многих месторож-

дениях нефти и газа, как в карбонатных, так и терригенных резервуарах показывает, что прогнозируемая по космическим данным система нарушений в значительной части находит отражение на материалах сейсморазведочных работ, а малоамплитудные и новообразованные разрывы – в существенно меньшей степени.

Геологически обоснованным является факт, что разломы и более мелкие дизъюнктивные дислокации сопровождаются широкими зонами трещиноватости от десятков метров до нескольких километров, образующими взаимосвязанную систему с пликативными деформациями чехла. Именно через разрывные нарушения в ловушки поступают мигрирующие углеводороды, в дальнейшем ее заполняющие. Их перераспределение в многопластовые залежи происходит также через сформированные к этому периоду времени разрывы. В связи с хорошими фильтрационно-емкостными свойствами этих зон, они и обеспечивают наиболее устойчивые де-



Рис. 1.
Схема разрывных нарушений, выявленных по космическим и сейсморазведочным данным

биты, что с высокой степенью достоверности показано в данной статье.

В частном случае фильтрационно-емкостные свойства карбонатных резервуаров определяются трещиноватостью, которая не всегда может быть установлена сейсморазведкой, но с высокой эффективностью регистрируется дистанционными методами. Подтверждение этому получено на примере терригенных резервуаров в Западной Сибири, на газоконденсатных и нефтяных месторождениях: Уренгойском, Ямбургском, Ловинском и др.

Рассмотрим Куюмбинское и Юрубченское месторождения, находящиеся на разведочном этапе работ.

При использовании космических снимков со спутника Landsat-7 была поставлена задача прогнозирования разрывных нарушений и зон трещиноватости в пределах площади месторождений (рис. 1) и по их периферии с целью проверки возможности выявления улучшенных коллекторских свойств рифейских карбонатных резервуаров через сопоставление со скважинами с промышленными дебитами нефти и газа, с нефтегазопоявлениями и притоками пластовых вод (рис. 2 и 3).

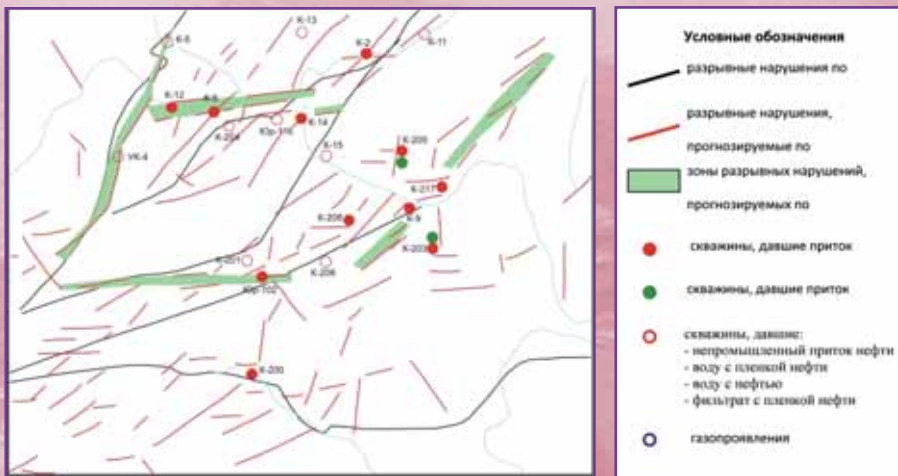


Рис. 2.
Схема разрывных нарушений и зон трещиноватости Куюмбинского месторождения

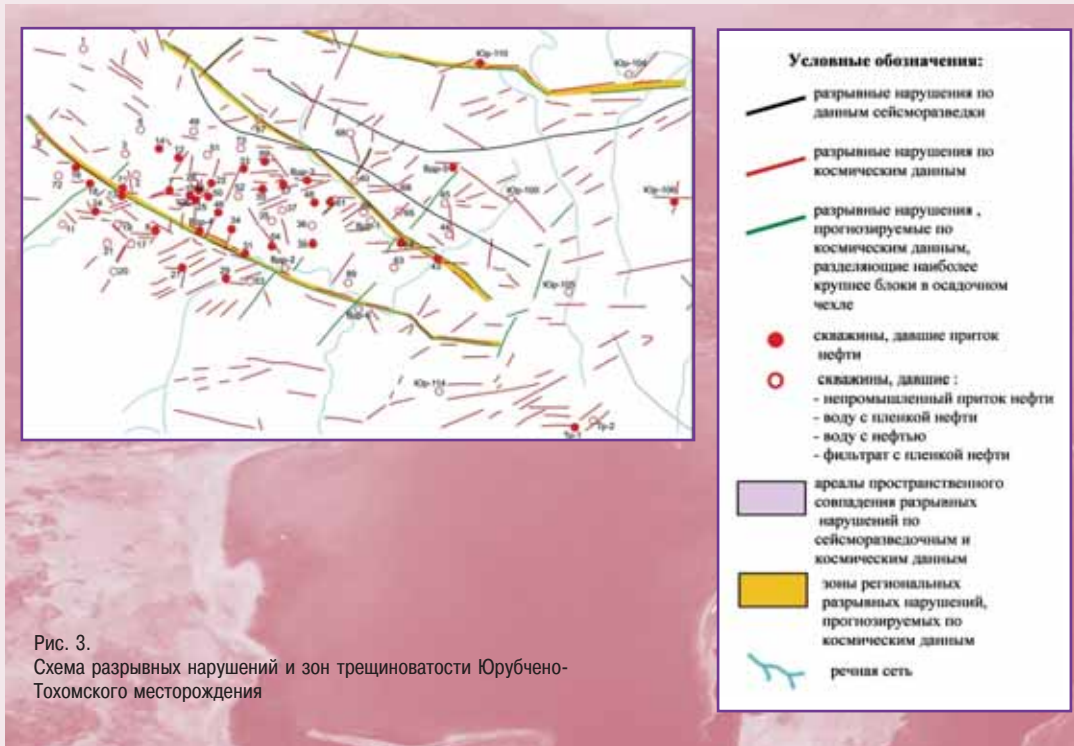


Рис. 3.
Схема разрывных нарушений и зон трещиноватости Юрубчено-Тохомского месторождения

С целью оценки достоверности прогноза были рассмотрены разрывные нарушения, выделенные сейсморазведкой и спрогнозированные космическими методами. Их сопоставление показало, что последние являются более информативными и выделяют разрывы и зон трещиноватости больше первых. От общей протяженности разрывов, выделенных сейсморазведкой, порядка 70% находит отражение на космических снимках. Из этого показателя можно сделать вывод, что информативность космических методов при решении данной задачи не только не уступает сейсморазведке, но и превосходит ее.

Следующим этапом работ было сопоставление пространственного положения продуктивных и непродуктивных скважин с прогнозируемыми разрывами и зонами трещиноватости. Визуальная оценка подтвердила их достаточно близкое совпадение, поэтому была проведена количественная оценка этого совпадения с помощью методов математической

статистики. Результаты этой оценки показали, что из общего количества скважин, пробуренных на данной территории, количество продуктивных скважин составляет 48%, а непродуктивных – 52%. На Юрубченском месторождении на участках с разрывами и зонами трещиноватости из общего количества пробуренных скважин продуктивные составили 22 скважины, а непродуктивные – 4. Таким образом, вероятность прогноза, что скважина будет продуктивной в определенной системе разрывных нарушений по Юрубченскому месторождению составляет 82%, а по Куюмбинскому месторождению – 94%.

Проведенный традиционным для математической статистики методом анализ значимости полученных частот показал, что наличие спрогнозированных по космическим данным разрывов и зон трещиноватости статистически достоверно (с доверительной вероятностью 0,999) ассоциируется с продуктивными скважинами, придавая этому выводу силу объективного факта.

В.Г. Чигир («Газпромэнергодиагностика»)

В 1961 г. окончил МГУ им М.В. Ломоносова. С 2004 г. работает в ООО «Газпромэнергодиагностика», в настоящее время – главный специалист отдела «Диагностика газопромысловых объектов».

С.А. Егурцов («Газпромэнергодиагностика»)

В 1980 г. окончил РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. В настоящее время – первый заместитель генерального директора ООО «Газпромэнергодиагностика»

М.В. Фокеева («Газпромэнергодиагностика»)

В 2005 г. окончила МГУ им М.В. Ломоносова. С 2004 г. работает в ООО «Газпромэнергодиагностика», в настоящее время – инженер 3-й категории отдела «Диагностика газопромысловых объектов».

В.А. Горбатов («Газпромэнергодиагностика»)

В 1959 г. окончил МИИГАиК. С 2007 г. работает в ООО «Газпромэнергодиагностика», в настоящее время – инженер 2-й категории отдела «Диагностика газопромысловых объектов».

Применение материалов дистанционных съемок для диагностики технического состояния трубопроводов в северных районах

Изучение многолетнего опыта эксплуатации трубопроводов в северных районах позволяет утверждать, что многие повреждения и отказы линейной части трубопроводного транспорта вызваны негативным взаимодействием (механическим или тепловым) технических объектов и природных комплексов при формировании трубопроводных природно-технических систем в процессе строительства и эксплуатации трубопроводов. Неблагоприятные взаимодействия вызывают возникновение напряженно-деформированного состояния в отдельных сечениях трубопровода и образование локальных дефектов и потенциально опасных участков на нем.

Аэрокосмические методы широко используются при изучении Земли, прежде всего ее поверхности. Перспективность использования материалов дистанционных съемок в целях повышения надежности трубопроводных природно-технических систем бесспорна. В практике комплексной диагностики состояния таких систем в северных районах имеется немало примеров плодотворного сочетания аэрокосмической и наземной информации [1-3].

Среди основных направлений использования материалов плановых дистанционных аэро- и космических съемок при комплексных диагностических обследованиях состояния трубопроводов в северных районах можно отметить следующие:

- ландшафтное (геоэкологическое) дешифрирование материалов дистанционных съемок и ландшафтное (техно-геоэкологическое) картографирование трасс трубопроводов;
- разработка легенд и составление на ландшафтной основе схематических карт трубопроводных природно-технических систем с пикетной привязкой трасс трубопроводов к выделенным на картах (схемах) ландшафтным (техно-геоэкологическим) контурам;
- выявление деструктивных экзогенных процессов, в том числе и техногенного генезиса (переформирование русел рек и озерных котловин, овражная эрозия, термокарст, солифлюкция, сплывы, речные наледи и др.);
- оценка технического состояния обвалования трубопроводов с пикетной привязкой к местности в

- связи с ландшафтными экзогенными условиями;
- определение изменений планового положения трубопровода, длины деформированных участков и величины отклонения трубопровода от его проектного положения;
 - определение изменений вертикального положения трубопроводов по косвенным признакам (наличие термокарстового озера, состояние пригрузов, всплытие трубопровода и т. д.);
 - обнаружение всплывших и размытых участков трубопроводов на заторфованных междуречьях, в руслах и на поймах рек;
 - выявление затопления и подтопления трасс трубопроводов в местах подпруживания поверхностного и внутригрунтового стока;
 - оценка территории и трасс трубопроводов, установление соответствия (несоответствия) фактического положения трубопровода проектной и исполнительной документации;
 - определение и оценка оптимальности компоновки линейных сооружений в коридоре коммуникаций в связи с ландшафтными особенностями территории;
 - оценка соблюдения регламента безопасного расстояния между смежными (соседними) нитками нефтегазотранспортных систем;
 - оценка соблюдения регламента безопасного расстояния между автодорогами и трубопроводами нефтегазотранспортных систем;
 - оценка соблюдения регламентов пересечения трубопроводов с авто- и железными дорогами, реками и другими трубопроводами;
 - выявление незаконных переездов через трубопроводы и несанкционированных врезок;
 - оценка инженерной (конструктивной) компенсации продольных и горизонтальных перемещений трубопровода в процессе эксплуатации;
 - оценка качества инженерного дренажа (обустройство водопропусков) на заболоченных участках трасс; и т.д.

Факторы природной среды, влияющие на техническое состояние трубопроводов, по существу, являются природными процессами, одни из которых имеют повсеместное распространение, а другие – строго локализованы в соответствии с ландшафтными особенностями прилегающей территории.

В зависимости от ландшафта виды воздействия природных процессов имеют большое разнообразие и проявляются через:

- заболачивание (заторфовывание) и обводнение территории;
- эрозийные и абразионные процессы;
- размывающую деятельность талых и паводковых вод;
- пучение и просадку льдистых грунтов;
- морозобойное растрескивание грунтов;
- склоновые процессы (оползни, сльвы, солифлюкцию и др.).

Перечисленные процессы могут усугубляться вследствие их техногенной (вторичной) интенсификации на трассах трубопроводов. В особенности это касается вторичного заболачивания, образования термокарстовых просадок и усиления эрозийного размыва. При этом возможна парагенетическая связь некоторых процессов, при которой развитие одного процесса влечет за собой усиление другого. Подобное может наблюдаться, например, в долинах малых водотоков, на участках распространения сильнольдистых просадочных грунтов, примыкающих к руслу. Термокарстовая осадка этих грунтов в основании газопровода вызывает изменение его высотного положения и попадание в результате этого в сферу воздействия талых и паводковых вод, что, как правило, не предусматривается проектом.

Во всем многообразии взаимодействий, по-разному проявляющихся в зависимости от способов прокладки трубопроводов и характера отклонения от строительных норм и правил в периоды строительства и эксплуатации, природные процессы вызывают к жизни сложные механизмы повреждений и отказов трубопроводов. Изучение этих механизмов дает ключ к пониманию причин, обусловивших современное техническое состояние трубопроводов.

