

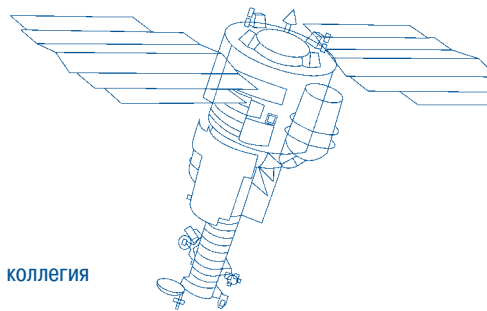
Уважаемые коллеги!

Первый выпуск нашего журнала, основной темой которого было использование данных ДЗЗ в нефтегазовой сфере, вышел в свет два года назад. Учитывая большой интерес к этой проблеме, а также быстрое развитие и совершенствование аппаратных, программных средств и технологий, мы решили посвятить этой тематике предлагаемый Вашему вниманию номер «ГЕОМАТИКИ» в 2011 г.

ГИС-технологии и космические съемки помогают решению различных задач территориального управления предприятиями и инфраструктурой нефтегазового комплекса. С их помощью можно проводить инвентаризацию существующих и строящихся объектов; составление крупномасштабных тематических карт и планов; контролировать изменения инфраструктуры объектов добычи и транспортировки нефти и газа; выявлять места повреждений трубопроводов; вести мониторинг экологического состояния территорий в районах добычи, переработки, транспортировки нефти и газа и т. д.

Особо выделяется направление, связанное с использованием данных ДЗЗ для поиска и разведки месторождений полезных ископаемых. Применение космического мониторинга позволяет радикально уменьшить стоимость геологоразведочных работ, проводя комплексное исследование обширных территорий, зачастую недоступных по тем или иным причинам для традиционных методов геологоразведки.

В последние годы все активнее в нефтегазовом комплексе применяются данные радарных съемок. В журнале под рубрикой «Актуальная тема» опубликован материал о возможностях космического радарного мониторинга для обеспечения промышленной и экологической безопасности при разработке нефтегазовых месторождений шельфа. Главной теме номера посвящены также статьи руководителей и специалистов научно-исследовательских институтов и центров, организаций и компаний, работающих в сфере добычи углеводородов, занимающихся экологическими и другими проблемами отрасли. Среди них – НИЦ «Планета», Геологический институт РАН, ООО «Геокосмомониторинг», ООО «СЛИК», НПООО «ГРАУНД ЛТД», ЗАО «ТОМКО», ПИИ «ГЕО» и др. Свои материалы, посвященные новой версии программного комплекса ENVI, использованию данных радарных съемок и др., представляют на страницах журнала специалисты компании «Совзонд».



Редакционная коллегия

Содержание

Новости	4
---------------	---

Актуальная тема

Возможности космического радарного мониторинга для обеспечения промышленной и экологической безопасности при разработке нефтегазовых месторождений шельфа. Мнение эксперта	10
--	----

Данные дистанционного зондирования

Ю.Б. Баранов, М.С. Горяинов, Ю.И. Кантемиров, Е.В. Киселевский, С.М. Кулапов, В.А. Нохрин Преимущество аэрокосмических радарных систем при выполнении маркшейдерских работ на нефтегазовых месторождениях (на примере Южно-Русского месторождения)	12
В.В. Асмус, В.А. Кровотынцев, А.М. Алферов, З.В. Андреева, О.Н. Григорьева, Н.П. Иванова, И.С. Тренина Использование данных спутникового мониторинга для изучения гидрометеорологической и экологической обстановки на шельфе северо-западной части Каспийского моря	15

Обработка данных ДЗЗ

Ф. Аккерман Рост производительности компьютеров и развитие фотограмметрии	23
Д.С. Шкурьчев, А.Б. Иргалеев Автоматизация оценки загрязнения окружающей среды на нефтегазовых месторождениях с использованием ГИС-технологий	32
Н.Б. Ялдыгина Новое в линейке программных продуктов ENVI: ENVI 4.8, серверное приложение ENVI for ArcGIS Server	35

Использование данных ДЗЗ

В.С. Федоровский, Е.В. Скларов Использование аэрокосмических данных высокого разрешения для целей геологической картографии (Ольхонский геодинамический полигон, Байкал)	42
А.В. Дурандин Структурно-тектонический анализ данных дистанционного зондирования Земли	48
А.М. Пация Данные дистанционного зондирования Земли. Основа ГИС нефтегазовых предприятий	52
В.И. Буканов Организация и результаты спутникового мониторинга нефтяных загрязнений в юго-восточной части Балтийского моря	55
В.И.Тарасюк, А.И. Зюканов Из опыта использования данных ДЗЗ для планирования разработки и добычи нефти на нефтяном месторождении в Ираке	58
В.В. Ростовцев, В.В. Лайнвебер, В.Н. Ростовцев К большой нефти России	60
А.В. Абросимов Два проекта компании «Совзонд» в области информационного обеспечения нефтегазодобывающих предприятий на базе современной космической съемки: месторождение на этапе геологоразведки и освоенный лицензионный участок	63
Ю.И. Кантемиров Космический мониторинг смещений земной поверхности на месторождениях Кандым и Гумбулак Республики Узбекистан по данным космических радарных съемок	72
Д.М. Трофимов, В.Б. Серебряков, М.К. Шуваева, И.Ю. Хромова Оценка методики прогноза нефтегазоносности северо-западной Колумбии по дистанционным и геофизическим данным	80

Выставки и конференции

V Юбилейная Международная конференция «Космическая съемка – на пике высоких технологий»	91
V Международный форум по спутниковой навигации	93
XXII ежегодная выставка информационных и коммуникационных технологий Softool' 2011	95

Справочный раздел

Особенности заказа данных с космических аппаратов дистанционного зондирования Земли	98
---	----

Content

News.....	4
Hot topic	
Possibilities of space radar monitoring to ensure industrial and environmental safety in the development of oil and gas fields on the shelf. Expert opinion	10
Remote Sensing Data	
Y. Baranov, M. Goryaynov, Y. Kantemirov, E. Kiselevsky, S. Kulapov, V. Nohrin Advantages of space radar systems in carrying out mine surveying work in the oil and gas fields (example of Yuzhno Russkoe field)	12
V. Asmus, V. Krovotyntsev, A. Alferov, Z. Andreeva, O. Grigorieva, N. Ivanova, I. Trenina Use of satellite-based monitoring for the investigation of hydrometeorological and ecological situation on the shelf of the northwestern part of the Caspian Sea	15
Remote Sensing Data Processing	
F. Akkerman Increase of computer productivity and the development of photogrammetry	23
D. Shkurychev, A. Irgaleev Use of GIS technologies in the automation of the assessment of the environmental pollution of oil and gas fields... ..	32
N.Yaldygina Update ENVI 4.8 and New Server Application for ArcGIS Server	35
Application of Remote Sensing Data	
V. Fedorovsky, E. Sklyarov Use of aerospace high resolution data in geological mapping (Olhonsky geodynamic polygon, Baikal)	42
A. Durandin Structural-tectonic analysis of remote sensing data	48
A. Patsiya Remote sensing data. GIS basis of oil and gas companies	52
V. Bukanov Organization and results of satellite-based monitoring of oil pollution in the south eastern part of the Baltic sea	55
V. Tarasyuk, A. Zyukanov Experience of the remote sensing data appliance for the planning, development and extraction of oil at an oil field in Irak	58
V.V. Rostovtsev, V. Lainveber, V.N. Rostovtsev Great Russian oil resources	60
A. Abrosimov Two projects of Sovzond Company in the sphere of informational management of oil and gas companies: field at the stage of exploration and the developed licensed area	63
Y.Kantemirov Space monitoring of earth shifts at the fields Kandym and Gumbulak (Republic of Uzbekistan) according to space radar surveys.....	72
D. Trofimov, V. Serebryakov, M. Shuvaeva, I. Khromova Evaluation of the methodology of the projected oil production in the north western part of Columbia using remote sensing and geophysical data	80
Exhibitions and Conferences	
V Anniversary International Conference «Remote Sensing – the Synergy of High Technologies»	91
V International satellite navigation forum.....	93
XXII annual IT and telecommunication exhibition Softool' 2011	95
References	
Peculiarities of remote sensing data orders.....	98



Учредитель – Компания «Совзонд»

Редакционная коллегия

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

Ответственный за выпуск

А.М. Ботрякова

Дизайн макета и обложки

И.А. Петрович

Компьютерная верстка

С.А. Имподистов

Информационно-рекламная служба

А.М. Ботрякова
С.Н. Мисникович

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

Интернет: www.geomatica.ru

Перепечатка материалов без разрешения редакции запрещается.

Тираж 3000 экз.
Рекомендованная цена - 199 р.

Номер подписан в печать
22.02.2011 г.

Печать
ООО «Технология ЦД»

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

КОМПАНИЕЙ «СОВЗОНД» РАЗРАБОТАН СЕРВИС ДЛЯ ОБМЕНА МЕТАДАНЫМИ СПУТНИКОВЫХ ПОКРЫТИЙ



Отделом разработки геоинформационных систем компании «Совзонд» реализован сервис, обеспечивающий экспорт данных о покрытии территорий космическими снимками в соответствии с «Профилем метаданных Единого банка геоинформационных данных (ЕБГД) на основе стандартов ISO 9115, ISO 19115-2 и ISO 19139», разработанным ОАО «НИИ точных приборов».

Совместные разработки специалистов компании «Совзонд» и ОАО «НИИ точных приборов» обеспечивают возможность стандартизованного обмена каталогизированными метаданными спутниковых покрытий компании «Совзонд», в т. ч. и для их использования в открытом в

декабре 2010 г. едином геопортале Федерального космического агентства (Роскосмос) (рис. 1).

Профиль метаданных ЕБГД применяется при организации хранения метаданных, а также при реализации протоколов обмена метаданными между центрами Единой территориально-распределенной информационной системы дистанционного зондирования Земли (ЕТРИС ДЗЗ) и другими организациями и информационными автоматизированными системами.

В Едином каталоге размещена информация о данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с космических аппаратов:

- «Ресурс-ДК1» (Россия), получаемая из каталога

Наземного комплекса приема, обработки и распространения спутниковой информации (НКПОР);

- «Монитор-Э», «Метеор-М1», «Океан-О» (№1), «Ресурс-О1» (№ 2, 3, 4) (все – Россия), ERS-2 (Европейское космическое агентство), получаемая из Генерального каталога НЦ ОМЗ ОАО «Российские космические системы»;
- QuickBird, WorldView-1, WorldView-2, GeoEye-1, IKONOS (все – США), RapidEye (Германия), ALOS/PRISM, AVNIR-2 (Япония), получаемая из каталога космических снимков компании «Совзонд».



Рис. 1. Интерфейс геопортала Роскосмоса

ПОПУЛЯРНЫЙ ПРОДУКТ ОРТОРЕГИОН™ ОБНОВЛЕН ПО ДАННЫМ 2009–2010 гг.

Компания «Совзонд» обновила продукт ОРТОРЕГИОН™. Космические снимки, лежащие в основе продукта, полученные в 2006–2007 гг., заменены на новые – 2009–2010 гг. на большую часть территории Российской Федерации.

В частности, продукт был обновлен на один из самых больших регионов России – Ханты-Мансийский автономный округ – Югру, площадью более 500 тыс. кв. км (рис. 1).

Напомним, что компания «Совзонд» выпускает эксклюзивный продукт ОРТОРЕГИОН™ с 2008 г. в виде бесшовных ортотрансформированных мозаик космических снимков с разрешением на местности 2,5 м и точностью, соответствующей

масштабу 1:25 000. Он создается на базе космических снимков ALOS/PRISM без использования наземных опорных точек, за счет беспрецедентно высокой точности RPC-коэффициентов, сопровождающих каждую сцену съемки.

Отличное геометрическое качество, высокие измерительные и дешифровочные свойства наряду с более чем умеренной ценой сделали ОРТОРЕГИОН™ одним из самых популярных и покупаемых продуктов на отечественном рынке данных дистанционного зондирования Земли из космоса. Во многом коммерческая успешность продукта ОРТОРЕГИОН™ связана с тем что он является законченным, «коробочным», при этом заказчик:

- четко понимает процесс формирования цены на свой заказ, не платит за избыточную информацию (исходные данные, метаданные, лишние спектральные каналы);
- получает ортотрансформированную мозаику только на интересующую его территорию (федеральный округ, область, край, административный район и т. д.) и соответственно не тратит лишние средства;
- может, минуя все промежуточные стадии, сразу загрузить мозаику в используемую ГИС-оболочку (ArcGIS, MapInfo Professional, ГИС «Панорама» и т. п.) и приступить непосредственно к работе.

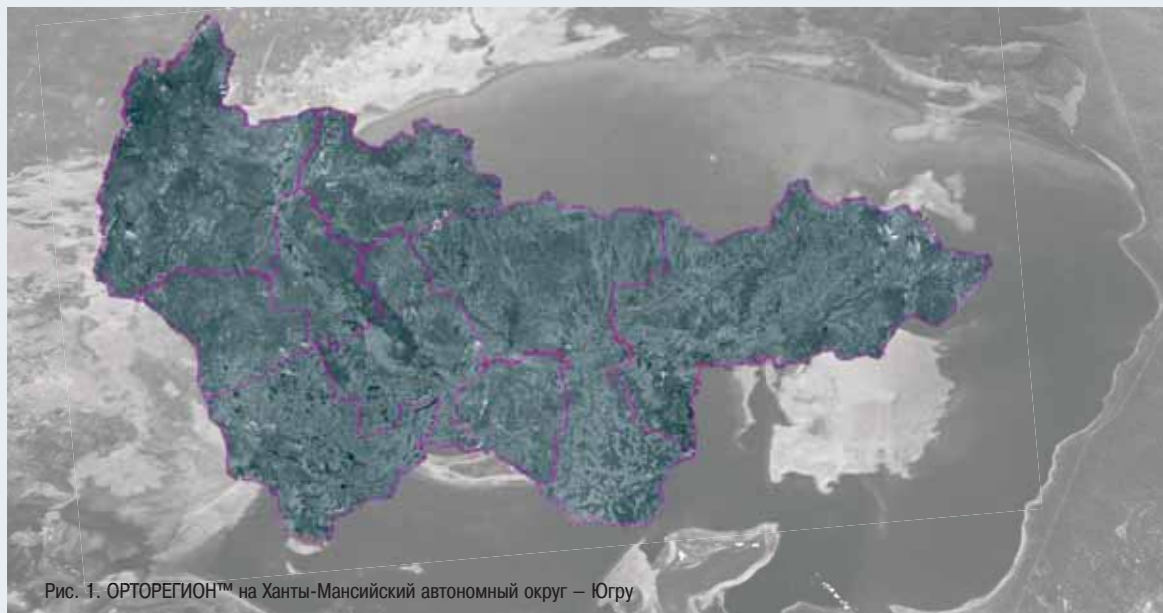


Рис. 1. ОРТОРЕГИОН™ на Ханты-Мансийский автономный округ – Югру

НОВЫЕ РЕЖИМЫ СЪЕМКИ РАДАРНОГО СПУТНИКА RADARSAT-2

Компания MDA (Канада) объявила о появлении принципиально новых и уникальных режимов съемки радарного спутника RADARSAT-2 (рис. 1). Эти режимы характеризуются наилучшим соотношением «площадь сцены – пространственное разрешение – поляризационный режим» среди всех радарных спутников и режимов съемки, представленных на рынке.

Пять новых режимов получены путем увеличения ширины полосы съемки и длины сцены по направлению азимута в 2,5–3 раза при

сохранении пространственного разрешения. Они получили названия Wide Ultra-Fine (расширенный сверхвысокого разрешения), Wide Multi-Look Fine (расширенный высокого разрешения с некогерентным накоплением), Wide Fine (расширенный высокого разрешения), Wide Fine Quad-pol (расширенный высокого разрешения с полной поляризацией), Wide Standard Quad-pol (расширенный стандартный с полной поляризацией). В табл. 1 приведены основные параметры новых режимов в сравнении с существующими.



Рис. 1. Спутник RADARSAT-2

Таблица 1
Сравнительные характеристики режимов съемки КА RADARSAT-2

Режим	Пространственное разрешение, м	Размер сцены, км	Поляризация
Ultra-Fine	3	20 x 20	Одинарная (по выбору – HH, или W, или HV, или VH)
Wide Ultra-Fine	3	50 x 50	
Multi-Look Fine	3 x 4,5	50 x 50	
Wide Multi-Look Fine	3 x 4,5	90 x 50	Одинарная (по выбору – HH, или W, или HV, или VH); двойная (по выбору – HH/HV или W/VH)
Fine	7	50 x 50	
Wide Fine	7	150 x 170	Полная (HH+W+HV+VH)
Fine Quad-pol	7	25 x 25	
Wide Fine Quad-pol	7	50 x 25	
Standard Quad-pol	7 x 14	25 x 25	
Wide Standard Quad-pol	7 x 14	50 x 25	

Из таблицы видно, что, например, площадь сцены режима Wide Fine по сравнению со сценной режимом Fine увеличилась в 10 раз при сохранении пространственного разрешения 7 м. При этом следует отметить, что стоимость заказа данных в новом режиме увеличилась всего лишь в 2 раза.

Напомним, что спутник RADARSAT-2 был запущен в 2007 г. Космический аппарат характеризуется пространственным разрешением от 3 до 100 м, возможностью съемки во всех поляризационных режимах, широким диапазоном площадей кадров и очень высокой производительностью. Мониторинг всей земной поверхности осуществляется за 2–3 дня. На сегодняшний день данные с этого спутника подходят практически для любых задач, решаемых с помощью спутниковых радиолокаторов.

ОТКРЫТИЕ НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА «КОСМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В НЕФТЕГАЗОВОМ КОМПЛЕКСЕ РОССИИ»



Программой развития Российского государственного университета нефти и газа им. И.М. Губкина как национального исследовательского университета на 2010–2015 гг. предусматривается разработка и практическое использование современных методов и технологий обработки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса для решения широкого круга задач в нефтегазовой отрасли народного хозяйства.

С этой целью при кафедре геологии в феврале 2011 г. создан Научно-образовательный центр (НОЦ) «Космические технологии в нефтегазовом комплексе России», в состав которого, помимо универси-

тета вошли ведущие научно-исследовательские и технологические предприятия России соответствующего профиля: Научный центр аэрокосмического мониторинга «Аэрокосмос», Институт проблем нефти и газа РАН, ООО «Газпром ВНИИГАЗ», компания «Совзонд».

НОЦ «Космические технологии в нефтегазовом комплексе России» обладает наибольшим в Российской Федерации объединенным (технологическим, информационным и научно-методическим) ресурсом в области приема и обработки данных ДЗЗ из космоса в интересах нефтегазового комплекса страны с использованием современных

интерактивных программно-технических средств визуализации геопространственных данных.

Основные усилия НОЦ «Космические технологии в нефтегазовом комплексе России» будут направлены на разработку, модернизацию и внедрение программно-технических средств для информационно-аналитического обеспечения нефтегазового комплекса данными ДЗЗ, а также результатами их обработки с целью ведения космического мониторинга добычи, транспортировки и переработки нефти и газа, решения задач обеспечения экологической безопасности.

ВЫШЛА НОВАЯ ВЕРСИЯ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОБРАБОТКИ РАДАРНЫХ СНИМКОВ SARSCAPE 4.3.



Программный комплекс SARscape позволяет проводить обработку данных, полученных радаром с синтезированной апертурой (SAR) космических аппаратов RADARSAT-1/2, Envisat/ASAR, ALOS/PALSAR, TerraSAR-X, COSMO-SkyMed-1-4, ERS-1/2, JERS-1 и др. Возможности SARscape включают в себя радарную интерферометрию (построение цифровых моделей местности, определение подвижек), поляриметрию (создание комpositивных поляриметрических изображений, выполнение классификации объектов) и др.

В новой версии проведена большая работа по улучшению основных алгоритмов обработки радиолокационных

данных, в том числе радиолокационной интерферометрии. В частности:

- улучшен модуль «Interferometry»;
- появилась процедура атмосферной коррекции интерферограмм по данным синхронных оптических съемок;
- появились два новых модуля: «Sbas» (для обработки многопроходных серий радарных снимков для задач выявления смещений земной поверхности) и «Quality assessment» (для задач оценки качества радарных данных и выходных продуктов их обработки);
- переработан интерфейс, он стал более логичным, а также

существенно улучшена последовательная обработка данных;

- обновлен раздел документации (Help), а также тестовые наборы данных.

Следует отметить, что обработка радарных данных значительно отличается от обработки оптических данных, поэтому и возникает необходимость в специализированном программном обеспечении, а также наличии подготовленных специалистов. В последнее время все большей популярностью пользуется индивидуальное обучение работе в программном комплексе SARscape, программа которого может быть доработана с учетом пожеланий организации-участника.

КОМПАНИЯ «СОВЗОНД» ПРИНЯЛА УЧАСТИЕ В 5-Й МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «POLINSAR-2011»

5-я Международная научно-практическая конференция по поляриметрии и поляриметрической интерферометрии радаров с синтезированной апертурой «PolInSAR-2011» прошла 24–28 января 2011 г. в городе Фраскати (Италия) (рис. 1). Конференция была организована Центром дистанционного зондирования Европейского космического агентства (ESA ESRIN). Эта конференция проводится каждые два года и является наиболее масштабным мировым событием, посвященным радиолокационной поляриметрии и поляриметрической интерферометрии.

Конференция собрала более 150 специалистов, занимающихся созданием поляриметрических радиолокаторов с синтезированной апертурой, проектированием космических аппаратов, разработкой алгоритмов и программных продуктов для обработки поляриметрических радиолокационных снимков, а также пользователей этих программных продуктов и данных поляриметрических радарных съемок (рис. 2).

В конференции приняли участие представители Европейского, Итальянского, Канадского и Японского космических агентств, Германского аэрокосмическо-

го центра. Также в конференции приняли участие представители различных университетов и компаний из США, Германии, Италии, Испании, Нидерландов, Норвегии, Великобритании, Сингапура, Бразилии, Туниса, Японии, Китая, Южной Кореи и других стран. Представители компании «Совзонд» были единственными участниками от Российской Федерации.

На конференции был сделан обзор возможностей действующих спутниковых радиолокационных поляриметрических систем, были приведены их сравнительные характеристики, преимущества и недостатки. Были рассмотрены вопросы одноканальной съемки в различных линейных ко- и кросс-поляризациях, а также преимущества одновременной съемки в двух и четырех линейных поляризациях. Многие участники высказывались в пользу выполнения космической съемки в круговых поляризациях, в том числе одновременно в двух и четырех. Значительное внимание было уделено компактным поляриметрическим режимам съемки.

Наиболее обсуждаемыми на конференции темами стали:

- планируемый Европейским космическим агентством запуск спутникового поляриметрического радиолокатора Р-диапазона (длина волны 1 м), основной задачей которого станет оценка высот деревьев и объема биомассы леса;
- результаты обработки поляриметрических данных пассивного микроволнового спутникового радиометра SMOS, в основном касающиеся построения карт влажности земной поверхности;
- результаты обработки четырех-поляризационных снимков со спутника TerraSAR-X и перспективы съемок в таком режиме с аппарата TanDEM-X. Основные полученные результаты касаются классификации сельхозкультур, определения породного состава леса и изучения ледовых массивов;
- обзор возможностей планируемых к запуску спутников Европейского космического агентства Sentinel-1A и Sentinel-1B. Одной из основных возможностей будет являться полное глобальное покрытие с разрешением 12 м, обновляемое в интерферометрическом режиме каждые 12 дней;



Рис. 1. Место проведения конференции

- усовершенствование технологии интерферометрии постоянных рассеивателей за счет использования в качестве входных данных серий четырех-поляризационных радиолокационных снимков;
- оценка потенциала и применение на практике коммерчески доступных четырех-поляризационных радиолокационных данных (ALOS/PALSAR – только архив и RADARSAT-2 – архив и возможность новой съемки) для решения задач классификации и мониторинга урожайности сельскохозяйственных культур, определения породного состава леса и мониторинга вырубок, оценки высоты растительности и объема растительной биомассы, определения нефтяных пленок, айсбергов и кораблей на поверхности воды, изучения ледовых массивов и т. д.



Рис. 2. Зал заседаний конференции

Конференция показала заинтересованность широкого круга специалистов по всему миру в использовании поляриметрических радарных данных для решения практических и научных задач. Участники конференции обменялись опытом в области обработки и применения радарных данных. В завершение конференции организаторами было сделано заявление о проведении этой конференции в дальнейшем на регулярной основе.

Значительная часть рассматриваемых на конференции алгоритмов обработки радиолокационных поляриметрических снимков реализована в программном комплексе SARscape (ITT VIS, США), дистрибьютором которого на территории России и стран СНГ является компания «Совзонд». В частности, модуль SARscape Gamma and Gaussian Filtering позволяет выполнить предварительную обработку поляриметрических радарных данных, в модуле SARscape Basic можно выполнить мультитременную фильтрацию поляриметрических снимков и сгенерировать RGB-композиции из разных поляризаций или из снимков за разные даты, модуль SARscape Polarimetry and Polarimetric Interferometry позволяет выполнить несколько видов поляриметрических декомпозиций и классификаций, проанализировать поляриметрические подписи объек-

тов земной поверхности, рассчитать произвольную поляризацию (например, круговую или эллиптическую), рассчитать поляриметрические фазовые разности и когерентность и многое другое.

В последнее время все большей популярностью пользуется курс обучения работе с радарными данными «**Обработка данных радиолокационных съемок в дополнительных модулях ENVI SARscape Basic и SARscape Interferometry**», проводимый компанией «Совзонд». Программа курса построена таким образом, чтобы он был интересен как для тех, кто только начинает работать с радарными данными и программным комплексом SARscape (ITT VIS, США), так и для специалистов. Один из дней курса практически полностью посвящен обработке радиолокационных поляриметрических данных для решения задач сельского и лесного хозяйства.

Компания «Совзонд» является безусловным лидером в Российской Федерации по выполнению проектов в области обработки радарных данных: от подбора необходимых заказчику радиолокационных спутниковых данных и поставки специализированного программного обеспечения до выполнения совместных проектов по обработке этих данных и внедрению используемых технологий на базе заказчика. Приглашаем заинтересованные организации к сотрудничеству.

Возможности космического радарного мониторинга для обеспечения промышленной и экологической безопасности при разработке нефтегазовых месторождений шельфа. Мнение эксперта

Во многих сферах деятельности, в том числе в нефтегазовом спектре, в достаточной степени эффективно используются оптико-электронные данные дистанционного зондирования Земли. Можно с уверенностью сказать, что радарные данные имеют также хорошую перспективу занять свой сегмент рынка, а их более активное применение несомненно будет приносить существенный экономический эффект. Высказать свое мнение о возможностях радарного мониторинга для обеспечения промышленной и экологической безопасности при разработке нефтегазовых месторождений шельфа мы попросили ведущего специалиста компании «Совзонд» по обработке радарных данных Ю.И. Кантемирова.