Комплексную диагностику технического состояния трубопроводов в северных районах по этой причине целесообразно выполнять на ландшафтной основе. При таком подходе возможно вскрытие цепочки причин и следствий отрицательного воздействия на трубопроводы окружающей природной среды и наоборот, что делает возможным правильный выбор мер по предупреждению неблагоприятного развития потенциально опасных участков в процессе эксплуатации линейных объектов трубопроводного

транспорта (повышению надежности функционирования трубопроводных систем).

Техническое состояние трубопровода представляет собой совокупность свойств, подверженных изменению в процессе строительства и эксплуатации трубопровода, характеризующихся в определенный момент времени признаками, установленными нормативно-технической документацией. Признаки технического состояния трубопровода могут иметь качественные и (или) количественные значения, постоянно изменяющиеся во времени, и в совокупности определять техническое состояние трубопровода.

Диагностический признак (параметр) – признак (параметр) объекта диагностирования, используемый в установленном порядке для определения технического состояния объекта.

Совокупность технических состояний, удовлетворяющих (не удовлетворяющих) требованиям, определяющим исправность или работоспособность трубопровода, образует соответствующие виды технического состояния трубопровода. Различают следующие виды технического состояния: исправность и неисправность, работоспособность и неработоспособность.

Дефектом является каждое отдельное несоответствие трубопровода установленным требованиям. Термин «дефект» связан с термином «неисправность», но не является его синонимом. Неисправность, как было указано выше, является определенным состоянием трубопровода. Имея дефекты, тру-

бопровод может находиться в неисправном, но работоспособном состоянии. Появление дефекта не означает наступление отказа.

Повреждение – это событие, заключающееся в нарушении исправного или неисправного работоспособного состояния трубопровода вследствие внешних воздействий, не предусмотренных или превышающих уровни, установленные нормативно-технической и (или) проектной документациями.

Отказом является событие, заключающееся в нарушении работоспособности трубопровода. Отказ может быть полным, когда в итоге трубопровод становится полностью неработоспособным, и частичным, когда неработоспособное состояние трубопровода наступает частично.

Дефекты трубопровода могут возникнуть по причине брака при выполнении строительно-монтажных работ, его повреждения на этапе строительства или эксплуатации, в результате чего трубопровод становится неисправным.

В 1994–2007 гг. в нашей работе для оценки технического состояния трубопроводов в северных районах и их ландшафтного положения использовались преимущественно черно-белые аэрофотоснимки (и простые фотосхемы на их основе), а также (эпизодически) цифровые аэроснимки, полученные неспециализированной цифровой фотокамерой. Параметры аэрофотосъемки и технические характеристики применяемого оборудования приведены в таблице.

Параметры аэрофотосъемки и технические характеристики применяемого оборудования

Аэросъемка (выборочная) (1994, 1999 и 2005 гг.)	Аэросъемка (выборочная) цифровая (2001 г.)
Аэрофотоаппарат 41/10: – фокусное расстояние объектива 100 мм; – формат кадра 18x18 см Аэрофотопленка черно-белая, изопанхром, тип 42	Фотоаппарат Nikon E 950
Средняя высота полета 1 км	Средняя высота полета 1 км
Средний масштаб первичного изображения 1:10 000	Заданное аппаратурное разрешение 1600x1200 элементов
Среднее аппаратурное разрешение: – системы объектив – пленка (по миру высокого контраста) 30-40 лин./мм; – по малоконтрастным объектам ландшафта 1-2 м	Среднее разрешение по малоконтрастным объектам ландшафта 0,5-1,0 м

Материалы аэрофотосъемки преимущественно использовались для следующих целей:

- получения информации об объектах исследования путем комплексного полевого и камерального дешифрирования состояния ландшафтов вдоль трасс трубопроводов по методу ключевых (эталонных) участков и трубопроводных трасс в целом;
- как основа для обобщения материалов наземных наблюдений и измерений объектов контактными методами с их пикетной привязкой к местности и, наоборот, местности к трубопроводам.

Информационные возможности таких аэрофотоснимков и фотосхем в целом хорошо известны. Наш многолетний опыт их использования позволил уточнить и конкретизировать их дешифровочные свойства применительно к узкоотраслевой (нефтегазовой) специализации. По результатам этого опыта можно заключить, что эти материалы позволяют решить многие вопросы комплексной диагностики технического состояния трубопроводов в северных районах, прежде всего, трубопроводов большого диаметра (1420 и 1020 мм).

В 2007-2008 гг. по договору с компанией «Совзонд» были получены материалы космических съемок со спутника QuikBird с целью их апробации для решения задач диагностики состояния трубопроводов.

Данные космической съемки содержали цифровое мультиспектральное изображение в видимом и ближнем ИК-диапазоне электромагнитного излучения, выполненное со средней высоты полета (орбиты) 450 км со средним аппаратным разрешением 2,4-2,8 м (2007 г.) и 0,6-0,7 м (2008 г.).

Для цветных синтезированных изображений (полученных в 2007 г.) была выполнена геометрическая и радиометрическая коррекция с заявленным разрешением на местности 2,01 м. Эти данные прошли полевую информационную поверку. В 2008 г. были получены космические изображения с разрешением 0,63-0,72 м. Поскольку они были получены после завершения полевого сезона, то полевой информационной поверки пока не получили.

Небольшая практика использования этих космических снимков является пока общеоценочной и предварительной.

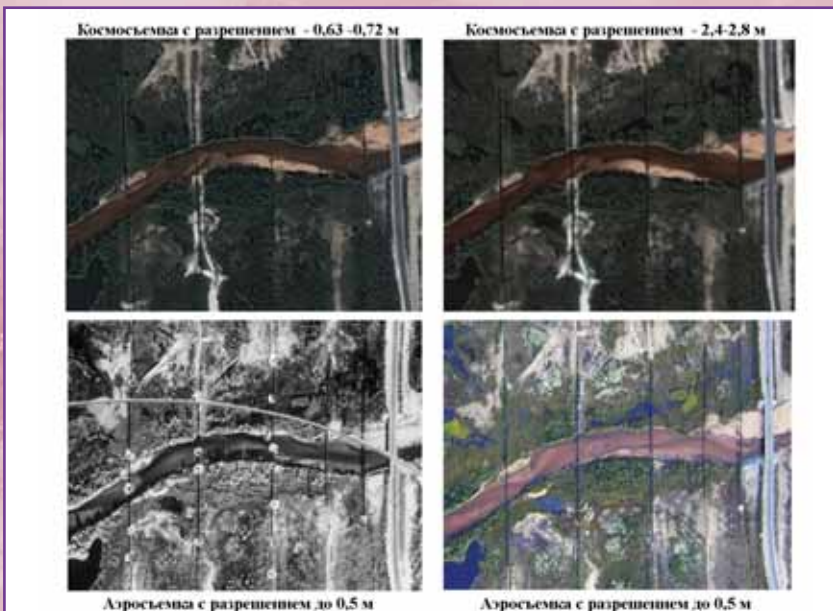


Рис. 1. Воздушный переход трубопроводов различного диаметра через реку Арка-Тонга-Лова

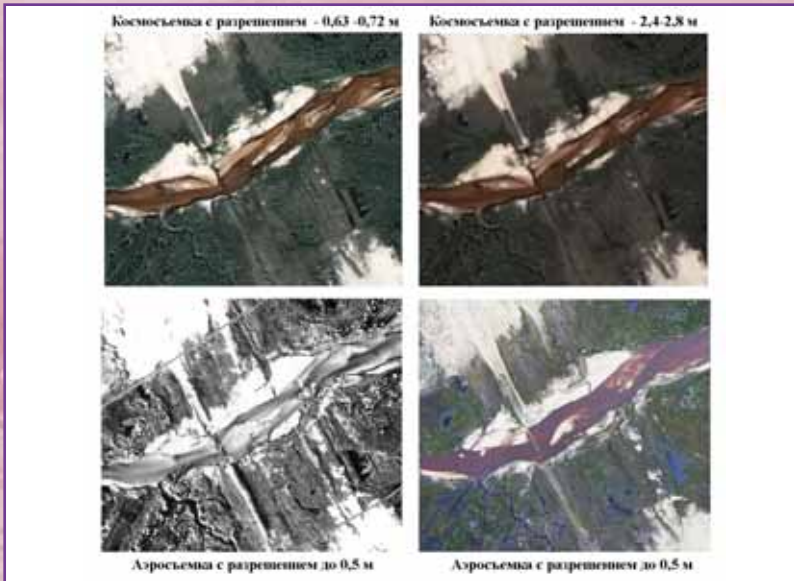


Рис. 2.
Подводный переход трубопроводов диаметром 1420 мм через реку Арка-Есета-Яха

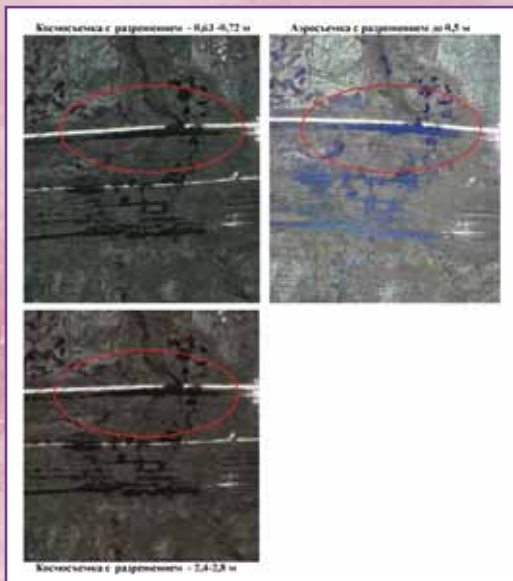


Рис. 3.
Деформированный участок трубопровода диаметром 1420 мм

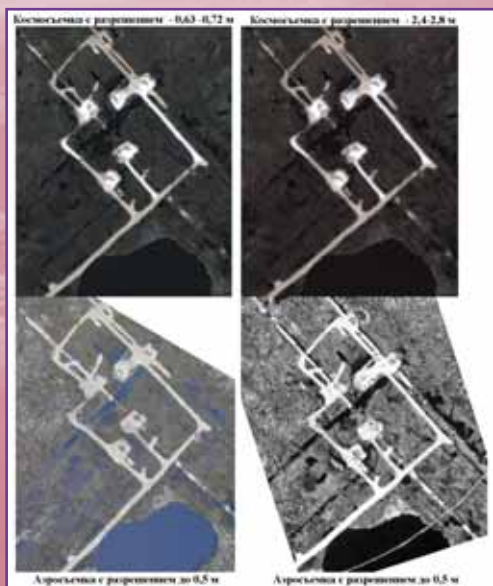


Рис. 4.
Площадка крановых узлов

Преимущество применения материалов космических съемок состоит в следующем:

- возможность получения информации об объектах исследования путем комплексного (полевого и камерального) дешифрирования по методу ключевых (эталонных) участков и коридоров трубопроводов целиком;
- обеспечение полного охвата территории всего месторождения, а не только коридоров трубопроводов, как в случае использования данных аэрофотосъемки;
- возможность использования космических изображений как основы для обобщения материалов наземных наблюдений и измерений объектов контактными методами и их пикетной привязки к местности.

На рис. 1-4 проиллюстрированы возможности применения аэрофотосъемочных и космических материалов для комплексной диагностики трубопроводов в северных районах. Приведенные на рис. 1 первые три трубопровода имеют диаметр 1420 мм, остальные – 1020 мм. На рис. 2 виден размытый в русле реки трубопровод и чугунные кольцеобразные пригрузки на нем. На рис. 3 деформированный участок трубопровода проходит в термокарстовом техногенном озере, образовавшемся в полосе подпруживания поверхностного стока сопровождающей трубопровод автодорогой. На нем также видны седловидные пригрузки на трубопроводе.

Сопоставляя информационные возможности использованных аэрофотосъемочных и космических материалов для диагностики состояния трубопроводов, следует отметить следующее.

- Аэросъемочные и космические данные позволяют:
- выполнить районирование ландшафтов в ранге групп урочищ, достаточное для комплексной диагностики, в том числе привязки к местности (к пикетам) выявленных повреждений и дефектов трубопровода;
 - распознать деструктивные процессы, в первом приближении оценив их интенсивность и степень опасности для трубопровода;

- оценить состояние обвалования трубопровода с разделением его на целесообразные типы [3];
- оценить некоторые признаки технического состояния трубопровода (рис. 1 и 2), за исключением космических снимков с разрешением на местности 2,01 м;
- обнаружить и оценить величину опасных плановых деформаций со стрелой выброса более 3 м (рис. 3), за исключением космических снимков с разрешением на местности 2,01 м;
- обнаружить пригрузки на всплывших участках трубопроводов (рис. 2 и 3), а также крановые узлы (рис. 4), за исключением космических снимков с разрешением на местности 2,01 м.

Космические снимки с разрешением на местности 0,6 м позволяют обнаружить опоры на воздушных переходах трубопроводов через водотоки, оказавшиеся в воде в связи с техногенным переформированием русел рек (рис. 1).

На данном этапе исследований пока не достаточно статистики для оценки реального разрешения элементов ландшафта и трубопроводных систем на материалах разных видов съемок. Необходима более широкая апробация материалов космических съемок высокого разрешения.

Список литературы

1. Хренов Н.Н., Егурцов С.А. Применение аэрокосмических методов для диагностики трубопроводных геотехнических систем и мониторинга окружающей среды. – М.: ИРЦ Газпром, 1996. – 181 с.
2. Чигир В.Г., Хренов Н.Н., Егурцов С.А., Степаненко А.И. Динамика геотехносистем и диагностика состояния газопроводов Севера // Строительство трубопроводов. – 1997. – Май-июнь. – С. 5-7.
3. Ланчаков Г.А., Степаненко А.И., Егурцов С.А., Марахтанов В.П., Чигир В.Г., Великоцкий М.А., Фокеева М.В. Диагностическое обследование состояния обвалования северных газопроводов // Обз. инф. – М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2008. – 96 с.

А.Н. Бриллиантов («ЭКОНГинжиниринг»)

В 1973 г. окончил Московский институт электронного машиностроения. В настоящее время – генеральный директор ООО «ЭКОНГинжиниринг». Кандидат технических наук.

А.В. Глотко («ЭКОНГинжиниринг»)

В 1999 г. окончила Московский государственный университет природообустройства. В настоящее время – заместитель технического директор ООО «ЭКОНГинжиниринг». Кандидат технических наук.

Г.Д. Жуков («ЭКОНГинжиниринг»)

В 1970 г. окончил Ленинградский ордена Красного Знамени механический институт. В настоящее время – технический директор ООО «ЭКОНГинжиниринг». Кандидат технических наук.

И.Н. Каргаполова («ЭКОНГинжиниринг»)

В 2002 г. окончила МГУ им. М.В.Ломоносова. В настоящее время – главный гидролог ООО «ЭКОНГинжиниринг». Кандидат географических наук.

Использование данных ДЗЗ для мониторинга русловых процессов и диагностики технического состояния подводных переходов магистральных трубопроводов

Повышение достоверности прогноза деформаций русел рек на участках пересечения их линейными инженерными сооружениями, такими как подводные переходы магистральных трубопроводов, является наиболее актуальной задачей как на стадии предпроектных изысканий, так и в период эксплуатации объекта.

В настоящее время при анализе русловых процессов и оценке опасности их развития (размыва инженерных сооружений) привлекаются данные дистанционного зондирования земли (ДЗЗ). Их использование в сочетании с ГИС-технологиями позволяет заполнить информационные «белые пятна», связанные с отсутствием картографического материала и трудоемкостью геодезической и гидрографической съемок.

Компанией «ЭКОНГинжиниринг» при проведении мониторинга русловых процессов на подводных пе-

реходах магистральных трубопроводов были использованы данные ДЗЗ из космоса в дополнение к проводимым наземным инженерным изысканиям.

Основными направлениями применения данных ДЗЗ на водные объекты для анализа русловых процессов и определения опасности их проявления являются:

1. Определение характера рельефа поймы, типов растительности, степени заболоченности, морфометрических параметров пойменных проток и старичных озер. Актуально для рек с труднопроходимыми пойменными участками значительной протяженности, которые не могут быть сняты с необходимой точностью при проведении наземных изыскательских работ.

2. Анализ особенностей гидрологического режима реки и ее поймы. Данные работы проводятся с целью определения границ затопления

поймы при прохождении высоких паводковых вод, характера функционирования рукавов и проток в разные фазы водного режима.

Ниже приведен пример сопоставления синтезированных цветных изображений со спутника QuickBird (США) русла и поймы реки Оби (рис. 1) в

(меженный период 2008 г.), было уточнено положение береговой линии и выделены постоянно действующие протоки, пересекающие технические коридоры магистральных трубопроводов, а также определены границы различных типов растительности.

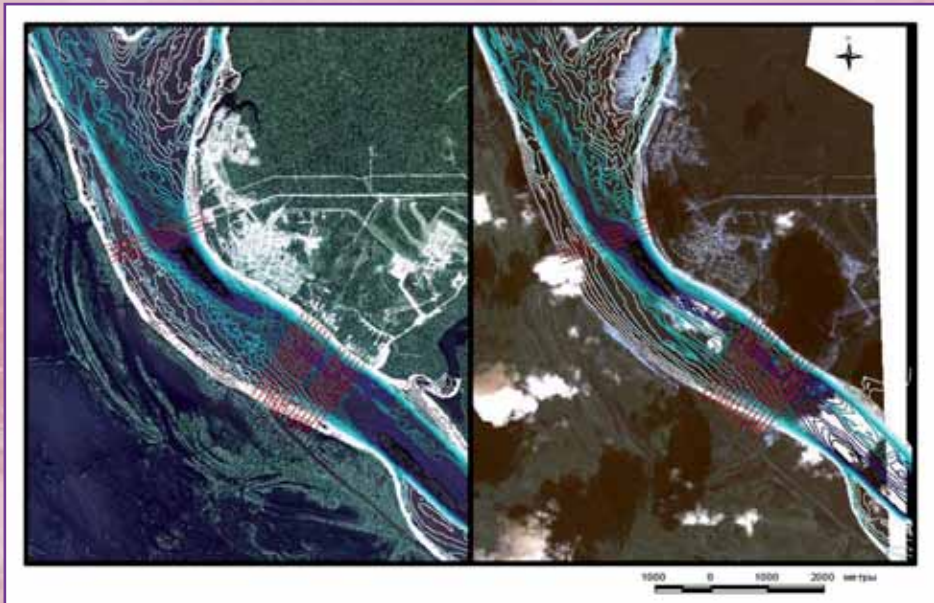


Рис. 1. Участок русла и поймы р. Оби в разные фазы водного режима: половодье на 17.07.2007 г. (слева); межень на 24.09.2008 г. (справа)

половодье (17.07.2007) и в межень (24.09.2008). Снимки были заказаны на период проведения полевых изысканий и привязаны по опорным точкам, координаты которых были получены при помощи спутниковых систем глобального позиционирования. На снимки нанесены горизонтали рельефа русла (ниже уреза воды) по результатам съемок 2007 и 2008 гг.

Снимок, сделанный в период продолжительного половодья 2007 г., позволил определить границы затопления поймы.

По изображению, сделанному при низкой воде

3. Оценка горизонтальных (плановых) деформаций русла. Экспертная оценка русловых процессов наиболее эффективна с использованием космических снимков, сделанных в разное время, как на предпроектной стадии, так и при эксплуатации инженерного объекта, что позволяет оценить динамику русел рек за последние десятилетия и сделать прогноз их дальнейшего развития.

Своевременное выявление опасного гидрологического явления обеспечивает бесперебойное функционирование линейных сооружений, пересекающих водные объекты. В то время как недоучет

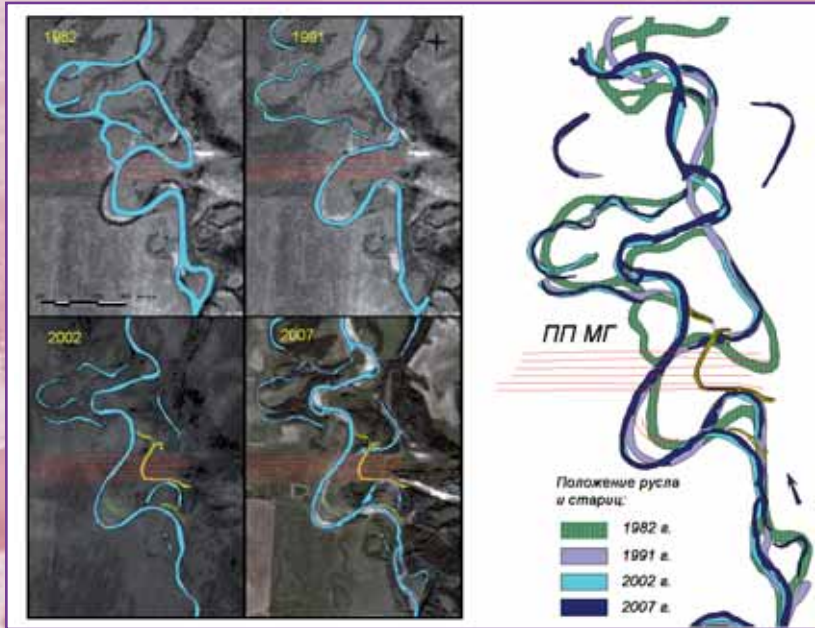


Рис. 2. Оценка плановых (горизонтальных) смещений русла по топографической карте (1982 г.), космическим снимкам SPOT-2 (05.10.1991), IRS-1D (27.09.2002) и ALOS (27.09.2007). Желтым и зеленым цветом обозначены берегозащитные и «руслорегулирующие» сооружения



Рис. 3. Состояние оголенных участков трубопроводов на космических снимках 2006 г. (QuickBird) и 2008 г. (WorldView-1). Красным цветом нанесены оголенные участки трубопроводов

динамики русел рек при проектировании трасс переходов приводит к разрывам трубопроводов, опор ЛЭП и мостов в период эксплуатации. Особенно часто проблемы возникают в руслах слабоустойчивых рек, где деформации русла наиболее интенсивны. Здесь скорость плановых деформаций может составлять до нескольких метров в год.

На рис. 2 приведен пример изменения меандрирующего русла полугорной реки Тулвы (Пермский край), где при больших уклонах и скоростях течения происходит интенсивное наращивание изгиба излучин. Для анализа были подобраны и сопоставлены материалы разных

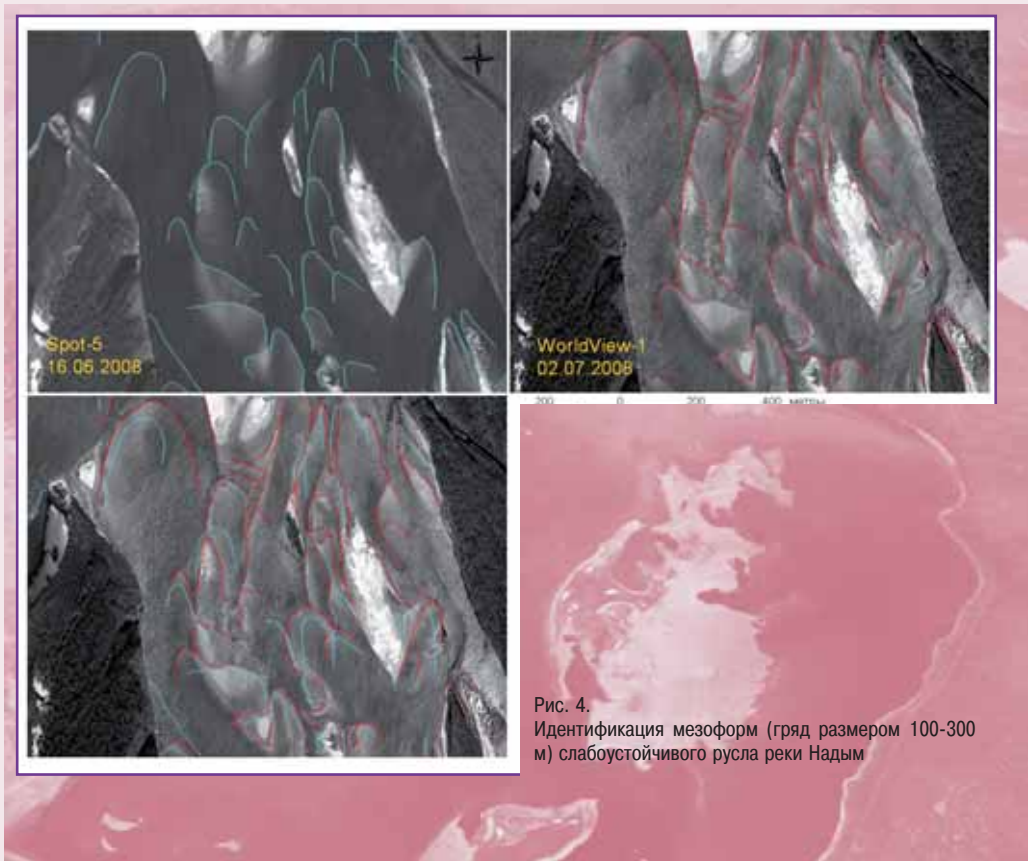


Рис. 4.
Идентификация мезоформ (гряд размером 100-300 м) слабоустойчивого русла реки Надым

лет: топографическая карта (1982 г.), панхроматические изображения со спутников SPOT-2 (Франция) (1991 г.) и IRS-1D (Индия) (2002 г.), а также синтезированное цветное изображение со спутника ALOS (Япония) (2007 г.). Привязка изображений проводилась по опорным точкам. Русло реки оцифровывалось, и выполнялась оценка его развития за последние 25 лет. Полученные результаты позволили определить скорости размыва берегов. Максимальная скорость достигала 10 м/год. Это стало причиной размыва подводных переходов магистральных трубопроводов в пойменной части, что вызвало необходимость проведения комплекса «русловыправительных» мероприятий, включающих спрямление излучин, устройство дамб обвалования и укрепление берегов.

4. Мониторинг состояния инженерных сооружений. Использование изображений с высоким пространственным разрешением позволяет оценить техническое состояние наблюдаемого объекта, оперативно выявить опасные тенденции развития руслового процесса.

Строительство и эксплуатация подводных переходов магистральных трубопроводов, как и других инженерных сооружений, вносят изменения в рельеф речного русла и поймы. Далее, в процессе эксплуатации, они подвергаются воздействию со стороны реки. На рис. 3 представлен пример наблюдения за состоянием оголенных участков трубопроводов на одной из пойменных протоков реки Надым. Сопоставление снимков QuickBird и WorldView-1 (США), сделанных с разницей в два го-

да, показало изменение длин оголенных участков трубопроводов, связанных с плановым смещением русловых форм в период прохождения весеннего половодья.

5. Определение динамики смещения донных гряд вдоль русла рек. Для неглубоких песчаных русел рек, где учет движения мезо- и микрогряд (среднего и мелкого размера) традиционными методами (съемкой русла, в том числе гидролокационным) не представляется возможным, целесообразно привлечение повторной космической съемки.