В настоящее время на орбите находится значительная группировка радарных спутников зондирования Земли (11 спутников). Данные космической съемки с этих спутников не зависят от облачности и освещенности и в связи с этим находят широкое применение для задач оперативного (с гарантированной периодичностью) мониторинга судоходства, буровых и добывающих платформ, ледовой обстановки, нефтяных пятен и т. д.

Физический смысл вышеперечисленных морских приложений заключается, с одной стороны, в том, что вода поглощает радиолокационный сигнал, в то время как, например, суда, нефтегазовые платформы и айсберги являются хорошими отражателями. Поэтому эти объекты определяются на радарных снимках водной поверхности как яркие пиксели на темном фоне. С другой стороны, углеводородные пленки характеризуются более гладкой поверхностью, чем обычная водная поверхность, а поэтому нефтяные пленки отображаются на радарном снимке более темными пятнами, чем окружающая водная поверхность.

На рис. 1 приведен пример обнаружения кораблей на водной поверхности.

Снимок в поляризации VH (или HV), дающий наибольшую контрастность между водой и хорошо отражающими объектами на поверхности воды при малых углах съемки от вертикали, может, например, охватывать площадь 150 x 170 км при пространственном разрешении 7 м (RADARSAT-2 Wide Fine) или площадь 500 x 500 км при разрешении около 100 м (RADARSAT-2 ScanSAR Wide). Здесь следует отметить, что радарные снимки способны обнаруживать на поверхности воды объекты линейными размерами значительно меньше пространственного разрешения этих снимков.

При больших углах съемки от вертикали для обнаружения объектов на поверхности воды могут использоваться как данные в поляризации HV, так и данные в режиме двойной поляризации HH/W. Это объясняется тем, что при больших углах съемки объекты на поверхности воды очень хорошо отражают в поляризации HH, тогда как данные в поляризации W характеризуются

наименьшим контрастом «вода – объект на поверхности воды». Поэтому безразмерное отношение амплитуд HH и W одного снимка будет характеризоваться очень низкими значениями для водной поверхности и значительно более высокими значениями для объектов на поверхности воды (особенно это характерно для данных X -диапазона). Одновременная съемка в двух поляризациях HH и W производится, например, следующими спутниками:

- съемка в режиме PingPong с разрешением 15 м сценами размером 30 x 30 км со спутников COSMO-SkyMed;
- съемка в режиме Stripmap Dual с разрешением 6,5 x 3,5 м сценами размером 50 x 15 км со спутников TerraSAR-X/TanDEM-X;
- съемка в режиме Wide Fine Quad Pol с разрешением 7 м сценами 50 x 25 км со спутника RADARSAT-2.

Аналогичным образом могут быть обнаружены айсберги и льдины на поверхности воды. В режиме съемки в двойной поляризации (HH/HV или W/VH) хорошо обнаруживается граница замерзания «вода – лед», а также дифференцируются типы льда (например, «старый лед – молодой лед»).

С другой стороны, радарная съемка реагирует на шероховатость отражающей поверхности. Это ее свойство позволяет определять природные и техногенные углеводородные пленки на поверхности воды (водная поверхность характеризуется волнением, тогда как нефтяные пятна на поверхности воды характеризуются гладкой поверхностью). Для этих целей лучше всего подходит поляризация W либо двойная поляризация HH/W . Эти же поляризации применяются для изучения морских течений.

Пример снимка водной поверхности в поляризации W показан на рис. 2. На снимке отчетливо дешифрируются возможное нефтяное пятно (в юго-западной

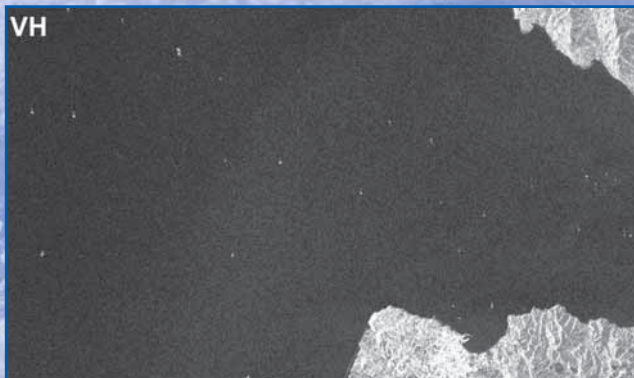


Рис. 1.
Гибралтарский пролив. Снимок со спутника RADARSAT-2 в поляризации VH . Яркие точки – корабли (Jeff Hurley MDA GSI, 2010)

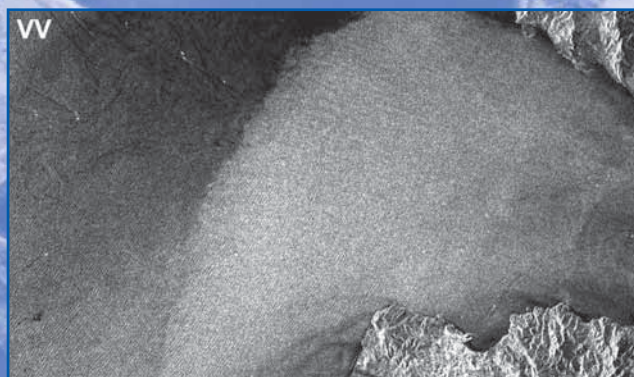


Рис. 2.
Гибралтарский пролив. Снимок со спутника RADARSAT-2 в поляризации W (Jeff Hurley MDA GSI, 2010)

части снимка), следы от прохождения кораблей, граница начала завихрений при входе в узкий пролив (западная часть снимка более темная, а восточная часть светлее).

Основное преимущество использования именно радарных снимков для решения всех вышеперечисленных задач – это независимость радарных снимков от облачности и освещенности. При этом действующая группировка радарных спутников технически может осуществить съемку одного и того же участка до 21 раза в течение суток (и даже больше).

Ю.Б. Баранов (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)

В 1978 г. окончил Московский геологоразведочный институт (Российский государственный геологоразведочный университет – РГГРУ). В настоящее время – начальник отдела геоинформационных и космических технологий ООО «Газпром ВНИИГАЗ», профессор кафедры геоинформатики РГГРУ. Доктор геолого-минералогических наук.

Ю.И. Кантемиров (Компания «Совзонд»)

В 2004 г. окончил РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. После окончания университета работал младшим научным сотрудником лаборатории космической информации для целей газовой промышленности в ООО «Газпром ВНИИГАЗ». С 2010 г. работает в компании «Совзонд» ведущим специалистом отдела программного обеспечения.

С.М. Кулапов (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)

В 2004 г. окончил РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. В настоящее время – научный сотрудник отдела геоинформационных и космических технологий ООО «Газпром ВНИИГАЗ».

М.С. Горяйнов (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)

В 2003 г. окончил Ставропольский государственный университет по специальности «геоинформационные системы». В настоящее время – старший научный сотрудник отдела геоинформационных и космических технологий ООО «Газпром ВНИИГАЗ». Кандидат географических наук.

Е.В. Киселевский (ОАО «Газпром»)

В 1976 г. окончил Московский горный институт. В настоящее время – начальник отдела маркшейдерско-геодезического и информационного обеспечения недропользования ОАО «Газпром». Кандидат технических наук.

В.А. Нохрин (ОАО «Севернефтегазпром»)

В 2006 г. окончил Московский государственный открытый университет по специальности «маркшейдерское дело». В настоящее время – главный маркшейдер ОАО «Севернефтегазпром».

Преимущество космических радарных систем при выполнении маркшейдерских работ на нефтегазовых месторождениях (на примере Южно-Русского месторождения)

Выполнение маркшейдерских работ на нефтегазовых месторождениях требует создания системы наблюдений за смещениями земной поверхности, реализуемой, как правило, в виде геодинимического полигона. Геодинимический полигон представляет собой систему закрепленных реперов в пределах контура всего месторождения и опорных пунктов, вынесенных за область влияния деформационных процессов. Для измерения смещений земной поверхности используется традиционный метод повторных инстру-

ментальных измерений, как правило, нивелирование II класса.

Реализация такого рода подхода на нефтегазовых месторождениях влечет строительство протяженных ходов нивелирования, длиной десятки километров, и больших финансовых затрат уже на стадии закрепления реперов (рис. 1).

Ход нивелирования по инструкции по производству маркшейдерских работ (РД 07-603-03) предусматривает расстояние между реперными точками в 300–500 м,

а в зонах предполагаемых тектонических нарушений – 100 м. В целях сокращения работ по оборудованию реперов возможно использование устьев буровых скважин. Однако, поскольку расстояние между реперными точками жестко задано, заменить их полностью за счет использования скважин невозможно. Крайне дороги и сами высокоточные геодезические измерения, требующие значительных временных затрат – от нескольких месяцев до года и более.

Очевидно, что такой подход не может быть и достаточно точным (реальную информацию о смещениях можно получить только на нивелирном ходе, тогда как на всей территории данные получают путем интерполяции), а также надежным, поскольку за это время могут произойти геодинамические и геомеханические изменения.

В ООО «Газпром ВНИИГАЗ» – головном научном центре ОАО «Газпром» в области геологии, разработки месторождений, добычи, транспортировки, подземного

хранения, переработки газа и промышленной безопасности – с недавнего времени для решения задач контроля деформаций земной поверхности и массива горных пород начали применять метод радиолокационной (радарной) космической съемки. Использование спутниковых радарных систем позволяет практически измерениями получить точную (миллиметровую) картину смещений земной поверхности и, таким образом, подтвердить и существенно уточнить расчетные ожидаемые параметры сдвижения массива пород и земной поверхности, возникающего при разработке месторождения.

В рамках системы маркшейдерско-геодезического мониторинга в 2010 г. ООО «Газпром ВНИИГАЗ» и компанией «Совзонд» совместно были выполнены работы по выявлению и анализу смещений земной поверхности, вызванных разработкой этого месторождения.

Южно-Русское нефтегазовое месторождение расположено в Красноселькупском районе Ямало-Ненецкого автономного округа. Являясь одним из крупнейших нефтегазовых месторождений России, оно должно стать основной ресурсной базой газопровода «Северный поток» (Nord Stream). Лицензия на разработку месторождения принадлежит компании ОАО «Севернефтегазпром». Месторождение введено в эксплуатацию в декабре 2007 г. Исходными спутниковыми данными для космического мониторинга смещений земной поверхности послужили радиолокационные космоснимки со спутника ALOS (Японское аэрокосмическое агентство).

ВЫЯВЛЕНИЕ СМЕЩЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПО КОСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ ALOS/PALSAR

Для анализа смещений земной поверхности была выбрана пара снимков ALOS/PALSAR от 30 июля 2007 г. и 19 июня 2009 г. Она характеризуется значительным временным промежутком между съемками – 2 года. Кроме того, разработка Южно-Русского месторождения началась как раз в 2007 г., т. е. данная пара снимков охватывает период в два года от начала добычи газа (рис. 2).

Радиолокационный спутник с помощью радарных сенсоров «освещает» земную поверхность, при этом луч отражается обратно на приемно-передающие антенны. Радарные изображения дают информацию о наклонных дальностях, шероховатости поверхности, ее диэлектрической составляющей и др. Из полученных

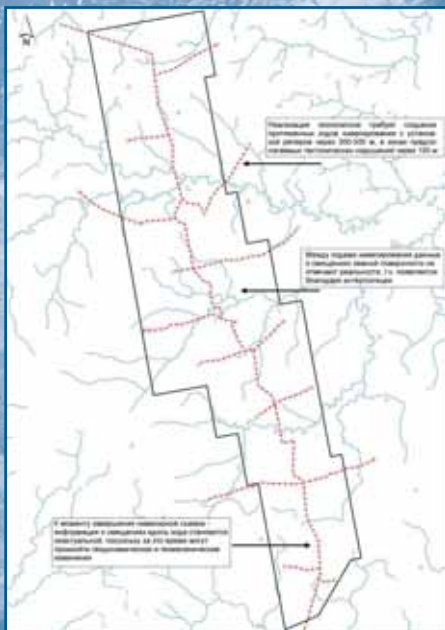


Рис. 1. Система наблюдений Южно-Русского месторождения, реализованная в виде ходов нивелирования II класса (красные линии)

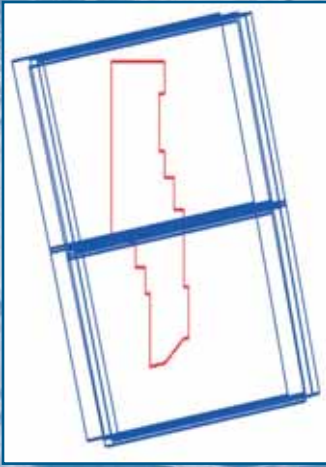


Рис. 2.
Схема покрытия территории Южно-Русского месторождения космическими снимками ALOS/PALSAR

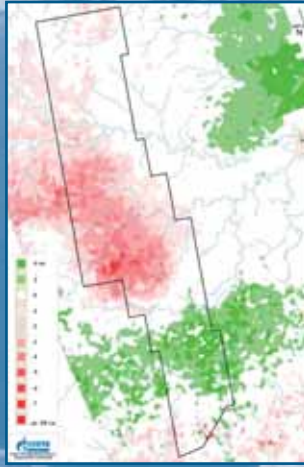


Рис. 3.
Карта вертикальных смещений земной поверхности Южно-Русского месторождения с 2007 по 2009 г.

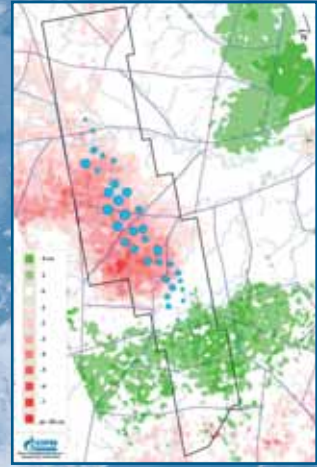


Рис. 4.
Карта смещений земной поверхности за период 2007–2009 гг. Южно-Русского месторождения. Линиями показаны разрывные нарушения, кругами объемы отборов газа.