Подобные исследования актуальны для рек, переносящих большое количество песчаных наносов в грядовой форме, таких как реки северной части Западной Сибири и Европейской территории России. Смещение мезоформ вниз по течению обуславливает перепады глубин амплитудой до 3 м и более, что определяет крайнюю изменчивость рельефа дна и интенсивность как плановых, так и вертикальных деформаций. Это определяет высокую степень

опасности для любых инженерных сооружений, пересекающих реку или находящихся в непосредственной близости к берегам.

Возможности современных оптических систем, которыми оснащены спутники ДЗЗ, позволяют представить информацию о мезоформах русла под водой на глубине до 4 м, о микроформах – до 1-2 м. На рис. 4 представлен пример переформирования донных форм и определение скорости смещения отдельных гряд на реке Надым. По результатам сопоставления и расчета средняя скорость движения гряд вниз по течению составляет 1,5-2 м/сутки в меженный период.

Накопленный опыт внедрения космических данных ДЗЗ для мониторинга русловых процессов позволяет оптимизировать инженерные изыскания, избежать ошибок при выборе трассы пересечения линейных сооружений с водными объектами, повысить достоверность прогноза русловых процессов для эффективной эксплуатации и защиты от размывов подводных переходов.



Общество с ограниченной ответственностью
"ЭКОНГинжиниринг"

ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРОГНОЗ РУСЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ

- Проведение инженерно-геодезических и инженерно-гидрометеорологических изысканий с применением современных технических средств.
- Анализ морфологии и динамики русел рек с использованием передовых технологий и научного подхода.
- Компьютерное моделирование деформаций дна и прогноз развития руслового процесса.
- Оценка опасности гидрологических процессов и разработка рекомендаций по защите инженерных сооружений.



На правах рекламы

Россия, 109387, Москва, ул. Летняя, д.6, строение 1 тел/факс: 8 (499) 722 7330, E-mail: mail@econg.ru. www.econg.ru

Ю.И. Кантемиров (ВНИИГАЗ)

В 2004 г. окончил РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина по специальности «разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений». После окончания университета работает в ООО «ВНИИГАЗ», в настоящее время – научный сотрудник лаборатории космической информации для целей газовой промышленности.

Ю.Б. Баранов (ВНИИГАЗ, РГГРУ)

В 1978 г. окончил Московский геологоразведочный институт (Российский государственный геологоразведочный университет – РГГРУ) по специальности «поиск и разведка месторождений полезных ископаемых». В настоящее время – профессор кафедры геоинформатики РГГРУ, начальник лаборатории космической информации для целей газовой промышленности ООО «ВНИИГАЗ». Доктор геолого-минералогических наук.

Е.В. Киселевский («Газпром»)

В 1976 г. окончил Московский горный институт по специальности «маркшейдерское дело». В настоящее время – начальник отдела маркшейдерско-геодезического и информационно-обеспечения недропользования ОАО «Газпром».

В.В. Билянский («Газпром добыча Уренгой»)

В 1986 г. окончил геодезический факультет Львовского политехнического института (Национальный университет «Львовская политехника») по специальности «астрономогеодезия». В настоящее время – главный маркшейдер ООО «Газпром добыча Уренгой».

С.П. Вергелес («Газпром добыча Ямбург»)

В 1986 г. окончил геодезический факультет Львовского политехнического института (Национальный университет «Львовская политехника») по специальности «прикладная геодезия». В настоящее время – заместитель начальника маркшейдерско-геодезической службы ООО «Газпром добыча Ямбург».

С.Э. Никифоров (Ростехнадзор, МГГУ)

В 2000 г. окончил Московский государственный горный университет (МГГУ) по специальности «маркшейдерское дело». В настоящее время – консультант Управления государственного горного и металлургического надзора, доцент кафедры маркшейдерского дела и геодезии МГГУ. Кандидат технических наук.

В.Г. Грязнов («НПП Геокосмос-ГИС»)

В 1983 г. окончил Московский государственный университет. В настоящее время – руководитель проектов ООО «НПП Геокосмос-ГИС». Кандидат физико-математических наук.

М.А. Болсуновский (Компания «Совзонд»)

В 1990 г. окончил Киевское высшее инженерное радиотехническое училище. С 2004 г. работает в компании «Совзонд», в настоящее время – заместитель генерального директора.

Опыт комплексного мониторинга смещений земной поверхности на разрабатываемых месторождениях углеводородов с помощью геодезических и космических методов

Поскольку и природные, и техногенные смещения земной поверхности в районе разрабатываемых месторождений представляют собой потенциально опасный процесс, предусмотрен мониторинг за состоянием горных отводов, как правило, геодезическими методами, которые требуют значительных затрат и не всегда могут выполняться в оперативном мониторинговом режиме. Промежуток между повторными геодезическими наблюдениями может достигать 20 лет (подробнее см. Геоматика. – 2008. – № 1. – С. 51-55).

Необходимо одновременно с геодезическими наблюдениями вести в мониторинговом режиме космическую радиолокационную интерферометрическую

съемку территорий месторождений углеводородов, позволяющую регулярно получать поле смещений земной поверхности с высокой точностью и осуществлять взаимный контроль и уточнение величин смещений. Внедрение подобной системы мониторинга начато на месторождениях нефти и газа ОАО «Газпром».

ООО «ВНИИГАЗ» с 2006 г. начал применять технологию космической радиолокационной дифференциальной интерферометрии в качестве высокоточного площадного метода наблюдений за смещениями земной поверхности. Она представляет собой эффективное средство прямого определения смещений земной поверхности и деформаций сооружений. Причем существ-

вует возможность применять эту технологию как отдельно от вышеперечисленных методов определения деформаций поверхности, так и в комплексе с ними (что представляется наиболее рациональным). Принципиальное преимущество дифференциальной радиолокационной интерферометрии перед другими методами мониторинга вертикальных и плановых деформаций заключается в прямом измерении смещений рельефа, произошедших за период между двумя (тремя, четырьмя и более) съемками.

Получаемый в результате интерферометрической обработки файл сдвига, как правило, показывает интегральную картину деформаций. Обычно она складывается из различных природных и техногенных составляющих. Точечная калибровка полученных на карте смещений земной поверхности может осуществляться по данным спутниковых геодезических наблюдений.

Космический радиолокационный мониторинг просадок, вызванных разработкой нефтегазовых месторождений, успешно осуществляется за рубежом с середины 1990-х гг. В силу различных причин, в России метод радиолокационного интерферометрического мониторинга смещений земной поверхности не получил широкого распространения. Однако его преимущества очевидны. Это, прежде всего, возможность осуществлять мониторинг деформаций любых территорий (в том числе, значительных по площади и протяженности) с высокой точностью при невысокой стоимости работ (на порядок ниже аналогичных по точности дистанционных методов, например, лазерного сканирования). Объем работ по наземному обеспечению мониторинга представляется выполнимым маркшейдерскими службами добывающих предприятий (при необходимости с привлечением соисполнителей). Получаемая на выходе карта смещений поверхности, помимо ответа на вопрос о наличии и величине просадок, несет в себе информацию о природной и техногенной геодинамике и может использоваться для оценки экологической и геодинамической безопасности разработки месторождения, прогноза рисков, мониторинга деформаций промышленных сооружений и трубопроводов и т. д.

Кроме того, для прогнозирования ожидаемых техногенных оседаний, вызванных разработкой месторождений, применяются модельные расчеты. Несмотря на то, что они характеризуются значительными допущениями (в частности, необходимо оценивать значения объемного модуля упругости породного скелета от пласта-

коллектора до земной поверхности), информация об ожидаемых техногенных просадках, вызванных разработкой, без сомнения, является крайне интересной и полезной.

Наземные инструментальные геодезические измерения на реперах позволяют получить значения смещений в точках и по профилю, но построить достоверную непрерывную карту просадок (сдвижений) земной поверхности на всю площадь месторождения по этим данным не представляется возможным, поскольку между узловыми точками и профилями необходимо будет выполнить обычную интерполяцию. Таким образом, по мнению авторов, как геодезический метод, так и космический радиолокационный мониторинг за деформационными процессами имеют свои преимущества и недостатки, из чего следует, что для взаимного уточнения и взаимоконтроля эти методы должны применяться в комплексе.

Приведем несколько примеров такого комплексного мониторинга смещений земной поверхности космическими, геодезическими и расчетными методами. Объектом исследований являлись Заполярное, Уренгойское и Астраханское газоконденсатонефтяные месторождения.

Для анализа смещений на Заполярном месторождении была привлечена интерферометрическая пара радиолокационных снимков за июль 2004 г. и август 2005 г., сделанных со спутника ENVISAT (Европейское космическое агентство). По результатам специализированной дифференциальной интерферометрической обработки этих снимков была построена карта вертикальных смещений земной поверхности в единицах разности фаз, которая приведена на рис. 1. С этой картой совмещены полученные ранее данные по районированию геокриологических процессов, изолинии оседаний прогнозной мульды сдвига горных пород и инфраструктура Заполярного месторождения.

На рис. 2 приводится профиль смещений земной поверхности по линии АБ на карте смещений. Отметим, что тренд, проведенный по профилю смещений АБ, хорошо коррелируется с расчетной мульдой прогнозируемых техногенных оседаний земной поверхности, вызванных разработкой месторождения. Она характеризуется концентрическими изолиниями просадок с возрастанием их величины от контура сеноманской залежи месторождения к ее центру (изолинии черного цвета на рис. 1).

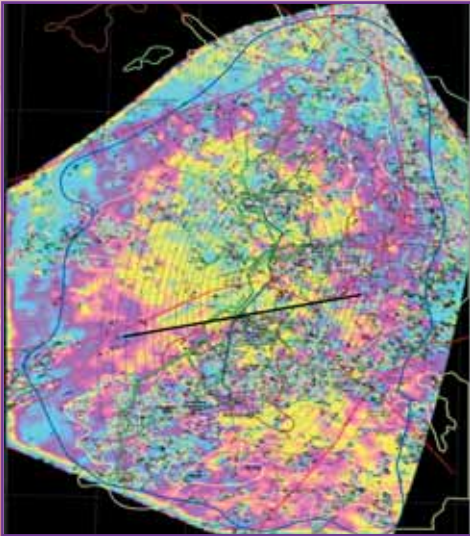


Рис. 1.
Дифференциальная интерферограмма, показывающая смещения земной поверхности на Заполярном месторождении за период с 2004 по 2005 гг.

Далее перейдем от смещений земной поверхности в единицах разности фаз к метрической системе. Поскольку интерферометрический фринг (переход от сине-



Рис. 2.
Профиль смещений земной поверхности по линии АБ, построенный по данным радарной интерферометрии

го цвета к следующему синему на интерферометрическом изображении на рис. 1) равен 2,5 см (половине длины волны радарного интерферометра), то сглаженные значения оседаний земной поверхности составляют за год 1-1,5 см (иллюстрация на примере профиля АБ, рис. 2). Этот результат практически полностью совпадает с результатами, полученными по наблюдениям на пунктах GPS Заполярного месторождения. Области геокриологических процессов, ранее выделенные на основе дешифрирования оптических космических снимков, практически полностью совпадают с областями мозаичного отображения интерференции на территории месторождения (на профиле – резко изменяющиеся значения).

Аналогичные работы по космическому радиолокационному мониторингу смещений земной поверхности были выполнены на Уренгойском месторождении. В данном случае были обработаны снимки RADARSAT-1 за лето 2007 г. и лето 2008 г. В результате получена картограмма смещений земной поверхности за период в один год, представленная на рис. 3. Линиями черного цвета отмечены контуры нефтегазовых залежей месторождения, а линией зеленого цвета – лицензионный участок. На рис. 3 один спектр цветов (интерференционный цикл) от желтого цвета до следующего желтого цвета соответствует оседаниям земной поверхности в 2,75 см. На рисунке четко виден один интерференционный цикл. А на юге месторождения хорошо заметно начало следующего интерференционного цикла, где оседания достигают величины 4 см за год.

Еще одним объектом исследований стало Астраханское месторождение. Здесь для анализа смещений в региональном масштабе были привлечены разновремен-

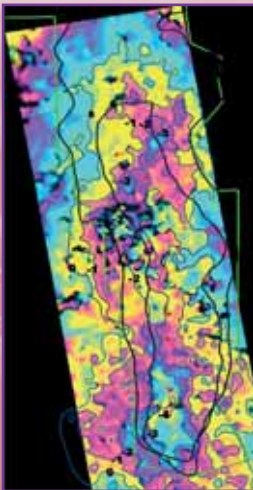


Рис. 3.
Дифференциальная интерферограмма и изолинии смещений земной поверхности в см за 2007-2008 гг. (линии синего цвета) на Уренгойском месторождении

ные радиолокационные снимки, сделанные спутником ENVISAT в широкополосном режиме (размер кадра 400x400 км). Для анализа смещений на месторождении использовались снимки обычного режима ENVISAT, результат которого представлен на рис.4. На фоне цветного изображения интерферограммы линией коричневого цвета показаны границы Астраханской области, линиями черного цвета – элементы топливно-энергетического комплекса (лицензионные участки, перспективные структуры, границы месторождений). Пятнистый рисунок интерферограммы на северо-востоке соответствует активной соляно-купольной тектонике.

Хорошо заметны ярко выраженные региональные смещения земной поверхности, зарегистрированные по различным парам снимков с 2003 г. по 2007 г. Они характеризуются примерно одинаковыми величинами, но знакопеременным направлением. Возможным объяснением зарегистрированных смещений может быть явление, известное как «дыхание земли». С другой стороны, непосредственно в районе Астраханского месторождения за трехлетний период наблюдений (с 2003 по 2006 гг.) уверенно фиксируется монотонное оседание поверхности с интенсивностью примерно 1 см в год (врезка справа на рис. 4). Полученные результаты говорят о наличии в районе Астраханского месторождения как природной, так и техногенной составляющей смещений земной поверхности.

На рис. 5 приводятся результаты уточнения зарегистрированных интерферограмм за счет использования данных лазерного сканирования на этапе выделения топографической компоненты фазы. Овалом синего цвета обозначена зафиксированная зона просадок земной поверхности в районе Астраханского месторождения.

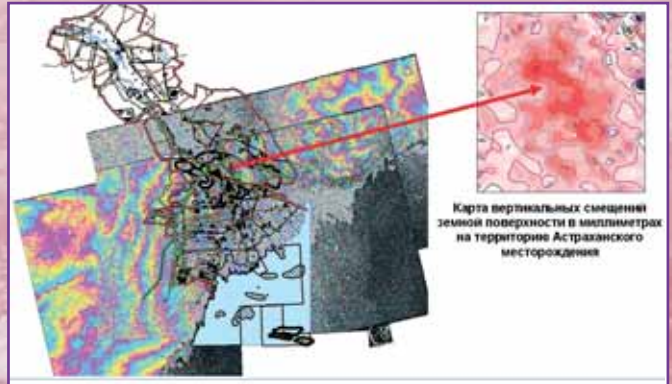


Рис. 4. Смещения земной поверхности на Астраханском месторождении и, в целом, в регионе северо-западного Прикаспия, зарегистрированные методом космической радиолокационной интерферометрии

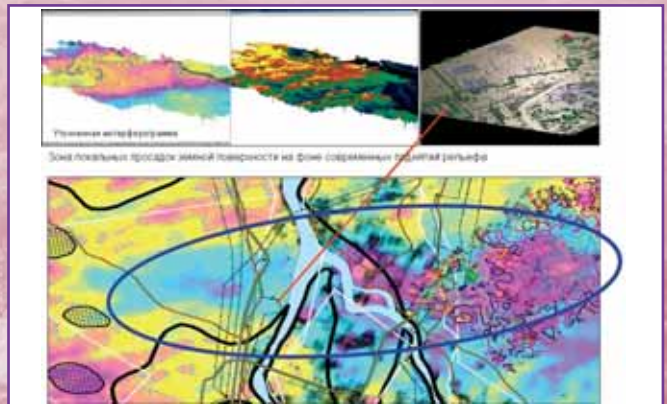


Рис. 5. Уточнение результатов интерферометрии за счет данных лазерного сканирования (внизу – исходная интерферограмма)

Вышеописанные результаты показали высокую эффективность комплексирования космических и геодезических методов для задач мониторинга природных и техногенных смещений земной поверхности. Эти результаты учтены при подготовке ООО «ВНИИГАЗ» отраслевого стандарта «Методика проведения космического мониторинга состояния территорий горных отводов для обеспечения промышленной безопасности при добыче и хранении нефти и газа».

Г.Г. Райкунов («ЦНИИМаш»)

В 1975 г. окончил с отличием Волгоградский политехнический институт. В настоящее время – генеральный директор ФГУП «ЦНИИМаш». Доктор технических наук, профессор.

В.В. Иванов («Газпромпереработка»)

В настоящее время – главный геолог ООО «Газпромпереработка». Доктор геолого-минералогических наук.

Н.И. Кузнецов («Газпромпереработка»)

В настоящее время – начальник ГРП ООО «Газпромпереработка».

С.С. Клименко (Институт геологии УрО РАН)

В настоящее время – начальник лаборатории Института геологии УрО РАН.

В.Н. Евдокименков (МАИ)

В 1982 г. окончил Московский авиационный институт (МАИ). В настоящее время – профессор кафедры «Информационно-управляющие комплексы» МАИ. Доктор технических наук.

А.А. Емельянов («ЦНИИМаш»)

В 2002 г. окончил МГТУ им. Н.Э. Баумана. В настоящее время – начальник отдела ФГУП «ЦНИИМаш».

Д.М. Трофимов

В 1958 г. окончил Московский геологоразведочный институт. Доктор геолого-минералогических наук.

Методы комплексного многокритериального анализа данных ДЗЗ и результатов геохимических исследований как новый вид нефтегазопоисковых работ

В настоящее время среднестатистическая результативность поискового бурения в мире составляет 3-4 скважины на одно открытое месторождение. При этом стоимость бурения постоянно возрастает так же, как и, соответственно, стоимость подготовки запасов нефти и газа.

Оценка перспективных ресурсов на подготовленных сейсморазведкой локальных структурах фактически определяется емкостью ловушки по аналогии с сопредельными месторождениями нефти и газа. В условиях отсутствия прямых методов определения промышленной нефтегазоносности геохимические методы ориентированы на решение этой задачи так же, как и аэрокосмические, решающие еще и структурные задачи.

При рассмотрении проблемы комплексирования этих методов аэрокосмические исследования дают возможность с большей детальностью, чем сейсморазведка, выявлять активные разрывные нарушения и зоны трещиноватости, по которым возможна разгрузка глубинных флюидов, в том числе и углеводородных газов. Как известно, выходы газов оказывают непосредственное влияние на почвенный и растительный покров

вы, вызывающее изменения их отражательных свойств и, следовательно, спектральных характеристик относительно «стандартных» условий, свойственных фону. Определенный вклад вносит повышенный тепловой поток, связанный с разгрузкой подземных вод. Именно в этих зонах геохимические методы более отчетливо фиксируют мигрировавшие к поверхности газы, содержащиеся в почвах, в первую очередь, наиболее легкие – метан и этан.

С целью более точного пространственного сопоставления информации, фиксируемой двумя методами, и получения данных по структурной характеристике изучаемой территории, целесообразно проведение геохимических и аэрокосмических работ по линиям сейсмопрофилей. Однако это не является обязательным требованием, так как современные методы обработки геопро пространственной информации позволяют с достаточной степенью точности оперировать пространственно-распределенными данными.

Для обоснования перспективности предлагаемого комплексирования методов приведем примеры по

двум регионам Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции: Печоро-Кожвинскому мегавалу и Предуральскому прогибу.

В качестве исходных данных использовались результаты:

- полного цикла отработки и интерпретации мультиспектральных космических изображений и аэрофотоснимков, полученных в разные сезоны;
- анализа результатов геотемпературных данных и построения тепловых карт по аэрокосмическим данным;
- анализа наземных геофизических работ и скважинной термометрии;
- построения и анализа зависимостей тепловых показателей и спектральных характеристик по профилям;
- построения и анализа распределений геохимических данных.

Объектами исследований стали Северо-Югидская структура, расположенная на Печоро-Кожвинском валу, на которой было открыто газо-

вое месторождение, и северная часть Предуральского прогиба, где в настоящее время проводится поисковое бурение.

Северо-Югидское поднятие, локализуемое по результатам визуального дешифрирования аэрокосмической информации, представляет собой, по-видимому, бескорневую активизированную на рельефообразующем (посттриасовом) и неотектоническом этапах



Рис. 1. Структурная схема Северо-Югидского поднятия по данным дешифрирования космических снимков

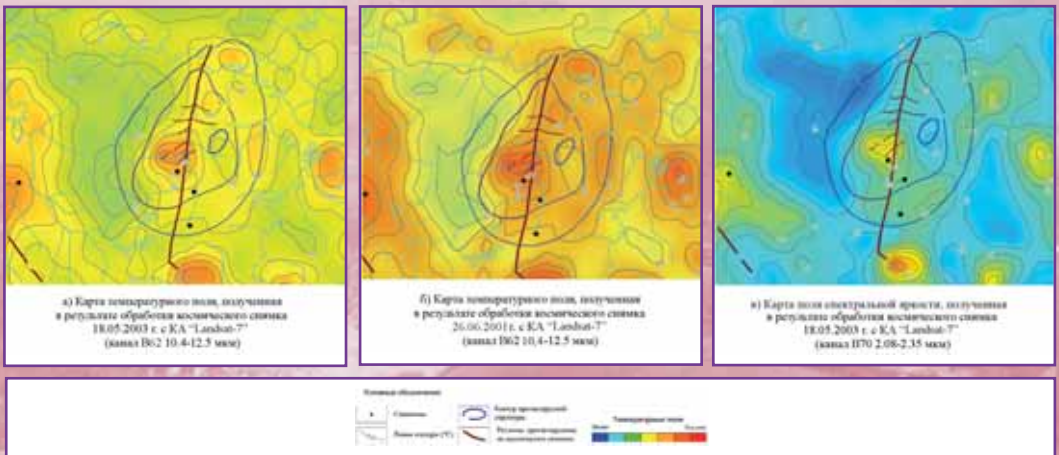


Рис. 2.

Схема сопоставления контура Северо-Югидской структуры, геотемпературных полей и полей распределения спектральной яркости, полученных по данным обработки космических снимков

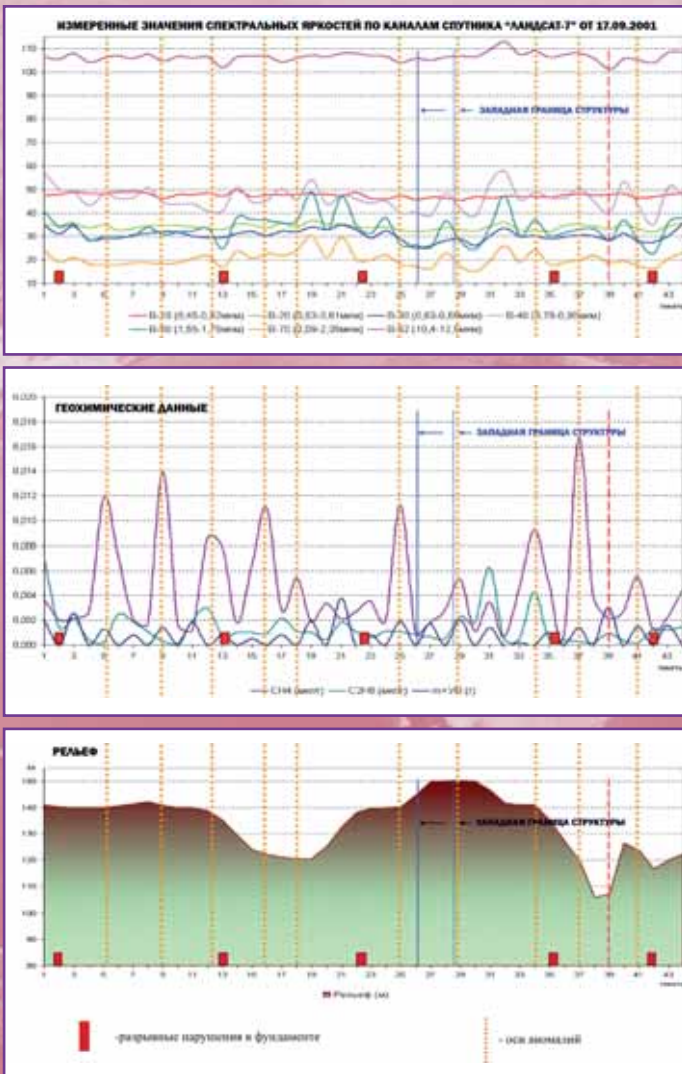


Рис. 3. Сопоставление исходных данных спектральных яркостей, геохимических измерений и рельефа земной поверхности по профилю через Северо-Югидскую структуру

структуру, расположенную на моноκлиальном склоне (рис. 1). Оно осложнено серией разрывных нарушений преимущественно северо-северо-западного простирания, выявляемых сейсморазведкой и космическими методами.

Северо-Югидское поднятие состоит из нескольких структурных форм чехла типа дизъюнктов, осложненных разрывными нарушениями и объединенных общим поднятием, активизированным на рельефообразующем этапе. Часть из разрывных нарушений, выявляемых по верхнедевонским отложениям (опорный горизонт IIIд), результатам космических и авиационных съемок, свидетельствует об их сквозном характере проявления в осадочном чехле. Именно такого типа дизъюнктивные дислокации и ряд не выявленных сейсморазведкой зон трещиноватости являются путями разгрузки глубинных флюидов и миграции газов.

Это подтверждается и тяготением к ним тепловых аномалий, которые могут быть несколько смещены вследствие течения подземных вод (рис. 2).

Комплексный анализ аэрокосмических, сейсморазведочных и геофизических данных показывает, что Северо-Югидское поднятие разделено на ряд блоков и пересечено по оси разломом, проявляющимся в современном рельефе широкой зоной опускания (рис. 1) с амплитудой относительно сопредельных участков 20-30 м. Восточный блок несколько опущен относительно западного и является менее расчлененным.

Анализ взаимосвязи современного рельефа земной поверхности и разрывных нарушений с ареалами повышенных концентраций углеводородов, тепловыми и спектральными аномалиями показывает, что эти нарушения и в настоящее время являются активными, что обеспечивает наличие связи с продуктивным горизонтом.

Следует отметить, что скважина №3-СЮ пробурена в пределах ареала с максимальными отметками рельефа (~150 м), тогда как две другие (№1-ВЮ и №1-СЮ) – в более пониженных участках. Кроме того, третья скважина приурочена к зоне активного разлома, что, по-видимому, характеризуется наличием вдоль него ареала повышенной трещиноватости. С точки зрения радиационных температур скважины №1-ВЮ и №3-СЮ находятся в более растепленном поле по сравнению со скважиной №1-СЮ, а в поле спектральной яркости – в ареале максимума (рис. 2).

Сопоставление в профильном варианте тепловых, яркостных и геохимических данных показывает, что отмечается определенная корреляция максимумов и минимумов (рис. 3), что определяется единым процессом разгрузки по зонам трещиноватости разогретых глубинных флюидов и газов (в первую очередь метана), влияющих на изменение спектральных характеристик растительности и скопление почвенных газов.