данных отбираются снимки с интересующим интервалом времени, которые подвергаются многоэтапной обработке, после чего создается карта реальных вертикальных смещений земной поверхности (рис. 3).

Сопоставление и последующий анализ имеющейся геолого-геофизической, промыслово-геологической и маркшейдерско-геодезической информации позволяют судить о причинах выявленных смещений земной поверхности на территории Южно-Русского нефтегазового месторождения. В настоящий момент причины как положительных, так и отрицательных смещений заключаются в комплексном воздействии природных и техногенных процессов.

При анализе оседаний на месторождении и данных об отборах газа за весь период эксплуатации месторождения стновится очевидным что наибольшее опускание поверхности зарегистрировано на участках с максимальными значениями отборов. В то же время незначительные отборы газа в южной части месторождения в настоящее время не компенсируют вертикальное положительное движение неотектонических блоков, которое является причиной поднятия. Увеличение отбора газа в дальнейшем может продолжать изменять

ситуацию, а территория – продолжать испытывать опускание. В центральной части месторождения максимальные отборы газа на опускающихся неотектонических блоках приводят к установленным нами за период 2007–2009 гг. максимальным опусканиям земной поверхности до 8–10 см за два года. (рис. 4).

Использование спутниковой радарной съемки позволяет практически измерениями получить точную картину смещений земной поверхности и таким образом подтвердить и существенно уточнить расчетные ожидаемые параметры сдвига массива пород и земной поверхности, возникающего при разработке месторождения. Использование навигационных спутниковых систем (ГЛОНАСС, GPS) дает возможность верифицировать радарные данные, а совместно с космической радарной съемкой позволяет с точностью до нескольких миллиметров получать все три координаты любой точки земной поверхности на месторождении в реальном времени. Такая технология выполнения наблюдений для решения маркшейдерских задач на нефтегазовых месторождениях имеет преимущество по сравнению с традиционными геодезическими решениями как по скорости получения результата, так и по стоимости.

В.В. Асмус (ГУ «НИЦ «Планета»)

В 1976 г. окончил Московский институт электронного машиностроения по специальности «прикладная математика». После окончания института работает в ГУ «НИЦ «Планета». В настоящее время – директор ГУ «НИЦ «Планета». Доктор физ.-мат. наук, профессор.

А.М. Алферов (ГУ «НИЦ «Планета»)

В 1964 г. окончил Московский физико-технический институт по специальности «инженер-аэрофизик». После окончания института работал в ЦНИИМаш, ИПМ РАН им. М.В. Келдыша, ИГКЭ, ВНИЦлесресурс, с 2001 г. в ГУ «НИЦ «Планета». В настоящее время – зав. лабораторией ГУ «НИЦ «Планета», кандидат физ.-мат. наук.

В.А. Кровотынец (ГУ «НИЦ «Планета»)

В 1970 г. окончил Севастопольский приборостроительный институт по специальности «радиоинженер». До 1988 г. работал в Морском гидрофизическом институте Академии наук Украины, далее в ГУ «НИЦ «Планета». В настоящее время – зав. отделом ГУ «НИЦ «Планета», кандидат физ.-мат. наук.

Использование данных спутникового мониторинга для изучения гидрометеорологической и экологической обстановки на шельфе северо-западной части Каспийского моря*

В 2007–2010 гг. по заказу Нефтяной компании (НК) «ЛУКОЙЛ» ГУ «НИЦ «Планета» (как головной исполнитель в составе кооперации организаций Росгидромета) выполнил ряд проектов по разработке временных локальных технических условий (ВЛТУ) гидрометеорологического режима на объектах обустройства месторождений имени В. Филановского и Ю. Корчагина, расположенных на шельфе северо-западной части Каспийского моря. Данные ВЛТУ в дальнейшем используются в расчетах при проектировании различных сооружений на морском шельфе (платформ, жилых блоков, трубопроводов и др.). При выполнении этих проектов рассчитыва-

лись характеристики гидрометеорологического и ледового режима в различных точках Каспийского моря с использованием текущих и архивных данных спутниковых и судовых наблюдений, а также результатов гидродинамического и вероятностного моделирования многолетних рядов гидрометеорологической информации [1]. В этих работах эффективно использовались спутниковые данные и результаты их обработки, в том числе для восполнения информации по районам, плохо обеспеченным судовыми данными, а также для сопровождения судовых экспедиций, проводимых по заказу нефтяной компании.

* В подготовке статьи принимали участие также сотрудники ГУ «НИЦ «Планета» З.В. Андреева (младший научный сотрудник), О.Н. Григорьева (старший научный сотрудник), Н.П. Иванова (старший научный сотрудник), И.С. Тренина (зав. лабораторией).

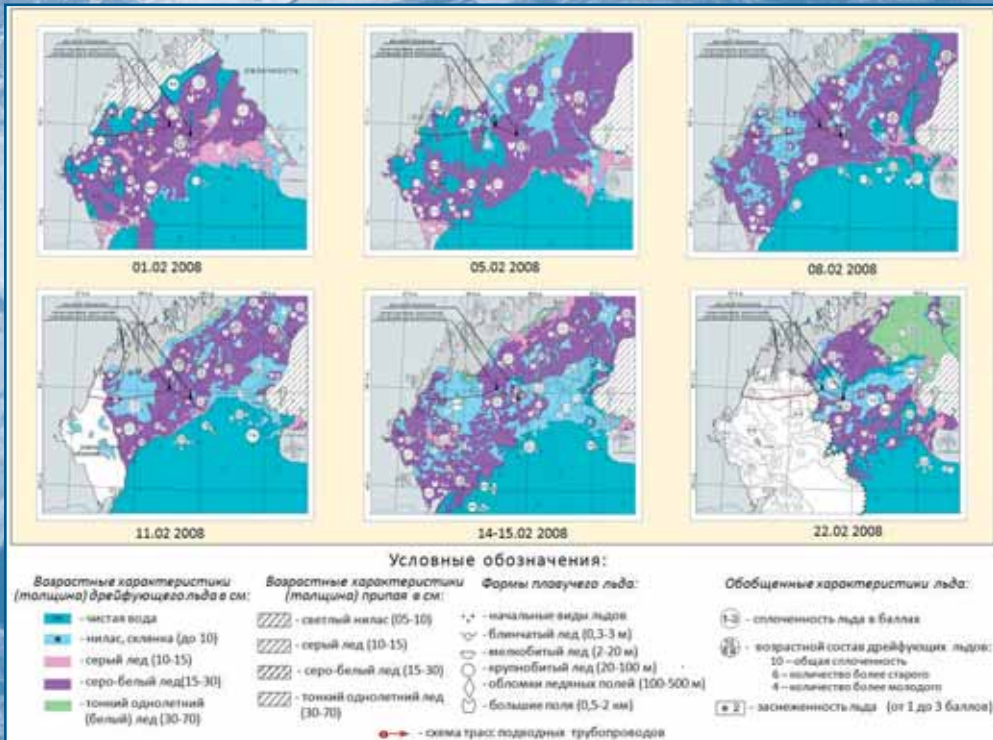


Рис. 1.

Карты-схемы ледовой обстановки северо-западной части Каспийского моря, составленные по данным ИСЗ Terra/MODIS, NOAA-18/AVHRR

Кроме того, в рамках выполнения целевых научно-технических программ Росгидромета в ГУ «НИЦ «Планета» проводятся работы по созданию и развитию технологий подготовки спутниковой информационной продукции для различных морских акваторий, включая Каспийское море. С использованием данных технологий выпускаются карты ледовой обстановки, температуры морской поверхности, приводного ветра, концентрации хлорофилла-а, загрязнений морской поверхности нефтепродуктами и др., формируются долговременные ряды спутниковой информационной продукции как индикаторы климатических изменений. Выпускаемая продукция также представляет большой интерес для нефтяных и газовых компаний, ведущих разработки на шельфе.

Для информационного обеспечения проектов использовались данные отечественных и зарубежных космических аппаратов, принимаемые на наземном комплексе приема, обработки и распространения спутниковых данных (НКПОР) Росгидромета, в том числе российского метеорологического спутника «Метеор-М» №1, а также зарубежных полярно-орбитальных спутников серий NOAA, MetOp, EOS (Terra, Aqua) и геостационарных спутников серии METEOSAT, GOES, MTSAT и др. НКПОР Росгидромета включает в себя три объединенных в единую систему центра федерального уровня (Европейский центр – ГУ «НИЦ «Планета» Москва – Обнинск – Долгопрудный, Сибирский – Новосибирск, Дальневосточный – Хабаровск) и 68 автономных пунктов приема спутниковой информа-

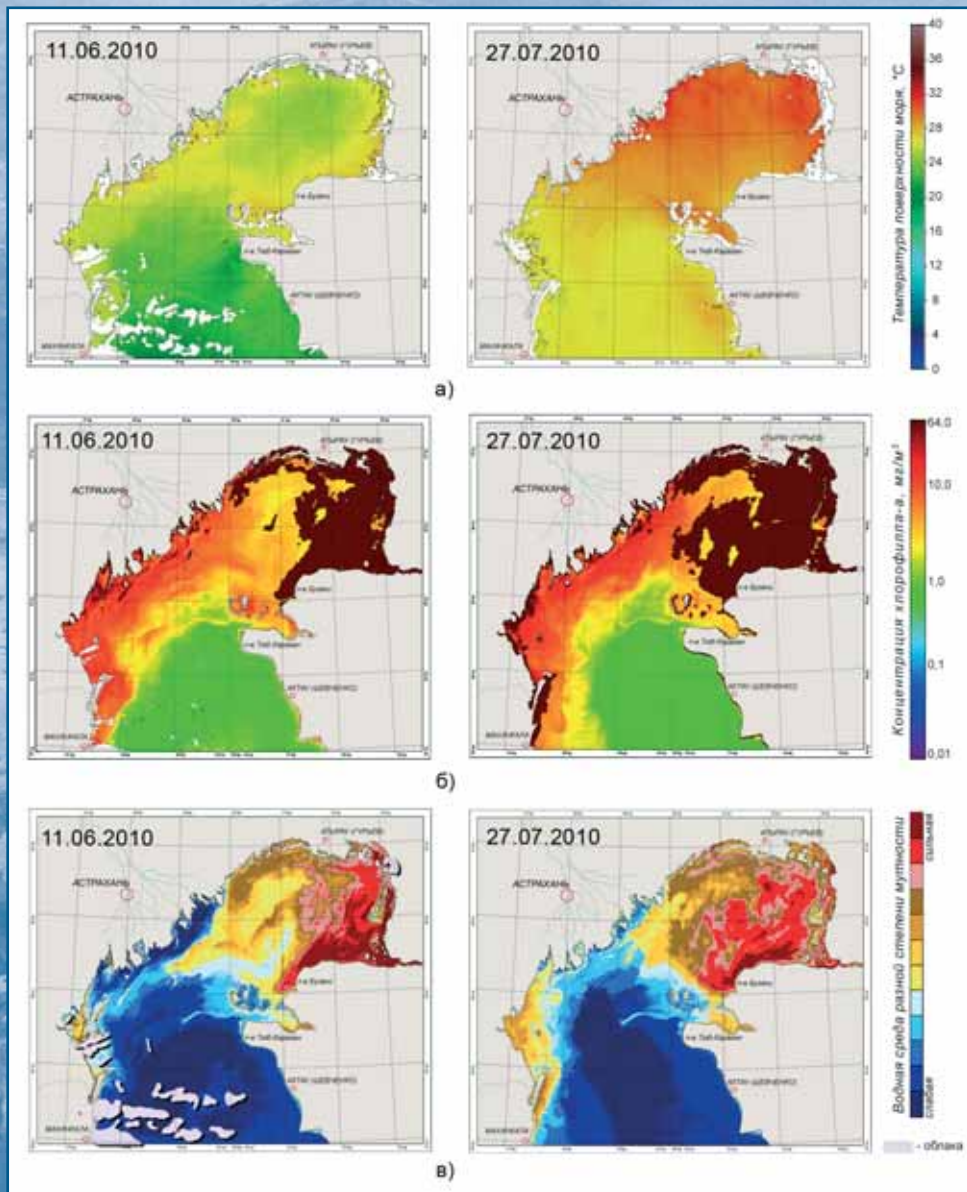


Рис. 2.

Примеры спутниковой информационной продукции, полученной по данным Terra/MODIS (северная часть Каспийского моря)

- а) карты температуры морской поверхности
- б) карты концентрации хлорофилла-а
- в) карты классификации водной среды

Таблица 1

**Статистические характеристики температуры морской поверхности
в районе месторождения им. В. Филановского, полученные на основе обработки архивных
спутниковых данных за период 2002–2008 гг.**

Параметр	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Средняя температура	1,04	1,20	0,99	8,72	17,48	22,04	25,10	26,81	23,18	17,48	10,39	4,35
Число наблюдений	15	16	24	24	18	24	28	32	26	23	14	17
Максимум	4,25	3,60	10,06	17,57	24,51	27,93	28,70	28,44	24,77	18,71	11,87	6,36
Дата максимума	27.01.03	29.02.04	23.03.04	30.04.05	25.05.05	27.06.06	21.07.08	02.08.07	03.09.07	03.10.02	05.22.04	01.12.05
Минимум	-0,39	-0,88	-0,84	5,41	16,16	19,59	23,46	23,59	17,37	9,62	5,51	-0,21
Дата минимума	28.01.08	20.02.06	03.03.05	01.04.03	05.05.08	01.06.08	02.07.08	30.08.02	30.09.07	31.10.03	24.22.03	30.12.02
СКО	1,45	1,01	2,79	2,96	2,91	1,82	1,40	1,16	1,94	2,45	2,46	1,68

ции. НКПОР Росгидромета является крупнейшим в России и одним из самых крупных в мире центров по объемам принимаемых космических данных, номенклатуре выпускаемой информационной продукции, количеству потребителей [2].