Результаты анализа показывают, что разрывные нарушения, выявленные по данным геофизических работ, характеризуются минимумами по всем аэрокосмическим и геохимическим показателям. Вариантов объяснения этого явления может быть несколько. Эти нарушения являются погребенными, возможен наклон в положении сместителей или их нахождение в зоне сжатия. Что касается разрывных дислокаций, прогнозируемых по аэрокосмическим данным, то к ним с некоторым смещением приурочены максимумы фиксируемых показателей, позволяющие сделать вывод об их сквозном характере и наличии связи с продуктивным горизонтом.

Вторым объектом исследований служили Кебылауский и Харугтинский валы в северной части Предуральского прогиба, пересеченные поперек простираения серий сейсмопрофилей с целью выявления локальных поднятий. По этим сейсмопрофилям были проведены геохимическое опробование и спектральный анализ по мультиспектральным аэрокосмическим данным. Рассмотрим в качестве примера один из профилей (рис. 4).

В структурном отношении данный район характери-

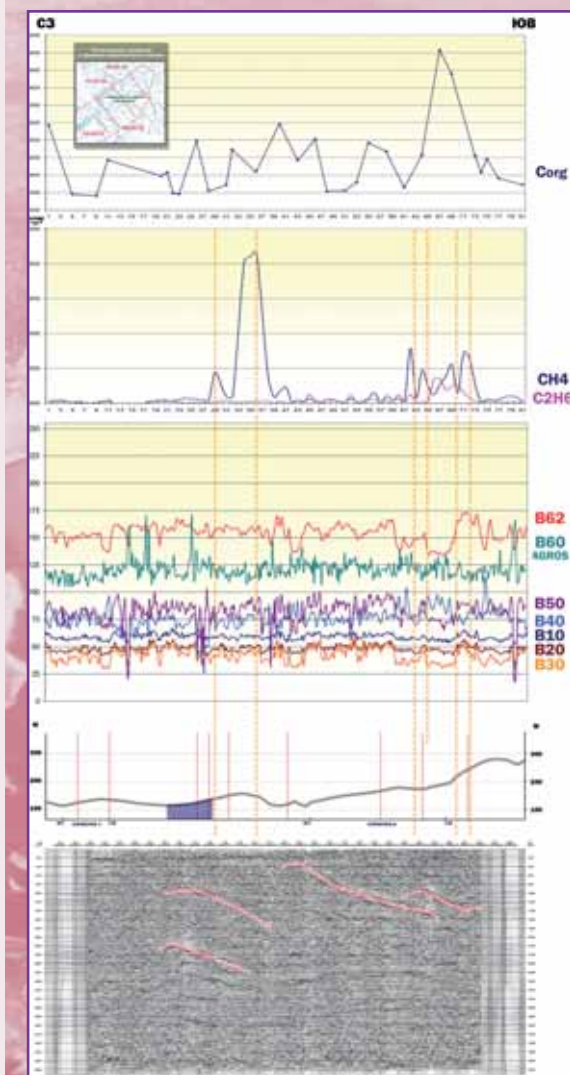


Рис. 4.
Схема сопоставления результатов геохимических и дистанционных работ по линии сейсмопрофиля 03-05-12

зуется более сложным строением по сравнению с ранее описанным, в частности, серией чешуй, согласно облекающих Харугтинский вал. Разрывные нарушения, выявленные сейсморазведкой, представлены надвигами и взбросами, имеющими наклонное положение сместителей. Основные структурообразующие надвиги

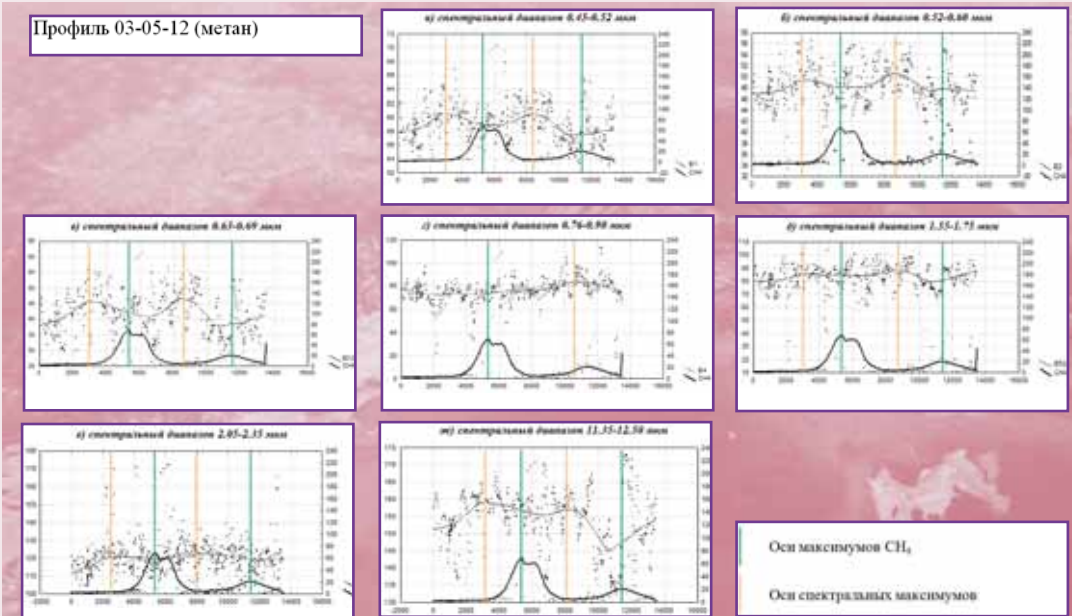


Рис. 5.
Сопоставление зависимостей яркости и содержания метана вдоль профиля 03-05-12

(Харутинский и Фронтальный), установленные на данном профиле, прослеживаются и на аэрокосмических снимках.

В отличие от предыдущего района максимумы по геохимическим и дистанционным данным закономерно смещены относительно друг друга (рис. 5) и приурочены в большинстве случаев к прогнозируемым разрывным нарушениям, причем, они резко выделяются на уровне фона. Это смещение обусловлено наклоном сместителя взбросо-надвигов. Наиболее крупный максимум в геохимических данных по метану приурочен к фронтальному надвигу.

Так как Предуральский прогиб является более активной на неотектоническом этапе структурой, чем Печоро-Кожвинский мегавал, то здесь с разрывными нарушениями связаны максимумы проявления газа и теплового потока.

Приведенные зависимости по распределению концентраций метана, этана, спектральных и тепловых данных вдоль сейсмопрофилей по результатам космической съемки, максимумы и минимумы которых пространственно связаны с разрывными нарушениями и зонами трещиноватости, свидетельствуют о высокой

информативности дистанционных методов при прогнозе газоносности выявленных и подготовленных к поисковому бурению локальных поднятий.

Из представленных результатов следует: во-первых, использование двух методов существенно повышает вероятность прогноза, позволяет выделять зоны трещиноватости, не установленные сейсморазведкой и, в некоторой степени, дает возможность оценивать степень сохранности залежей. Во-вторых, пространственная корреляция повышенных концентраций газов и спектральных показателей по аэрокосмическим данным свидетельствует о том, что мультиспектральная съемка из космоса является информативным источником данных, связанных с наличием углеводородов в структурных ловушках.

Таким образом, аэрокосмические мультиспектральные данные в совокупности с методами комплексной обработки с учетом наземной проверки несут в себе геохимическую составляющую, что позволяет в полной мере воспринимать полученные результаты как весьма информативный материал при решении задач прогнозирования структурных ловушек и оценки перспектив нефтегазоносности.

На III Международной конференции «Космическая съемка – на пике высоких технологий» состоится семинар по применению современных данных ДЗЗ для целей обеспечения технологической и экологической безопасности при добыче и транспортировке нефти и газа

В рамках III Международной конференции «Космическая съемка на пике высоких технологий», которая пройдет с 15 по 17 апреля 2009 г., состоится семинар на тему **«Технологии применения современных данных дистанционного зондирования Земли для целей обеспечения технологической экологической безопасности при добыче и транспортировке нефти и газа»**.

На семинаре специалисты компании «Совзонд» смоделируют несколько типичных задач: картографирование общих площадей нефтезагрязненных и нарушенных земель в пределах лицензионного участка, выявление вновь появившихся аварийных разливов вдоль трассы трубопровода, мониторинг и картографирование развивающейся инфраструктуры. Будет проведена практическая демонстрация технологических цепочек обработки и интерпретации космических снимков на примерах реальных проектов, выполненных в 2008 г. Слушатели получат возможность наблюдать за реальным процессом обработки и интерпретации космических снимков с применением ПК ENVI и, при желании, повторить действия специалистов.

Программа семинара включает следующие этапы:

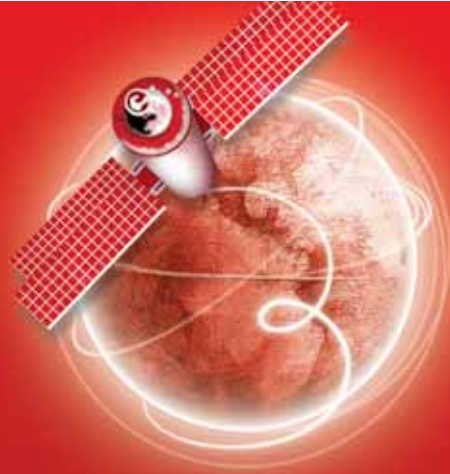
- Фотограмметрическая обработка космических

снимков ALOS/PRISM, ALOS/AVNIR-2, FORMOSAT-2 в целях создания геопространственной основы для картографирования инфраструктуры и мониторинга ситуации в масштабах 1:25 000-1:10 000 без использования наземных опорных точек, а также сопряжение снимков между собой в плане строгими методами для последующего комплексного использования.

- Автоматическая классификация многозонального снимка ALOS/AVNIR-2 на предмет выявления нефтезагрязненных и нарушенных земель, создание мультитременного композита снимков ALOS/AVNIR-2 и FORMOSAT-2 для мониторинга вновь появившихся разливов нефтепродуктов, изменений в лесном фонде, появления новой инфраструктуры.

- Создание мультитременного композита двух панораматических снимков ALOS/PRISM и проведение мониторинга аварийных нефтеразливов, изменений в лесном фонде, развития инфраструктуры по детализации и точности пространственного положения, соответствующего масштабу 1:25 000.

Для участия в семинаре и в III Международной конференции «Космическая съемка – на пике высоких технологий» необходимо заполнить форму на сайте конференции www.sovzondconference.ru в разделе «Регистрация».



III Международная конференция "Космическая съемка – на пике высоких технологий"

15–17 апреля 2009 г.

Москва

Целью конференции является широкий обмен опытом использования данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) для решения картографических задач, для целей кадастра, для создания геоинформационных систем (ГИС), решения тематических задач для нефтегазовой отрасли, энергетики, городского, административного и муниципального управления и т.д.

МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ:

"Атлас Парк-Отель", Московская область, Домодедовский район

ОСНОВНЫЕ ТЕМЫ:

- Современное состояние и тенденции развития российских и зарубежных программ ДЗЗ.
- Программные комплексы, системы и решения для обработки данных ДЗЗ от ведущих российских и зарубежных разработчиков.
- Опыт решения практических задач с использованием данных ДЗЗ.
- Опыт и проблемы реализации проектов с использованием ГИС и пространственных данных.



ОРГАНИЗАТОР:

Компания "Совзонд"

Тел: +7 (495) 988-7511, 988-7522, 514-8339.

E-mail: conference@sovzond.ru

Web-site: www.sovzondconference.ru

УЧАСТНИКИ:

- НЦ ОМЗ (Россия)
- ГКНПЦ им. Хруничева (Россия)
- ЦСКБ "Прогресс" (Россия)
- ФГУП "НПО им. С.А. Лавочкина" (Россия)
- DigitalGlobe (США)
- GeoEye (США)
- Infoterra (Германия)
- SpotImage (Франция)
- ITT VIS (США, Франция)

ПАРТНЕР:



ГЕНЕРАЛЬНЫЙ
ИНФОРМАЦИОННЫЙ
СПОНСОР:



ИНФОРМАЦИОННЫЕ
СПОНСОРЫ:



Не правах рекламы

Сравнительный анализ эффективности использования данных сверхвысокого разрешения оптико-электронных систем ДЗЗ из космоса для нужд нефтегазовой отрасли

Современные оптические системы ДЗЗ сверхвысокого разрешения характеризуются следующими показателями:

- высокое пространственное разрешение – не хуже 1 м в панхроматическом режиме съемки;
- высокое радиометрическое разрешение – не менее 11 бит на пиксель в панхроматическом режиме;
- наличие четырех спектральных каналов, в том числе одного инфракрасного;
- широкая полоса съемки – до 28,7 км;
- высокая производительность – до 1 млн км² в сутки;
- возможность проведения стереосъемки;
- высокая пространственная точность привязки исходных данных без опорных наземных точек;
- возможность обработки данных с использованием стандартного программного обеспечения;
- возможность обновления картографических материалов крупных масштабов 1:2 000–10 000;
- периодичность получения данных на одну и ту же область на земной поверхности – 1-5 дней в зависимости от широты;
- возможность заказа съемки участков произвольной формы, в том числе протяженных;
- возможность получения перспективной съемки с отклонением от надира до 45°;
- наличие большого архива данных – миллионы км²;
- относительно невысокая цена – от 7 дол. за 1 км²;
- оперативность – возможность начала съемки в течение одного дня с момента размещения заказа;
- значительный срок эксплуатации системы ДЗЗ на орбите – до 7-8 лет;
- простота размещения заказа – нет необходимости получения разрешения от государственных организаций на проведение съемки.

Эффективность использования данных сверхвысокого разрешения оптических систем ДЗЗ из космоса для нужд нефтегазовой отрасли выполнена по результатам экспертных оценок в баллах (по пятибалльной шкале) и приведена в таблице.

Космический аппарат/ Страна	WorldView-1 США	QuickBird США	IKONOS США	«Ресурс-ДК1» ¹⁾ Россия	КОМPSAT-2 Корея/Франция	EROS-B Израиль	OrbView-3 США	SARTOSAT-2 Индия	GeoEye-1 США	WorldView-2 США	EROS-C Израиль	Pleiades-1/2 Франция
Год запуска	2007	2001	1999	2006	2006	2006	2003	2007	2008	2009	2009	2010
Расчетный срок эксплуатации, год	5-7	5-7	5-7	3	3-5	3-5	5-7***	Нет данных	5-7	5-7	5-7	Нет данных
Баллы	5	5	5	2	3	3	0	1	5	5	5	1
Коммерческая доступность	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Только архив	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
Баллы	5	5	5	5	5	5	3	0	0	0	0	0
Пространственное разрешение в панхроматическом режиме съемки (в надир), м	0,5	0,61	0,83	0,85	1	0,7	1	1	0,41	0,5	0,7	0,6
Баллы	4	3	2	2	1	3	1	1	5	4	3	3
Радиометрическое разрешение, бит	11	11	11	10	10	10	11	10	11	11	11	11
Баллы	5	5	5	4	4	4	5	4	5	5	5	5
Возможность съемки в нескольких спектральных каналах (число каналов)	Нет	4	4	3**	4	Нет	4*	Нет	4	8	4	4
Баллы	1	4	4	3	4	1	3	1	4	5	4	4
Ширина полосы съемки, км	17,5	16,5	11	28	17	7	8	10	15	17,5	16	20
Баллы	4	4	3	5	4	2	2	3	4	4	4	5
Производительность, баллы	5	3	3	5	3	2	0	3	5	5	4	4
Возможность получения стереосъемки	Да	Да/нет	Да	Да/нет	Да/нет	Да	Да/нет	Да/нет	Да	Да	Да	Да/нет
Баллы	5	2	5	2	2	5	2	2	5	5	5	2
Пространственная точность исходных данных без привязки к опорным наземным точкам (СКО, не включая перспективные искажения и искажения, вызванные рельефом местности), м	3	15	9	100	35	Нет данных	15	Нет данных	2	3	Нет данных	Нет данных
Баллы	5	4	4	2	3	1	4	1	5	5	1	1
Возможность обработки в стандартом программном обеспечении	Да	Да	Да	Нет	Нет	Нет	Да	Нет	Да	Да	Нет	Нет
Баллы	5	5	5	2	2	2	5	2	5	5	2	2
Возможность заказа полигона произвольной формы	Да	Да	Да	Нет	Нет	Нет	Да	Нет данных	Да	Да	Нет данных	Нет данных
Баллы	5	5	5	2	2	2	5	1	5	5	1	1
Оперативность поставки данных, суток	1	1	2-3	14-20	5	3	2-3	Нет	1	1	Нет данных	Нет данных
Баллы	5	5	4	1	3	4	4	0	5	5	1	1
Площадь минимального заказа (архив), км ²	25	25	49	50	50	49	49	Нет данных	49	25	Нет данных	Нет данных
Баллы	5	5	4	4	4	4	4	1	4	5	1	1
Площадь минимального заказа (новая съемка), км ²	64	64	100	100	225	49	100	Нет данных	100	64	Нет данных	Нет данных
Баллы	5	5	4	4	3	4	4	1	4	5	1	1
Удельная стоимость, баллы	2	2	4	5	2	5	5	1	1	2	1	1
Итоговый результат, баллы	66	62	62	48	45	46	47	22	62	65	34	32

Примечания:

* Отсутствует возможность получения одновременно панхроматических и мультиспектральных данных.

** Сложная схема получения мультиспектральных данных.

*** С марта 2007 г. не передает данные на наземный сегмент.

Космические аппараты с оптико-электронными системами ДЗЗ

РЕСУРС-ДК1



Космический аппарат «Ресурс-ДК1» был запущен 15 июня 2006 г. с помощью ракеты-носителя «Союз-У» с космодрома Байконур. Оператором спутника, созданного Государственным научно-производственным ракетно-

космическим центром «ЦСКБ-Прогресс», является Научный центр оперативного мониторинга Земли (НЦ ОМЗ).

В зависимости от целевого применения спутник может эксплуатироваться на околокруговых или эллиптических рабочих орбитах с наклонами 64,8°; 64,9°; 70,0°; 70,4°. Рабочая орбита КА «Ресурс-ДК1» – эллиптическая и составляет 350-604 км. Спутник позволяет получать цифровые изображения земной поверхности с пространственным разрешением 1 м в панхроматическом режиме (один канал) и в трех узких спектральных диапазонах с разрешением 2-3 м в мультиспектральном режиме.

Помимо аппаратуры ДЗЗ, на борту КА «Ресурс-ДК1» установлено научное оборудование «Памела» (Италия), предназначенное для космических исследований и научная аппаратура «Ариана», обеспечивающая регистрацию высокоэнергичных электронов и протонов, их идентификацию, выделение всплесков высокоэнергичных частиц-предвестников землетрясений. Расчетный срок пребывания на орбите составляет около 3 лет.

Основные технические характеристики

Режимы	Панхроматический	Мультиспектральный
Спектральный диапазон, мкм	0,58-0,80	зеленый: 0,50-0,60 красный: 0,60-0,70 ближний ИК: 0,70-0,80
Пространственное разрешение (в надири), м	1	2-3
Максимальное отклонение от надира, °		30
Радиометрическое разрешение, бит на пиксель		10
Скорость передачи данных на наземный сегмент, Мбит/сек		75, 150, 300
Ширина полосы съемки (в надири), км		от 4,7 до 28,3
Периодичность съемки, суток		6
Возможность получения стереопары		Да (с соседних витков)

ALOS (PRISM, AVNIR-2)

Космический аппарат ALOS запущен 24 января 2006 г. с космодрома Танегашима (Япония). Владелец спутника является Японское аэрокосмическое агентство JAXA. КА был выведен на солнечно-синхронную орбиту высотой 691,65 км.

КА ALOS оснащен картографической стереокамерой (PRISM), позволяющей получать снимки с разрешением до 2,5 м, мультиспектральной камерой (AVNIR-2), для получения цветных снимков с разрешением 10 м, а также радаром L-диапазона (PALSAR), предназначенным для круглосуточного и всепогодного наблюдения земной поверхности (см. Геоматика. – 2008. – № 1. – С. 63. – Прим. ред.).

Картографическая стереокамера PRISM состоит из трех объективов для визирования вперед, вниз и назад. Она обеспечивает высокую разрешающую способность и ширину полосы съемки до 70 км.

Мультиспектральная камера AVNIR-2 является наследником ADEOS/AVNIR (JAXA, 2004). В AVNIR-2 были изменены датчики и соответствующие электронные системы. Эти изменения обеспечивают получение изображений с пространственным разрешением 10 м. Другое отличие от AVNIR заключается в возможности менять угол визирования в диапазоне $\pm 44^\circ$



относительно надира в перпендикулярном к траектории полета направлении. С помощью такого гибкого наведения можно реализовать более частые наблюдения одних и тех же участков земной поверхности, например, каждые 48 часов, в районах, находящихся в более высоких широтах. Расчетный срок пребывания КА на орбите составляет не менее 5 лет.

Основные технические характеристики

Режимы	PRISM (панхроматический)	AVNIR-2 (мультиспектральный)
Спектральный диапазон, мкм	0,52-0,77	синий: 0,42-0,50 зеленый: 0,52-0,60 красный: 0,61-0,69 ближний ИК: 0,76-0,89
Пространственное разрешение (в надире), м	2,5	10
Радиометрическое разрешение, бит на пиксель	8	8
Скорость передачи данных на наземный сегмент, Мбит/сек	960	160
Ширина полосы съемки (в надире), км	35	70
Периодичность съемки, суток	46	46
Возможность получения стереопары	Да (с одного витка)	Нет

FORMOSAT-2



Космический аппарат FORMOSAT-2 был запущен 20 мая 2004 г. космическим агентством Тайваня (National Space Organization). Эксклюзивные права на поставку данных с КА FORMOSAT-2 получила компания SpotImage (Франция). Спутник был выведен на солнечно-синхронную геостационарную орбиту высотой 891 км. КА FORMOSAT-2 предназначен для получения цифровых изображений земной поверхности с пространственным разрешением 2 м в панхроматическом режиме и 8 м в мультиспектральном режиме.

Основными преимуществами спутника являются маневренность (КА может выполнять съемку с отклонением от надира в 45°), возможность ежедневной съемки, а также более раннее прохождение над любой точкой Земли (9 ч 30 мин утра по местному времени, тогда как у большинства спутников – 10 ч 30 мин), что увеличивает возможность безоблачной съемки. Расчетный срок пребывания на орбите составляет не менее 5 лет.

Основные технические характеристики

Режимы	Панхроматический	Мультиспектральный
Спектральный диапазон, мкм	0,45-0,90	синий: 0,45-0,52 зеленый: 0,52-0,60 красный: 0,63-0,69 ближний ИК: 0,76-0,90
Пространственное разрешение (в надире), м	2	8
Максимальное отклонение от надира, °		45
Радиометрическое разрешение, бит на пиксель		8
Скорость передачи данных на наземный сегмент, Мбит/сек		120
Формат файлов		GeoTIFF
Ширина полосы съемки (в надире), км		24
Обработка		Радиометрическая, сенсорная и геометрическая коррекция. Приведение к картографической проекции
Периодичность съемки, суток		1
Возможность получения стереопары		Нет
Срок выполнения заказа, дней		7-14 для архивных данных 7-90 для съемки на заказ
Минимальная площадь заказа, км ²		24x24 (1 сцена) для архивных данных 24x24 (1 сцена) для съемки на заказ

GeoEye-1

Космический аппарат GeoEye-1 был запущен 6 сентября 2008 г. Владелец спутника является компания GeoEye (США). КА GeoEye-1 был выведен на полярную солнечно-синхронную орбиту высотой 681 км, обеспечивающую его прохождение над любым районом Земли каждые 1-3 дня (в зависимости от широты). Спутник предназначен для получения цифровых изображений земной поверхности с пространственным разрешением 41 см в панхроматическом режиме и 1,65 м в мультиспектральном режиме при съемке в надир.

КА GeoEye-1 обладает высокой маневренностью, что позволяет получать большой объем данных за один пролет. Расчетный срок пребывания на орбите составляет не менее 7 лет.



Основные технические характеристики

Режимы	Панхроматический	Мультиспектральный
Спектральный диапазон, мкм	0,45-0,90	синий: 0,45-0,52 зеленый: 0,52-0,60 красный: 0,625-0,695 ближний ИК: 0,76-0,90
Пространственное разрешение (в надире), м	0,41	1,65
Максимальное отклонение от надира, °		60
Радиометрическое разрешение, бит на пиксель		11
Точность геопозиционирования, м		CE90 mono = 2,5 CE90 stereo = 2 LE90 stereo = 3
Формат файлов		GeoTIFF
Ширина полосы съемки (в надире), км		15,2
Обработка		Радиометрическая, сенсорная и геометрическая коррекция. Приведение к картографической проекции
Периодичность съемки, суток		1-3 (в зависимости от широты области съемки)
Возможность получения стереопары		Да (с одного витка)

IKONOS



Космический аппарат IKONOS был запущен 24 сентября 1999 г. с авиабазы Ванденберг (США). Владельцем спутника является компания GeoEye (США). КА IKONOS был выведен на низкую солнечно-синхронную орбиту высотой 680 км, обеспечивающую его прохождение над любым районом Земли каждые 1-5 дней (в зависимости от широты). Спутник предназначен для получения цифровых изображений земной поверхности с пространственным разрешением 1 м в панхроматическом режиме и 4 м в мультиспектральном режиме.

Основными преимуществами КА IKONOS являются высокая маневренность и, как следствие, возможность съемки участков большой площади за один проход (до 5 тыс. км²), а также получения стереопар с одного витка. Расчетный срок пребывания на орбите составляет около 7 лет.

Основные технические характеристики

Режимы	Панхроматический	Мультиспектральный
Спектральный диапазон, мкм	0,445-0,90	синий: 0,45-0,52 зеленый: 0,52-0,61 красный: 0,64-0,72 ближний ИК: 0,77-0,88
Пространственное разрешение (в надире), м	1	4
Максимальное отклонение от надира, °	45	
Радиометрическое разрешение, бит на пиксель	11	
Точность геопозиционирования, м	CE90 mono = 23	
Формат файлов	GeoTIFF, NITF	
Ширина полосы съемки (в надире), км	11	
Обработка	Радиометрическая, сенсорная и геометрическая коррекция. Приведение к картографической проекции	
Периодичность съемки, суток	1-5 (в зависимости от широты области съемки)	
Возможность получения стереопары	Да (с одного витка)	
Срок выполнения заказа, дней	7-14 для архивных данных 7-90 для съемки на заказ	
Минимальная площадь заказа, км ²	49 (для архивных данных; возможен заказ полигона произвольной формы с расстоянием между вершинами не менее 5 км) 100 (для съемки на заказ; возможен заказ полигона произвольной формы с расстоянием между вершинами не менее 5 км)	

Landsat-7

Космический аппарат Landsat-7 был запущен 15 апреля 1999 г, с авиабазы Ванденберг (США).