Еще одним источником информации, используемой в проектах, является получение оперативных спутниковых данных по международной системе EARS (EUMETSAT Advanced Retransmission Service). В 2009 г. (в соответствии с соглашением Росгидромет – EUMETSAT) ГУ «НИЦ «Планета» вошел в состав международной системы EARS. Для этой цели в ГУ «НИЦ «Планета» первоначально был создан и введен в действие комплекс обработки и оперативного обмена информацией с крупными мировыми спутниковыми центрами. Это позволило обеспечить оперативный доступ через систему EumetCast к данным спутникового зондирования по Северному полушарию Земли, принимаемым в крупных спутниковых центрах Европы и мира.

Реализация проектов по космическому мониторингу морских акваторий

находится в тесном взаимодействии с разработкой и развитием методов и технологий обработки спутниковой информации. В частности, для решения оперативных задач спутникового мониторинга в ГУ «НИЦ «Планета» создана технология построения карт ледовой обстановки по спутниковым данным видимого, инфракрасного или микроволнового диапазонов с использованием автоматизированных и

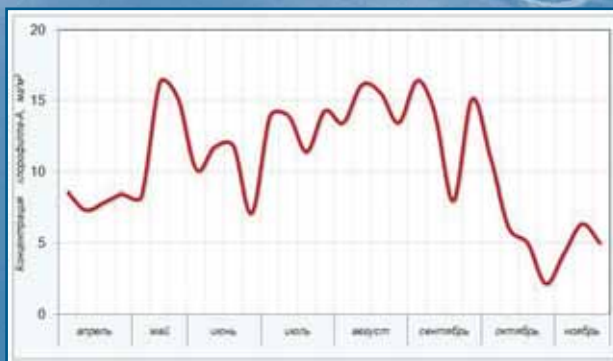


Рис. 3. Сезонные изменения концентрации средних значений (8 дней) хлорофилла-а в 2010 г. на месторождении им. В. Филановского в северо-западной части Каспийского моря

интерактивных методов обработки [3]. В автоматизированном режиме осуществляется предварительная обработка спутниковых изображений (географическая привязка, трансформирование космических изображений в сформированные заранее картографические основы, составление обзорных монтажей). В интерактивном режиме осуществляется дешифрирование на космических снимках ледовых параметров (возраст, спеленность, формы льда, обобщенные характеристики и др.) и их представление на карте в соответствии со стандартами и требованиями ВМО. По данной технологии в ГУ «НИЦ «Планета» ежегодно выпускается более 600 карт ледовой обстановки Арктики, Антарктики и замерзающих морей России. Карты-схемы ледовой обстановки Каспийского моря (рис. 1) строятся с периодичностью приблизительно один раз в неделю, а также размещаются на интернет-сайте нашей организации: <http://planet.iitp.ru>. В рамках взаимодействия с НК «ЛУКОЙЛ» карты-схемы ледовой обстановки Каспийского моря строились с периодичностью 1 раз в 3 суток и использовались для обеспечения экспедиционных работ, проводимых по заказу нефтяной компании, а также для выполнения расчетов отдельных гидрометеорологических и ледовых характеристик, необходимых для разработки ВЛТУ.

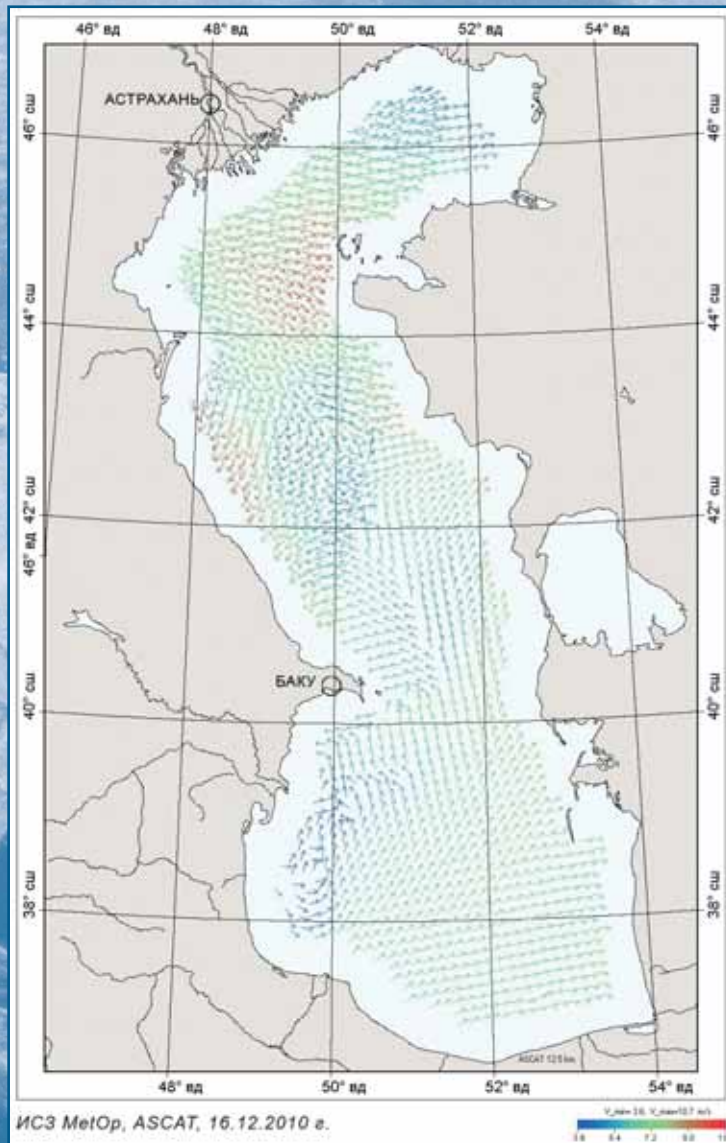


Рис. 4.
Карта полей приводного ветра Каспийского моря

Еще одним направлением, связанным с решением задач спутникового мониторинга окружающей природной среды, является создание и использование

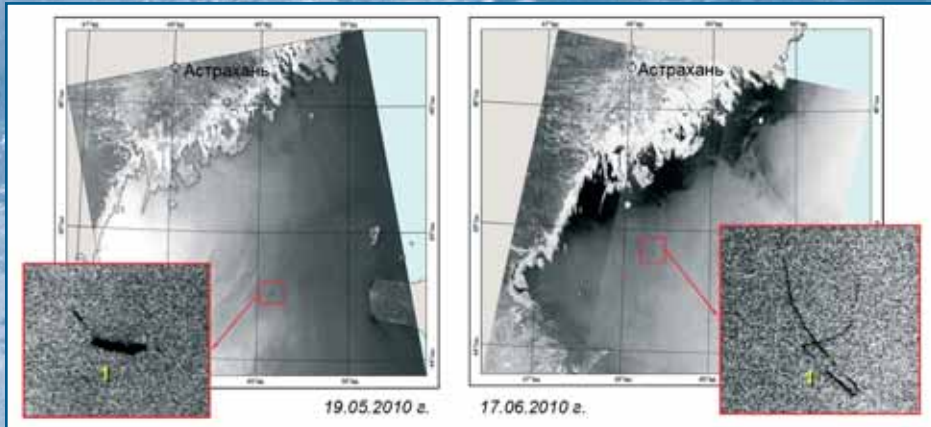


Рис. 5.
Выявление нефтяных загрязнений на шельфе северо-западной части Каспийского моря по данным ИСЗ Envisat, ASAR. Цифрой 1 обозначены нефтяные пятна

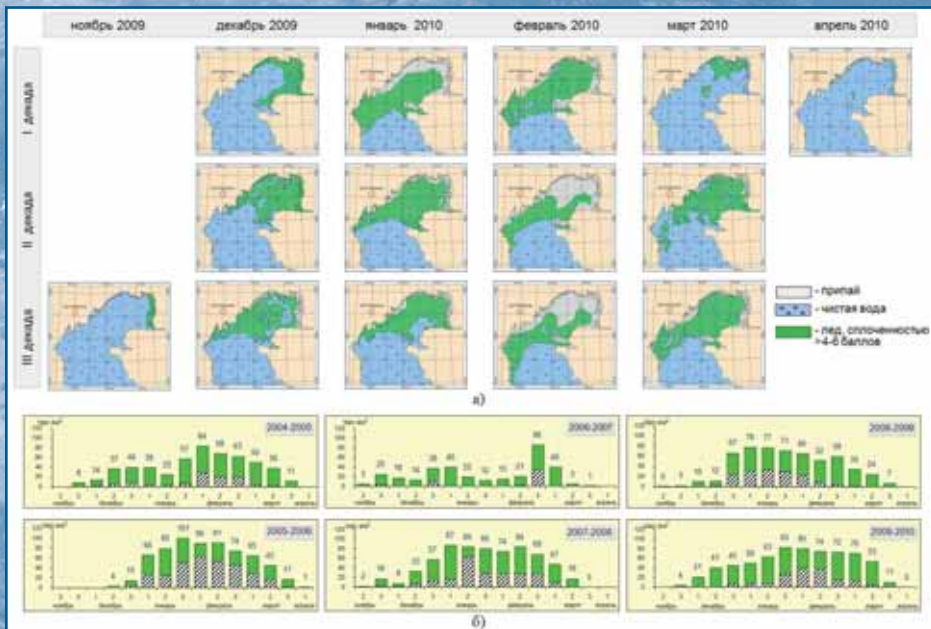


Рис. 6.
Сезонная и межгодовая изменчивость ледяного покрова Каспийского моря по данным ИСЗ NOAA/AVHRR, Terra, Aqua/MODIS

а) карты-схемы сезонных площадей припая и плавучего льда (ноябрь 2009 – апрель 2010 г.)

б) графики сезонных и межгодовых изменений площади льда (2004–2010 гг.)

технологии автоматизированного распознавания и классификации природных объектов по многозональным спутниковым изображениям. В программной системе, поддерживающей эту технологию, реализованы методы распознавания и классификации без обучения (кластерный анализ) и классификации с обучением. Неконтролируемая классификация (кластерный анализ) в программном комплексе представлена двумя алгоритмами – методом К-средних и методом анализа мод многомерной гистограммы. Результаты кластерной обработки применяются для выбора тестовых участков, используемых в распознавании с обучением. Система классификации с обучением (контролируемая классификация) в программном комплексе состоит из семи классификаторов (один поэлементный классификатор и шесть объектных), основанных на использовании байесовской стратегии максимального правдоподобия, и двух объектных классификаторов, основанных на минимуме расстояния. Выбор оптимального решающего правила (с точки зрения точности распознавания) производится на этапе обучения по результатам классификации тестовых участков. Технология широко использовалась при выполнении спутникового мониторинга состояния водной среды Каспийского моря. По данной технологии для безоблачных и малооблачных спутниковых изображений видимого диапазона строились карты интегральной мутности и прозрачности морской воды (рис. 2в). Для интерпретации результатов автоматизированного распознавания и классификации спутниковых изображений необходимо привлечение дополнительной информации (наземной, судовой, спутниковой и др.) и проведение комплексного анализа всех видов информационной продукции по изучаемой акватории моря. В частности, значительное увеличение интегральной мутности вод в северо-восточной части Каспийского моря в летний период 2010 г. (рис. 2в), наблюдаемое на картах классификации водной среды, построенных по данным Aqua/MODIS, можно объяснить интенсивным развитием фитопланктона и водорослей. Подтверждением этого факта могут служить полученные в то же самое время карты концентрации хлорофилла-а (рис. 2б), указывающие на увеличение концентрации хлорофилла-а в районах повышения интегральной мутности вод, а также карты температуры морской

поверхности (рис. 2а), на которых наблюдается увеличение поверхностной температуры моря, способствующей интенсивному развитию фитопланктона и водорослей.

В настоящее время в ГУ «НИЦ «Планета» действуют технологии построения оперативных (режим, близкий к реальному времени) и композиционных карт температуры морской поверхности (ТПМ) на основе использования данных ИК-диапазонов спектро радиометров ИСЗ NOAA и AQUA. По данной технологии выходная продукция выпускается в виде растровых изображений ТПМ в формате jpg (рис. 2а), а также в виде цифровых массивов данных (широта, долгота, температура) в текстовом формате. Ежедневные карты ТПМ заносятся в специализированный архив спутниковой информационной продукции и в дальнейшем могут быть использованы для расчетов режимных и климатических характеристик моря. В частности, при создании ВЛТУ по району месторождения им. В. Филановского расчеты статистических характеристик температуры в поверхностном слое морской воды проводились в ГУ «НИЦ «Планета» по архивным спутниковым данным ТПМ за период 2002–2008 гг. (табл. 1).

Следующий шаг в обеспечении космического мониторинга морских акваторий связан с созданием в ГУ «НИЦ «Планета» технологии построения карт концентрации хлорофилла-а с использованием стандартных алгоритмов NASA. По данной технологии строятся карты текущих (рис. 2б) и осредненных за 3, 5, 8 или 10 дней (в зависимости от степени покрытия акватории моря облачностью) значений концентрации хлорофилла-а на основе данных спектро радиометра ИСЗ Aqua. С учетом того, что северная (мелководная) часть Каспийского моря (по сравнению с глубоководной частью) характеризуется повышенным уровнем развития фитопланктона и водорослей, концентрация хлорофилла-а в этой части моря в вегетационный период имеет существенно более высокие значения и значительную изменчивость этого показателя. На рис. 3 представлен график сезонных изменений концентрации хлорофилла-а в 2010 г. в районе месторождения им. В. Филановского в северо-западной части Каспийского моря.