Спутник является проектом трех американских правительственных организаций: NASA, NOAA и USGS. КА Landsat-7 был выведен на солнечно-синхронную орбиту высотой 705 км. Установленная на спутнике съемочная аппаратура ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus – усовершенствованный тематический картограф) обеспечивает съемку земной поверхности в шести каналах с разрешением 30 м, в одном ИК-канале с разрешением 60 м и одновременную панхроматическую съемку с разрешением 15 м при ширине полосы обзора для всех каналов около 185 км. Расчетный срок пребывания на орбите составляет около 7 лет.



Основные технические характеристики

Режимы	Мультиспектральный			Панхроматический
	VNIR	SWIR	TIR	PAN
Спектральный диапазон, мкм	синий: 0,45-0,52 зеленый: 0,53-0,61 красный: 0,63-0,69 ближний ИК: 0,78-0,90	средний ИК: 1,55-1,75 средний ИК: 2,09-2,35	тепловой ИК: 10,40-12,50	0,52-0,90
Пространственное разрешение, м	30	30	60	15
Радиометрическое разрешение, бит на пиксель	8			
Скорость передачи данных на наземный сегмент, Мбит/сек	150			
Формат файлов	GeoTIFF			
Ширина полосы съемки, км	185			
Периодичность съемки, суток	16			
Возможность получения стереопары	Нет			
Срок выполнения заказа, дней	1-10 (для архивных данных), съемка на заказ не проводится			
Минимальная площадь заказа, км ²	185x170 (1 сцена) для архивных данных			

QuickBird



Космический аппарат QuickBird был запущен 18 октября 2001 г. с авиабазы Ванденберг (США). Владелец спутника является компания DigitalGlobe (США). Спутник был выведен на околоземную солнечно-синхронную орбиту высотой 450 км, обеспечивающую его прохождение над любым районом Земли каждые 1-5 дней (в зависимости от широты). КА QuickBird предназначен для получения цифровых изображений земной поверхности с пространственным разрешением 61 см в панхроматическом режиме и 2,44 м в мультиспектральном режиме при съемке в надир.

Основными преимуществами спутника QuickBird являются широкая полоса охвата (размер сцены – 16,5x16,5 км), высокая метрическая точность, возможность заказа полигонов сложной формы, в том числе, протяженных объектов шириной 5 км. Расчетный срок пребывания на орбите составляет около 7 лет.

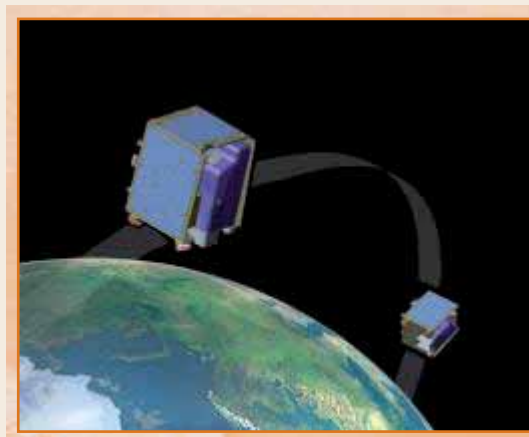
Основные технические характеристики

Режимы	Панхроматический	Мультиспектральный
Спектральный диапазон, мкм	0,445-0,90	синий: 0,45-0,52 зеленый: 0,52-0,60 красный: 0,63-0,69 ближний ИК: 0,76-0,90
Пространственное разрешение (в надире), м	0,61	2,44
Максимальное отклонение от надира, °		45
Радиометрическое разрешение, бит на пиксель		11
Точность геопозиционирования, м		CE90 mono = 23
Формат файлов		GeoTIFF, NITF
Ширина полосы съемки, км		16,5
Обработка	Радиометрическая, сенсорная и геометрическая коррекция. Приведение к картографической проекции	
Периодичность съемки, суток	1-5 (в зависимости от широты области съемки)	
Возможность получения стереопары	Нет	
Срок выполнения заказа, дней	3-14 для архивных данных 7-90 для съемки на заказ	
Минимальная площадь заказа, км ²	25 (для архивных данных; возможен заказ полигона произвольной формы) 64 (для съемки на заказ; возможен заказ полигона произвольной формы)	

RapidEye

Группировка из пяти мини-спутников RapidEye была запущена с космодрома Байконур российской ракетой-носителем «Днепр» 29 августа 2008 г. Владелец космических аппаратов является компания RapidEye AG (Германия). Каждый из спутников, созданных компаниями SSTL (Великобритания) и MDA (Канада), оснащен мультиспектральной оптико-электронной камерой Jena-Optronik для съемки с пространственным разрешением 6,5 м. Вес каждого спутника RapidEye составляет 175 кг. Спутники были выведены на околоземную солнечно-синхронную орбиту высотой 630 км. Группировка RapidEye способна обеспечивать ежедневное покрытие съемками площадь в 4 млн км². Периодичность съемки одного и того же района Земли – 24 ч.

Съемка земной поверхности ведется в пяти каналах. Уникальным для спутников высокого разрешения является канал «длинноволновый красный», который оптимально подходит для наблюдения и измерения изменений состояния растительного покрова. Расчетный срок пребывания спутников на орбите составляет 7 лет.



Основные технические характеристики

Режим	Мультиспектральный
Спектральный диапазон, мкм	синий: 0,44-0,51 зеленый: 0,52-0,59 красный: 0,63-0,685 длинноволновый красный: 0,69-0,73 ближний ИК: 0,76-0,855
Пространственное разрешение в надире, м	6,5 (после обработки – 5)
Точность геопозиционирования, м	230
Формат файлов	GeoTIFF, NTIF
Ширина полосы съемки, км	77
Обработка	Радиометрическая, сенсорная и геометрическая коррекция Приведение к картографической проекции
Периодичность съемки, ч	24
Возможность получения стереопары	Нет
Минимальная площадь заказа, кв. км	25 (1 сцена) для архивных данных и съемки на заказ

WorldView-1



Космический аппарат WorldView-1 был запущен 18 сентября 2007 г. с авиабазы Ванденберг (США). Владелец спутника является компания DigitalGlobe (США). В проекте создания спутника участвовали такие компании как Ball Aerospace (платформа, интеграция), Eastman Kodak (оптическая камера), ИТТ (интеграция), BAE Systems (система обработки). Спутник был выведен на околоземную солнечно-синхронную орбиту высотой 496 км. КА WorldView-1 обеспечивает ежедневное покрытие земной поверхности площадью в 750 тыс. км², со средним периодом пролета над одной и той же территорией в 1,7 суток. Спутник оснащен телескопом с апертурой 60 см для съемки только в панхроматическом режиме с пространственным разрешением до 0,5 м. Спутник может выполнять съемку по различным схемам: кадровая съемка, маршрутная съемка (вдоль береговых линий, дорог и других линейных объектов), площадная съемка (участок размером 60х60 км), а также стереосъемка. Расчетный срок пребывания на орбите составит не менее 7 лет.

Основные технические характеристики

Режим	Панхроматический
Спектральный диапазон, мкм	0,5-0,9
Пространственное разрешение в надири, м	0,5
Радиометрическое разрешение, бит на пиксель	11
Скорость передачи данных на наземный сегмент, Мбит/сек	800
Максимальное отклонение от надира, °	40
Точность геопозиционирования, м	CE90 mono = 6,5
Формат файлов	GeoTIFF, NTIF
Ширина полосы съемки, км	17,6
Обработка	Радиометрическая, сенсорная и геометрическая коррекция. Приведение к картографической проекции
Периодичность съемки, суток	1,7-5,9 (в зависимости от широты области съемки)
Возможность получения стереопары	Да (с одного витка)

Словарь терминов

Геотемпературное и влажностное картографирование – составление карт температур и влажности земной поверхности.

Гиперспектральная съемка – съемка земной поверхности одновременно в 20-ти и более диапазонах (зонах спектра) электромагнитных волн.

Гиперспектральные изображения (снимки) – изображения, полученные в результате гиперспектральной съемки.

Взброс – разрыв с крутопадающим сместителем, по которому висячее крыло поднято относительно лежащего. При пологом сместителе разрыв относят к надвигу.

Взбросо-сдвиг – разрывы с косым смещением по отношению к падению (и простиранию) сместителя, комбинирующие элементы сдвига и взброса. На последнем месте ставится термин, выражающий преобладающий элемент, т. е. у сдвиго-взброса крутое, а у взбросо-сдвига пологое склонение вектора смещения в плоскости сместителя. У обоих относительно поднято висячее крыло.

Диапазоны электромагнитных волн, используемые при дистанционном зондировании Земли – ультрафиолетовый, видимый (оптический, панхроматический), инфракрасный (ИК-диапазон), радиоволновый. В свою очередь каждый из этих диапазонов делится на поддиапазоны (зоны спектра).

Дислокация – см. деформация.

Деформация (deformatio – искажение) – в геологии изменение формы и объема горной породы отдельных участков земной коры под действием тектонических сил.

Дизъюнктив, дизъюнктивная дислокация – см. разрыв.

Количественный спектральный дистанционный образ – элементы земной поверхности и объектов на ней, выраженные в спектральных характеристиках.

Космоструктурное картографирование – составление структурных карт по результатам дешифрирования космических снимков.

Космоструктурные исследования – анализ и оценка возможности выявления структурных форм осадочного чехла по космическим снимкам.

Ловушки нефти и газа – термин впервые был введен Мак-Коллофом в 1934 г. и применялся к разнообразным коллекторам нефти. В настоящее время ловушкой называют объем полости, которая может вместить нефть или газ вне зависимости от ее формы и условий возникновения, но при наличии способности к аккумуляции и консервации нефти и газа в ней. Выделяют основные типы ловушек нефти и газа: структурный, стратиграфический и комбинированный.

Малоамплитудные дислокации – разрывно-флексурные нарушения с амплитудой порядка нескольких метров.

Мультиспектральная (многозональная, многоспектральная) съемка – дистанционная съемка земной поверхности одновременно в нескольких диапазонах (зонах спектра) электромагнитных волн.

Мультиспектральные (многозональные, многоспектральные) изображения (снимки) – изображения, полученные в результате мультиспектральной съемки.

Надвиг – разрывное нарушение обычно с пологим (до 45° или не более 60°) наклоном сместителя, по которому висячий бок поднят относительно лежачего и надвинут на него.

Пассивная радиолокационная съемка – получение изображений земной поверхности и объектов на ней путем приема радиолокационной аппаратурой естественного излучения от поверхности Земли и объектов на ней.

Разрыв (разрывное нарушение) – общее название многих видов тектонических нарушений, сопровождаемых перемещением разорванных частей геологических тел относительно друг друга. В русской геологической литературе XIX и начала XX веков встречается лишь название отдельных видов разрывов. Позднее стали применяться термины дизъюнктив и дизъюнктивная (разрывная) дислокация, а затем их отчасти заменили термины тектонический разрыв, разрывное смещение, разрывное нарушение, дизъюнктивное нарушение, разлом (очень часто в региональных описаниях).

Рельефообразование – создание форм рельефа под действием рельефообразующих процессов (эндогенных и экзогенных) и их агентов (агенты морфогенеза).

Сбросо-сдвиг – разрывы с вертикальным или наклонным сместителем и косым смещением по отношению к падению (и простиранию) сбрасывателя, комбинирующие элементы сдвига и сброса. По предложению Белоусова (1952) на последнем месте ставится термин, выражающий преобладающий характер смещения, т. е. у сбросо-сдвига склонение вектора перемещения пологое, а у сдвиго-сброса – крутое. В обоих случаях висячее крыло смещено вниз.

Сдвиго-взброс – см. взбросо-сдвиг.

Сдвиго-сброс – см. сбросо-сдвиг.

Сместитель – плоскость, по которой происходит смещение крыльев осадочного чехла.

Структура – пространственная форма. Говорят о структуре Земли в целом, о структуре ее отдельных областей, районов и небольших участков. Часто структурой называют различные

типы складок, поднятий, куполов и другие элементарные формы залегания геологической породы. В нефтяной геологии под термином структура часто понимают приподнятые, положительные тектонические формы (антиклинальные, брахиантиклинальные, диапировые и др. складки, купола, своды и пр.), благоприятные для образования залежей нефти и газа.

Структурная геология – раздел геотектоники, изучающий формы залегания геологических пород и тектонические нарушения (скачковые, разрывные, магматогенные) Земли в целом, а также разрабатывающий классификацию этих форм в связи с их закономерным размещением и сочетанием в земной коре по глубине и площади. Обычно структурная геология занимается структурными формами малого и среднего размера, оставляя крупные формы геотектонике.

Структурная карта – отражает только морфологию и типы тектонических форм, но не раскрывает историю их формирования и особенности развития.

Структурное картографирование – составление карт структурных форм залегания геологической породы.

Тепловая дистанционная съемка – дистанционная съемка с помощью специальных устройств в дальнем инфракрасном диапазоне электромагнитных излучений.

Траппы – употребляется как общее название основных пород (долеритов, диабазов, диабазовых порфиритов, базальтов и др.), развитых на платформе, произошедших из толеитовой магмы и относящихся к определенной магматической форме.



Испания.
Синтезированное
цветное изображение в
естественных цветах.

Отраслевой медиа-проект **GeoTop**

- Интернет-каталог
- Печатный справочник
- Wap-каталог

Тематика:

Геодезия, картография, ГИС, землеустройство, фотограмметрия ...

Деятельность:

Рекламно-информационные услуги в сети Интернет и печатном издании

Миссия:

Достоверно и современно предоставлять в сети Интернет и печатном издании информацию о всех российских и крупных зарубежных организациях и Интернет-проектах, работающих в области геодезии, картографии, ГИС, землеустройства, фотограмметрии, ДЗЗ и т.п.



GeoTop

Web: www.geotop.ru

Wap: wap.geotop.ru

E-mail: mail@geotop.ru