Одним из важнейших параметров, необходимых для обеспечения работ на морском шельфе, является

ся скорость и направление приводного ветра. В ГУ «НИЦ «Планета» создана технология построения карт полей приводного ветра по данным спутниковых микроволновых скаттерометров. В настоящее время в технологии в качестве исходной информации используются оперативные данные скаттерометра ASCAT ИСЗ MetOp, получаемые по системе международного обмена EARS, до ноября 2009 г. использовались данные скаттерометра SeaWinds NRT ИСЗ QuikSCAT. Выходная продукция выпускается в виде растровых изображений карт полей приводного ветра и цифровых массивов данных (широта, долгота, скорость и направление ветра). На рис. 4 представлена карта полей приводного ветра Каспийского моря, построенная по данным ASCAT ИСЗ MetOp.

В последние годы в ГУ «НИЦ «Планета» ведется радиолокационный мониторинг Каспийского моря с использованием данных европейских спутников ERS-2 и Envisat. Несмотря на то что объемы получаемых спутниковых радиолокационных данных весьма ограничены (периодичность ~ 1–2 раза в неделю), общая картина нефтяных загрязнений поверхности Каспийского моря достаточно понятна. В российском и казахском секторах Каспийского моря, несмотря на то что активно ведутся работы на шельфе, нефтяные загрязнения водной среды встречаются не часто. Например, в российском секторе Каспийского моря за один и тот же период наблюдений (апрель–октябрь) нефтяных пленок встречается в 3–4 раза меньше, чем в российском секторе Черного моря. А вот в азербайджанском секторе в районе Нефтяных камней нефтяные пленки присутствуют практически постоянно. На рис. 5 представлены примеры выявления нефтяных загрязнений поверхности в северо-западной части Каспийского моря на радиолокационных изображениях ИСЗ Envisat.

С 2004 г. в ГУ «НИЦ «Планета» регулярно проводятся работы по изучению долговременных изменений характеристик ледяного покрова Каспийского моря на основе анализа рядов спутниковых данных и информационной продукции из архива Госфонда РФ. В настоящее время продолжают работы по формированию и дополнению рядов ежегодных тематических карт ледовой обстановки в Каспийском море, построенных на основе спутниковых данных

видимого и инфракрасного диапазонов КА Meteor-M, Terra, Aqua и NOAA, а также анализу их изменчивости в качестве индикатора климатических изменений [4]. Выявлены существенные межгодовые различия в распределении площадей припая и плавучего льда, а также в продолжительности ледового периода (рис. 6). Результаты анализа сезонной и межгодовой изменчивости характеристик морского льда размещены на сайтах Северо-Евразийского климатического центра: <http://seakc.meteoinfo.ru> и <http://neacc.meteoinfo.ru>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фролов А.В., Асмус В.В., Кровотынцев В.А. и др. Комплексные исследования гидрометеорологической и ледовой обстановки в северо-западной части шельфа Каспийского моря на основе данных спутниковых и экспедиционных наблюдений и модельных расчетов // *Метеорология и гидрология*, 2009, №3, с. 20–34.
2. Асмус В.В., Дядюченко В.Н., Загребав В.А. и др. Наземный комплекс приема, обработки, архивации и распространения спутниковой информации / В сб. Труды НИЦ «Планета», вып.1(46), 2005, с. 3–21.
3. Асмус В.В., Кровотынцев В.А., Милехин О.Е., Тренина И.С. Действующие и перспективные российские спутниковые системы и их использование для оперативного мониторинга ледяного покрова полярных областей Земли и изучения климатических изменений // *МЕТЕОСПЕКТР*, 2010, №2, с. 9–13.
4. Алферов А.М., Андреева З.В., Григорьева О.Н. и др. Системы формирования и анализа многолетних рядов региональных климатически значимых параметров по спутниковым данным // *Сборник научных статей Седьмой открытой Всероссийской конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов»*, ИКИ РАН, 16–20 ноября 2009 г., Том 7. Номер 1. – М.: ООО «ДоМира», 2010. С. 51–60.

Ф. Аккерман (Friedrich Ackermann;
Штутгартский университет, Германия)
Профессор Института фотограмметрии Штутгартского
университета, основатель компании Trimble INPHO.

Рост производительности компьютеров и развитие фотограмметрии

ВВЕДЕНИЕ

Компьютеры стали сегодня обычными инструментами. Их используют повсюду почти все специалисты. Они оказывают огромное влияние на нашу жизнь вообще, и еще больше — на профессиональную деятельность инженеров и ученых. Конечно, студенты любого университета считают мощные компьютеры чем-то само собой разумеющимся. Однако вероятно, не все знают, как все начиналось, они и представить себе не могут, как вообще работали наши специалисты в докомпьютерное время.

В статье мне бы хотелось рассмотреть вопросы развития компьютеров и их влияние на развитие фотограмметрии, при этом я буду опираться на свой собственный опыт, полученный в 1970–2000 гг. Не буду упоминать первые попытки в 1960-х гг. провести фотограмметрические вычисления на электронных машинах, а сразу начну с 1970 г., когда произошло первое действительно серьезное применение компьютеров для решения фотограмметрических задач. Оно касалось решения вопросов блочной фототриангуляции, т. е. одновременного определения координат всех точек сети и всех параметров ориентации снимков методом наименьших квадратов (рис. 1).

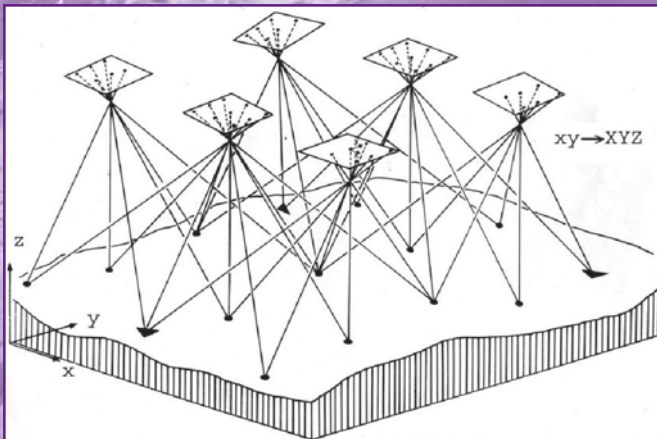


Рис. 1.
Блочная фототриангуляция: $xy \rightarrow XYZ$

УРАВНИВАНИЕ СЕТЕЙ ФОТОТРИАНГУЛЯЦИИ ПО БЛОКАМ

Примерно в 1970 г. в Штутгарте мы создали свою первую программу на языке FORTRAN для уравнивания блоков по методу независимых моделей. Немного позже появилось уравнивание методом связок. В чем была сложность? Рассмотрим, например, небольшой блок снимков: 8 аэрофото съемочных маршрутов \times 25 моделей каждый = 200 моделей. Допустим, у нас есть примерно $10+2$ точек на модель, что составляет примерно 800

неизвестных точек местности. Это дает нам 7200 наблюдаемых x, y, z координат точек моделей при 2400 неизвестных XYZ координат точек местности и 1400 неизвестных элементов внешнего ориентирования моделей, всего 3800 неизвестных параметров. Избыточность системы составляет $r = 3400$, или относительное число (избыточности к количеству неизвестных) $r/n = 0,47$. Наличие некоторых опорных точек не влияет на статистические данные при таких больших числах.

Ясно, что такое уравнивание методом наименьших квадратов можно выполнить только с помощью компьютеров. Задачи уравнивания таких объемов никогда прежде не решались, даже для геодезических сетей. Мы о компьютерах в то время знали очень мало. Но было очевидно, что наступает их эра, и мы просто полагали, что они нам помогут. Вот так в 1967–1968 гг. мы (и другие исследователи) занялись программированием для решения задач фотограмметрии. В вычислительном центре нашего университета в 1968 г. получили большую универсальную ЭВМ Control Data CDC 6600 — одну из самых быстродействующих в то время. Мы думали, что она решит все вопросы, и не ожидали никаких трудностей. Но все оказалось совершенно по-другому. Я был весьма наивным в то время и пошел в вычислительный центр, ожидая, что у них будут программы для решения линейных уравнений. У них было несколько программ, но ни одна из них не решала систем, если в них было более 100 неизвестных. Я помню, что не мог поверить этому и был совершенно расстроен: ведь мне надо было решать уравнения с 3000 неизвестных. Поэтому сначала нам пришлось разрабатывать программу для решения больших систем линейных уравнений.

Тщательный анализ нормальных уравнений показал, что они обладают особой структурой. Центральная подматрица для неизвестных координат местности является строго диагональной. Ее можно инвертировать по формуле и таким образом априорно исключить указанную группу неизвестных. Оставшиеся приведенные нормальные уравнения для параметров ориентации можно расположить так, чтобы сформировать по диагонали ленту, которую можно минимизировать. Это было особенно важно, потому что время решения изменяется по формуле ub^2 , где b — ширина ленты. Коэффициент 2 в ширине ленты приводит уже к коэффициенту 4 для времени решения. Кроме того, в своем

подходе к решению независимых моделей мы воспользовались быстро сходящимися итерациями между уравниванием в плане и по высоте.

Все другие части программы работали более или менее без каких-либо проблем. Также хорошо шла линеаризация первоначально нелинейных уравнений наблюдений. Обычно было достаточно трех итераций, в случае с плановыми снимками.

Когда мы занимались указанной работой, то стремились смотреть вперед и уже думали о передаче управления данными от оператора к компьютеру. Новая философия подразумевала:

- возможность использования блоков снимков произвольного размера (в то время он был 200, 1000, 5000);
- произвольные многократные перекрытия;
- произвольное количество точек сети, опорных/контрольных точек;
- произвольную числовую систему нумерации для всех точек на местности;
- и самое важное: компьютер должен был автоматически находить коэффициент перекрытия и функции привязки и контроля точек, основанные на нумерации наземных точек; измерять модели и точки можно было в произвольной последовательности.

Примерно в 1970 г. у нас появилось очень общая, но мощная программа, названная PAT-M, для уравнивания блоками методом наименьших квадратов по независимым моделям, а немного позже — для уравнивания связками, она называлась PAT-B. Программу написали на языке FORTRAN, в ней было примерно 5000 команд. Мы применили ее на крупной ЭВМ Control Data CDC 6600, а вскоре адаптировали ее для универсальной вычислительной машины. У CDC 6600 скорость была примерно 1 мегафлоп операций с плавающей запятой в секунду, тактовая частота была > 1 МГц, объем памяти на магнитных сердечниках составлял 128 000 слов, из которых мы могли использовать только 50 000 (!). Стоимость машины была примерно 10 млн долл. Ввод данных осуществлялся с перфокарт. Время решения для уравнивания блока среднего размера составляло от получаса до 1–2 часов. Большие блоки решались почти сутки. Но в то время продолжительность вычислений была не важна, поскольку предыдущие операции по переходу от точки к точке и все измерения делались вручную и занимали минимум полчаса на модель.

Наша программа для уравнивания блоками была очень удачной и применялась на практике в течение нескольких лет. Она стала настоящим прорывом, а уравнивание блоками стало стандартной, очень эффективной процедурой в фотограмметрии. Но для этого потребовались первоначально большие универсальные вычислительные машины, который стали появляться в университетах и национальных вычислительных центрах в течение 1970-х гг.

В последующие годы, с 1970 г. примерно до 1990 г., появились многие методические усовершенствования, которые я упомяну только кратко.

- В практику вошли блоки по 500, 1000 и более снимков.
- Теоретические и экспериментальные исследования выявили правила оптимального расположения наземных опорных точек и показали положительное влияние их геометрии на точность уравнивания блоков. Особенно интересной была ситуация с точками планового обоснования по периметру блоков. Получаемая точность перестает зависеть от размера блоков и остается близкой к величине измерительной точности σ_0 координат точек снимков.
- Большое практическое значение имело автоматическое обнаружение и устранение грубых ошибок в данных методом отслеживания данных Баарда (Baarda). Ошибки всегда случаются, например неправильный номер точки или ее ошибочная идентификация. С выявлением ошибок были связаны исследования теоретической надежности. Они позволили получить 3σ предел произвольных ошибок.
- Надежность показывает пределы, до которых можно теоретически распознать грубые ошибки, в зависимости от локальной избыточности.
- Следующий шаг касался остающихся неизвестными систематических ошибок изображения, которые всегда присутствуют в определенной мере. В блочной фототриангуляции появился метод самокалибровки с дополнительными параметрами. Так как существовала высокая избыточность, то эти параметры очень хорошо определялись и исправляли практически все существенные неизвестные систематические ошибки изображения. Это оказало значительное воздействие на получаемую точность, которая достигла для координат точек

снимка величины $\sigma_0 \rightarrow 5 \mu\text{m}$ относительно $\sigma_0 \rightarrow 2 \mu\text{m}$ для маркированных точек.

- Заключительным важным этапом стало введение в блочное уравнивание элементов внешнего ориентирования, зафиксированных в полете: линейных – с помощью GPS, угловых – с помощью инерциальной навигационной системы (INS фокс). Эти вспомогательные данные позволили стабилизировать блоки и значительно снизить количество требуемых наземных опорных точек. Теоретически блоки стало возможным определять даже и без них. Но из-за точного геокодирования обычно некоторое количество опорных точек все же используют (рис. 2).



Рис.2.

Схематически представлен блок, полученный по данным GPS и геокодированный с очень малым количеством точек наземного контроля

Все эти разработки были очень важными для повышения качества и эффективности аэротриангуляции. Все они стали возможными благодаря развитию теории и методики, но для их реализации не требовались более мощные компьютеры, так как они практически не затрагивали процессы уравнивания.

В течение 1980-х гг. произошел новый большой скачок в фотограмметрии, основой которого стало повышение эффективности работы ЭВМ. Он затронул взаимную привязку цифровых изображений. В это время для оцифровывания аэроснимков появились сканеры с разрешением 15–30 μm . Сегодня мы получаем цифровые снимки непосредственно с цифровых

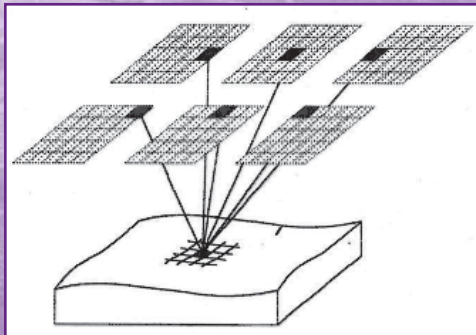


Рис. 3.
Один и тот же участок на перекрывающихся снимках

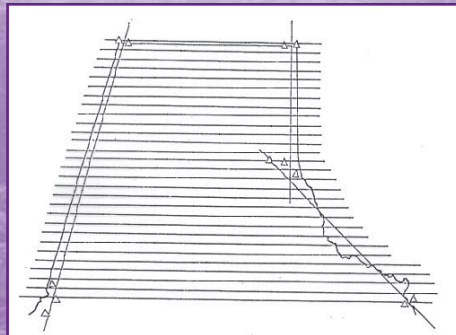


Рис. 4.
Блок III по данным GPS в проекте округа Балтимор (США).

камер. С помощью автоматических методов осуществляется отождествление (нахождение и измерение) одноименных точек на любых перекрывающихся снимках. Снимки стереопары приводятся к идеальному случаю съемки путем трансформирования (рис. 3). Использовались пирамиды изображений.

В Штутгарте мы применили отождествление соответственных точек методом наименьших квадратов. Позже появился метод, основанный на привязке по отдельным характеристикам, а в настоящее время идут поиски дальнейших усовершенствований методов отождествления соответствующих точек.

Автоматическое определение координат соответствующих точек на снимках имело два важных

последствия. Во-первых, повысилась точность определения координат изображений, которая составляла примерно 5 мкм и выше (0,2 размера пикселя). Но намного более важным было второе следствие: весь измерительный процесс для аэротриангуляции стал автоматизированным и, таким образом, значительно быстрее. Оператор стал ненужным, кроме измерения опорных точек. С помощью метода стало также возможным измерять не отдельные одиночные связующие точки, а целые серии точек. Это повысило избыточность и сделало блоки намного более стабильными. Конечно, вычислительная нагрузка выросла, нужны были более быстрые и эффективные вычислительные машины.

Таблица 1

Проект округа Балтимор, Блок III, 1996/97 гг.

Блок	Время	Результаты
Цель: ГИС округа	Сканирование: 21 мкм, 115 час	$\sigma_0 = 4,8 \mu\text{м}$
Масштаб изображений: 1:6000	Пирамиды изображений: 3 мин/ изображение, 86 час	остаточная среднеквадратическая ошибка (rms): $v_x = 3,8 \mu\text{м}$ $v_y = 3,5 \mu\text{м}$
Количество изображений: 1720	Автоматическое измерение связующих точек: 4 мин/ изображение, 118 час	контрольные точки:
Залетов: 29 + 3	Уравнивание блоком, данные отредактированные: 3 час	$rms_x = 6,8 \text{ см}$ $rms_y = 7,2 \text{ см}$ $rms_z = 9,3 \text{ см}$
Наземный контроль: 15 XY, 15 Z	Количество наблюдений 294 600	
Контрольные точки: 28 XY, 7 Z	Количество неизвестных: 134 040	
Все снимки были привязаны с помощью GPS		

В 1996–1997 гг. мы применили в компании INPHO метод корреляции изображений в большом блоке цифровых изображений, полученных со спутников GPS, со стандартными 60 / 20% перекрытиями. Работа проводилась в блоке III проекта округа Балтимор (США) (рис. 4).

Данные представлены в табл. 1. Были просканированы в черно-белом цвете 1720 цветных снимков, с разрешением пиксела 21 μm , что составило всего примерно 100 мегапикселей, с глубиной яркости 8 битов. На это потребовалось много времени: 4 минуты на изображение, или всего 115 часов. Сегодня цифровые изображения получают непосредственно с цифровых камер. Вычисления для корреляции изображений и уравнивания блоками были выполнены на рабочей станции Indigo 2 фирмы Silicon Graphics SGI, с оперативной памятью 448 мегабайт и быстрым процессором R10000. Тактовая частота – 175 МГц, объем диска – 292 гигабайта, и внешняя память на дисках – 300 гигабайтов. Для того времени размер блока в 1720 цифровых изображений и соответственно уравнивание 134040 неизвестных считались огромными.

Для расчетов использовался компьютер Indigo 2 компании Silicon Graphics SGI, оперативная память – 448 мегабайт, 175 МГц, внешняя память на дисках – 300 гигабайт, процессор – R10000.

В табл. 1 показано, что вычисления на некоторых этапах занимали довольно много времени. В частности, создание пирамид изображения и автоматические измерения 162 000 точек изображений для 39 500 связующих точек привязки занимали 3 мин на изображение = 86 ч и 4 мин на изображение = 118 ч. Собственно времени на проведение уравнивания требовалось несравненно меньше. А последний проход с отредактированными данными (после нескольких предварительных проходов) занял всего три часа. Полученная точность, оцененная по нескольким контрольным точкам, была очень высокой и имела среднеквадратическую величину 4 см по осям X и Y и 7 см – по Z.

У проекта было две основные задачи. Доказать, что, с одной стороны, GPS-измерения для больших блоков снимков, а с другой – цифровая аэротриангуляция будут давать требуемую точность измерений. Однако получение и накопление данных в процессе измерений связующих точек и уравнивания изображений занимало много времени – 200 ч. И тем не менее такой процесс был намного быстрее по сравнению с измерениями вручную, на что ушло бы > 1000 ч.

Сегодня это уже все история: спустя только 13 лет благодаря современным персональным компьютерам мы выполняем подобные вычисления в 100 раз быстрее.

Давайте теперь взглянем на развитие компьютеров в 1980-е гг. Мы начали свою работу в 1970-х гг., когда появились большие универсальные вычислительные машины CDC 6600. Использовались и компьютеры компании IBM серий 360 и 370. Такие машины были доступны только в университетах или крупных вычислительных центрах. Поэтому было логично, что развитие компьютеров было направлено на уменьшение их размеров и, конечно же, удешевление их стоимости, с тем чтобы их могли покупать небольшие компании. Стали популярными компьютеры среднего размера, известные как рабочие станции – терминалы. Они были медленнее, чем крупные универсальные вычислительные машины, но благодаря им программирование стало стандартизированным. Рабочая станция компании Silicon Graphics, на которой производились вычисления в приведенном примере проекта округа Балтимор, была вполне достаточной для стандартного уравнивания блоками. Тогда еще не выдвигались более жесткие требования к автоматической цифровой аэротриангуляции, как в примере блока из проекта округа Балтимор. Не будем больше останавливаться на описании компьютеров среднего класса, поскольку они все сегодня уже история.

Давайте теперь взглянем на нашу сегодняшнюю ситуацию, когда полностью исчезли большие универсальные вычислительные машины, уже уходят в прошлое и графические рабочие станции. После 2000 г. стали развиваться персональные компьютеры (ПК). Они представляют собой огромный шаг вперед. Их скорость достигает 50 гигафлопов операций с плавающей запятой, рабочая память – около 16 гигабайт, объем памяти на твердом съемном диске – до 2 терабайтов (тера = 1000 гига = 10^{12}) на диск. Можно подключать несколько дисков. Тактовая частота – почти 3 ГГц.

В табл. 2 показаны предоставленные компанией INPHO примеры того, как сокращалось время вычислений с появлением новых ПК, начиная с 1997 г. до нашего времени. В качестве теста было использовано блочное уравнивание с помощью одной и той же программы одного и того же блока из 275 изображений в цифровой форме. В изображениях преднаме-

Блочное уравнивание на ПК 275 цифровых изображений, 25 итераций для обработки грубых измерений

- Рабочая станция компании Silicon Graphics, процессор R 10000 378 с. 1994 г.

Модели ПК:

- Intergraph PPro 200 с двойной шиной 361 с. 1997 г.
- Compaq Laptop 700 МГц 109 с. 1999 г.
- Sony P4, 2,0 ГГц 51 с. 2000 г.
- Fujitsu Siemens Centrino 1,6 ГГц 31 с. 2003 г.
- Dell Dimension PXP601, 2,4 ГГц 19 с. 2005 г.
- Drl Precision Quad CPUQ9550 15 с. 2007 г.

* На сегодня 2-5 с. 2010 г. (<0.1 с.)

ренно были введены грубые ошибки, поэтому в данном случае потребовалось провести 25 итераций вместо обычно требуемых 3–4. Подобное уравнивание указанного блока изображений занимает на современном ПК менее 1 с, что совсем незначительно по сравнению с относительно более долгим процессом вычисления автоматических измерений связующих точек. Всего для триангуляционных вычислений небольших блоков на современных ПК, включая автоматические измерения связующих точек, требуется несколько минут, а более крупных блоков – может потребоваться несколько часов, хотя скорость остается одинаковой: 5–10 с на изображение. Эффективность автоматической аэротриангуляции по изображениям в цифровом формате увеличилась многократно. А цена на подобные очень мощные ПК снизилась до 1000 долл. и даже ниже. По сравнению с нашей универсальной машиной Control Data CDC 6600, которую мы применяли в 1970 г., соотношение цена / производительность стало равняться 1:10⁹.

Что касается аэротриангуляции, то на сегодня у нас фактически больше нет никаких серьезных ограничений. Мы выходим далеко за рамки приложений фотограмметрии, которые были раньше. Действительно, с помощью цифровых камер можно получать многократные перекрытия, особенно для городских территорий. При перекрытиях 90 / 90%, например, мы получаем в 16 раз больше изображений, чем при стандартных 60 / 20%. Уже начинают говорить о размерах блоков в 10 000 или 20 000 изображений. Так или иначе, мощность современных персональных компьютеров невероятна. Она позволяет уже сегодня и в ближайшем

будущем расширять блоки до громадных невиданных ранее систем.

Прежде чем закрыть эту тему, мне хотелось бы вспомнить закон Мура. Он гласит, что скорость работы компьютеров удваивается каждые 18 месяцев, а объем памяти центрального процессора удваивается каждые 24 месяца. Это соотношение остается удивительно линейным на протяжении уже 50 лет. И оно, кажется, сохранится и в ближайшем будущем. А эффективность сетевых вычислений (распределенные вычисления) удваивается каждые 9 месяцев.

Есть еще один вопрос, который следует упомянуть здесь. Благодаря данным GPS и инерциальным системам можно определить координаты центров проекции и угловую ориентацию всех снимков в полете. Если эти измерения были бы достаточно точными, то можно было бы непосредственно использовать эти данные по ориентации после некоторых преобразований, избегая полностью этап аэротриангуляции. Точность блочной триангуляции по снимкам масштаба 1:6000 с использованием данных GPS и инерциальной навигационной системы (INS) достигает приблизительно 5 см по осям X, Y и 8 см по оси Z. Прямое использование данных GPS и INS (без уравнивания блока) дало бы нам точность до 11 и 14 см соответственно по осям X и Y и 29 см по оси Z, что уже может быть достаточно для создания ортофото. Остается только увеличить точность в 3 раза, чтобы достичь точности, требуемой для блочной триангуляции. Это будет зависеть в первую очередь от развития датчиков инерциальной навигационной системы, и тогда аэротриангуляция уйдет в историю.

ЦИФРОВЫЕ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА (ЦМР)

Совершенно новым способом трехмерного представления местности стали цифровые модели местности (ЦМР), они появились примерно в 1970 г. Реализация ЦМР, так же как и уравнивание блоками, зависела от эффективности вычислительных машин. В ЦМР рельеф местности покрывается густой сетью квадратов или треугольников (рис. 5). Сеть получают вычислениями по нескольким наблюдаемым точкам. Сначала измерения по точкам осуществлялись вручную оператором на стереоплоттерах. В случае необходимости в сочетании с фотограмметрическими наблюдениями могли также использоваться данные наземной тахеометрической съемки. Задачей вычислений, которые выполнялись на компьютере, было, по сути, осуществить интерполяцию сетки. Позже были добавлены некоторые усовершенствования, такие, как линии разрыва и вершины и понижения в ландшафте.

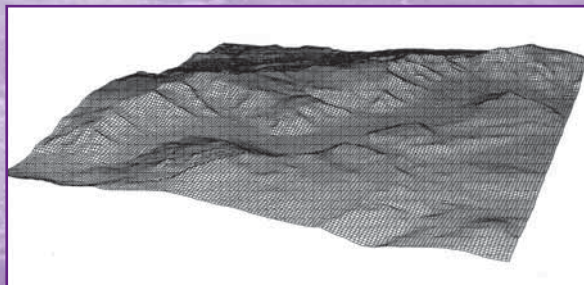


Рис. 5.
Цифровая модель местности

Цифровые модели местности первоначально предназначались для получения горизонталей. Вскоре стало понятно, однако, что цифровые модели местности – это общая форма геометрического описания местности. ЦМР представляют собой главный продукт, на основе которого можно получить другие продукты, например горизонталы, карты уклонов, профили местности, определять различные объемы, получать виды в перспективе и т.д. Кроме того, можно определять опасные зоны наводнений, селей или оползней. Сегодня подоб-

ное представление местности стало стандартным, и его используют для разнообразных приложений.

У себя в Штутгарте мы разработали свою первую программу для создания ЦМР примерно в 1970 г. Она первоначально предназначалась для получения горизонталей и была названа SCOP (Штутгартская программа для вычисления горизонталей). Но мы считали ее самостоятельным независимым продуктом, который можно было непосредственно использовать в относительно больших системах измерений. Тогда обычно в стереопаре измеряли около 1000 точек местности, иногда до 2000, что означало расстояние между точками в масштабе изображения несколько мм. Использовалось также и полуавтоматическое измерение профилей, где измерялось еще больше точек, но это делалось главным образом для производства ортофото. Интерполированная сетка была обычно весьма плотной. Мы создавали примерно в 10 раз больше точек сетки, чем наблюдаемых точек, предел составлял 50 000 точек сетки на стереомодель. Это означало, что наборы данных, которые приходилось обрабатывать и хранить, требовали значительного времени, особенно если речь шла о территории с десятками стереомоделей. Поэтому, как и в случае с уравниванием блоками, было ясно с самого начала, что решить подобную задачу под силу лишь вычислительным машинам.

Мы уже кратко познакомились с развитием компьютеров, когда говорили об азотриангуляции. Требования к эффективности их работы для целей создания ЦМР не были чем-то особенным, и она не менялась значительно в течение долгого времени. Но ситуация изменилась кардинально после 1990 г., когда для автоматических стереоизмерений точек на цифровом изображении стало возможным использовать корреляцию цифровых изображений. В табл. 3 дан пример, относящийся к началу 1990-х гг. Это одна из наших первых попыток создания ЦМР с помощью автоматических измерений точек. Вычисления проводились на компьютере компании Silicon Graphics с процессором R 4000. Фотографии были предварительно оцифрованы с помощью сканера, размер пикселя – 15 μ m,

Пример: автоматическое создание ЦМР с помощью модуля MATCH-T, 1992 г.

Размер пикселей	15 μm
Время вычислений/модель	1,8 ч
Количество 3D точек	1 миллион
Количество точек сети	80000
Количество точек /сеть	> 10
Скорость измерения 3D точек сетевых точек	150/с
	12/с

всего 470 мегапикселей. Скачок в производительности и разрешении очевиден. Было измерено значительно больше точек на местности, чем точек сетки: в нашем примере около 1 миллиона точек на местности для 80 000 точек на сетке. Время вычислений составляло примерно 150 точек в секунду = 1,5 часа. Для того времени это казалось удовлетворительным.

В результате недавнего скачка в производительности, которой достигли ПК, подобные показатели становятся полностью устаревшими. Сегодня мы работаем примерно в 100 раз быстрее. Автоматические измерения точек снимков и интерполяция ЦМР занимают только 1–5 мин на стереопару. Однако общее время вычислений все еще остается в пределах часов.

Создание больших ЦМР получило еще одно ускорение в своем развитии за последние 15 лет в связи с началом применения бортовых лазерных сканеров. Лазер испускает импульсы, и затем измеряется задержка по вре-

мени на отраженном сигнале. Это позволяет вычислить расстояние до точки поверхности Земли. Измерив направление луча лазера в пространстве, можно получить координаты точек

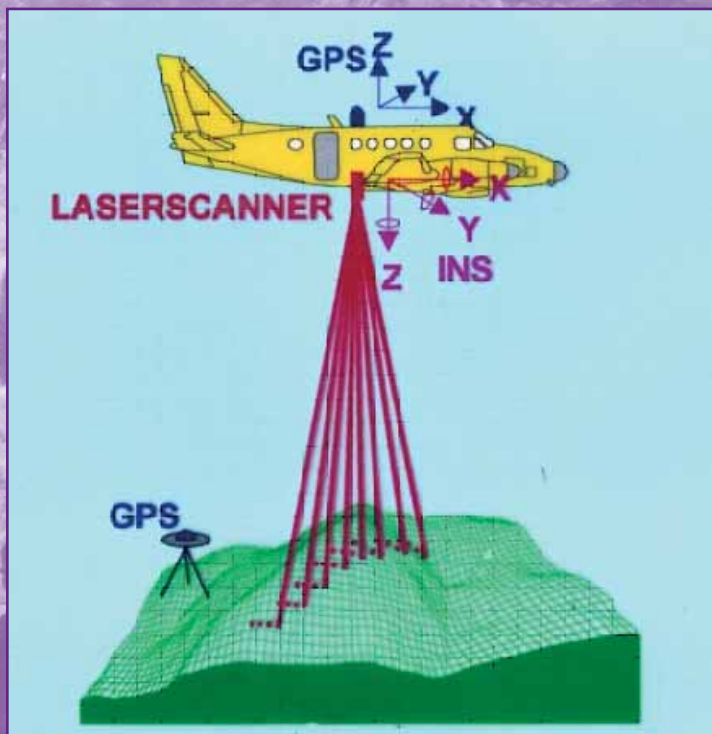


Рис. 6.
Воздушное лазерное сканирование

местности (рис. 6). Точность составляет порядка нескольких см, в зависимости от характера поверхности. Самым полезным свойством лазерных измерений является тот факт, что мы получаем на территории с растительностью многократно отраженный сигнал. Таким образом, одновременно можно получить и цифровые модели поверхности и рельефа, что особенно важно для территорий, покрытых лесом. Технические характеристики современных лазерных сканеров значительны. Теперь можно измерять до 600 000 точек в секунду. За один час полета мы получаем более 2×10^9 точек, или 10–50 точек на кв. м, в зависимости от высоты полета. Такая высокая плотность особенно нужна для наземных приложений в подвижных станциях. В любом случае объемы входных данных достигают миллиардов измерений.

Подводя итог, мы можем сказать, что для ЦМР требуются огромные системы данных с миллиардами точек. Они подразумевают очень высокие плотности точек, что гарантирует высокую детальность представления сложных объектов. И чтобы справиться с этим, необходимо полностью использовать производительность современных персональных компьютеров.

Существующие ограничения для ЦМР лежат не в области компьютеров, а скорее в сфере программного обеспечения и методике. Перед нами стоят проблемы очень больших облаков точек, по которым требуется автоматически извлекать объекты. Это достаточно легко делается в стандартных случаях. Но проблема автоматического извлечения сложных объектов, таких, как здания, дороги, парки, промышленные зоны и т.д., для городского моделирования еще не решена полностью. Сейчас проводятся научные исследования, как лучше всего объединять данные по изображениям с данными лазерного сканирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Суммируя итоги развития аэрофотограмметрии за предыдущие 40 лет и ее зависимость от производительности компьютеров, мы можем выделить три основных этапа, которые можно назвать прорывами. Во-первых это блочное уравнивание методом наименьших квадратов. Во-вторых, цифровые

модели местности и, наконец, корреляция цифровых изображений, которая значительно продвинула автоматизацию в фотограмметрии. Эти этапы стали возможны благодаря повышению производительности вычислительных машин и компьютеров и различных используемых сенсоров. Однако они также представляют творческое развитие и самой фотограмметрической науки. Фантастическое соотношение стоимости компьютера и его производительности – $1:10^9$ – по сравнению с 1970 г., конечно, способствует расширению сфер приложений и методов аэротриангуляции. Даже 10 или 15 лет назад существующий уровень аэротриангуляции и цифровых моделей рельефа был немыслимым. Но нужно работать дальше, особенно над автоматическим распознаванием объектов по цифровым изображениям. Оно нуждается в более совершенном теоретическом обосновании и программном обеспечении. Необходим творческий подход к решению этой задачи.

Можно говорить и о повышении производительности компьютеров. Сейчас создаются ЦМР с очень высокой плотностью: одна точка местности на каждый пиксель изображения. Это дает примерно 1 миллиард точек местности, покрываемой одним снимком. В заключение я могу процитировать Франца Леберла (Franz Leberl) из Австрии, который сказал некоторое время назад: «Скоро у нас будут спутниковые снимки с разрешением 20 см». Тогда мы сможем получить многократное покрытие всей поверхности Земли. Это означает, что у нас будет $> 10^{16}$ пикселей по снимкам и около 10^{15} пикселей на местности. Нам остается только ждать, позволит ли это окончательно решить задачу, стоявшую веками, по полному картографированию Земли.

В конце мне хотелось бы еще раз подчеркнуть, что я описывал только свой личный опыт. Все приведенные примеры взяты в Институте фотограмметрии Штутгартского университета и компании – разработчика программного обеспечения INPHO, которую я основал в 1980 г. Я сам непосредственно принимал участие в развитии фотограмметрии до примерно 1995 г. и немного позже и рад, что и мой вклад есть в этом. Это было очень интересное время. Сейчас я уже не работаю и не принимаю участия в новейших разработках. Я просто восхищаюсь ими.

Д.С. Шурычев (ЦДЗ и ГИС «Терра», Казахстан)

В 2000 г. окончил Казахскую государственную архитектурно-строительную академию, факультет «Инженерная экология», по специальности «инженер-геодезист». В настоящее время – ведущий специалист ЦДЗ и ГИС «Терра».

А.В. Иргалеев (ЦДЗ и ГИС «Терра», Казахстан)

В 2007 г. окончил Казахский национальный технический университет, факультет «Компьютерные системы обработки информации и управления», по специальности «инженер-системотехник». В настоящее время – программист-разработчик ЦДЗ и ГИС «Терра».

Автоматизация оценки загрязнения окружающей среды на нефтегазовых месторождениях с использованием ГИС-технологий

Деятельность, связанная с разведкой, добычей и транспортировкой углеводородного сырья, охватывает большой круг задач: охрана окружающей среды, безопасность, непосредственно сама добыча и управление процессами, управление инфраструктурой и материально-технической базой. При этом объемы информации по всем направлениям огромны и соответственно увеличиваются с деятельностью компании. Для эффективного управления большими объемами информации необходима систематизация данных в СУБД, а для ее анализа – Автоматизированные системы управления (АСУ). Наиболее актуальны в наши дни АСУ, построенные на основе геоинформационных систем, так как данные системы позволяют расширить круг решаемых задач и повысить эффективность их решений за счет пространственного анализа данных, а комплексная оценка разнородных данных выявить новые подходы к решению тех или иных задач.

Применение геоинформационных (ГИС) технологий позволяет объединить большие объемы картографической и тематической информации в единую систему и тем самым создать согласованную структуру данных для анализа имеющейся и получаемой информации. ГИС повышают эффективность решаемых задач, упрощают и ускоряют работы по принятию управленческих решений за счет наглядного представления данных и большого количества инструментов по их анализу. Они

позволяют легко интегрировать и анализировать картографическую информацию, в т. ч. данные дистанционного зондирования (космической съемки), полевых научных исследований, инженерных изысканий, мониторинга, а также всей хозяйственной деятельности и документооборота. ГИС позволяют объединить традиционные операции при работе с базами данных, такими, как запрос и статистический анализ, с преимуществами полноценной визуализации объектов и пространственного анализа.

Примером интеграции стандартных расчетов по нормативно-методической документации (НМД) с ГИС-технологиями – реализация приложения под настольное приложение от Esri ArcGIS – ArcMap для оценки загрязнения окружающей среды. Данное приложение было разработано на основе уже реализованного приложения для ведения производственного мониторинга одного из нефтедобывающих предприятий Республики Казахстан и использует в качестве выходных данных информацию об измеренных концентрациях загрязняющих веществ (ЗВ), полученную в рамках проведения мониторинга.

Модуль разработан по принципу объектно-ориентированного метода программирования, и реализован на платформе .Net Framework 3.5 для ОС Windows. Данный модуль имеет универсальную архитектуру взаимодействия с СУБД, используя для соединения компоненты ArcObjects.

Интерфейс модуля встроен в настольное приложение ArcGIS Desktop ArcMap и поддерживает все свойства стандартных для ArcMap компонентов, таких, как панели инструментов, команды, формы, поддерживающие свойства «docking» (рис. 1).

Данный модуль рассчитывает в каждой точке мониторинга интегральный показатель загрязнения по измеренным данным содержания ЗВ в компонентах окружающей среды. Методика расчетов основана на нормативно-методическом документе «Руководство по методам оценки и прогноза обеспечения экологической безопасности и устойчивости природной среды». В отличие от документа, расчет производится для каждой точки в отдельности, а не для общей территории. Это позволяет представить расчетные данные на карте и построить интерполяционную карту загрязнения компонентов окружающей среды на основе интегрального показателя, а в дальнейшем используя инструментарий ArcMap и комплексную оценку по всем показателям (рис. 2).

Интегральный показатель загрязнения окружающей среды (D) рассчитывается по формуле

$$D = d_e + d_n + d_a, \text{ где}$$

D – интегральный показатель загрязнения,
 d_e – суммарный показатель загрязнения воды,
 d_n – суммарный показатель загрязнения почвы,
 d_a – суммарный показатель загрязнения воздуха.

Суммарные показатели загрязнения объектов окружающей среды (воды, почв, атмосферного воздуха) определяются по формуле:

$$d_e = 1 + \sum \alpha + \Delta d_i, \text{ где}$$

α – коэффициент изоэффektivности зависящий от класса опасности ЗВ,

d_i – уровень загрязнения i -м веществом компонентов окружающей среды, который рассчитывается по формуле:

$$d_i = \frac{C_i}{ПДК_i}, \text{ где:}$$

C_i – усредненные значения концентрации i -го ЗВ за определенный период времени в соответствующих средах (воздух, вода, почвы),

$ПДК_i$ – предельно допустимые концентрации i -го ЗВ.

Окончательная оценка загрязнения делится на две характеристики:

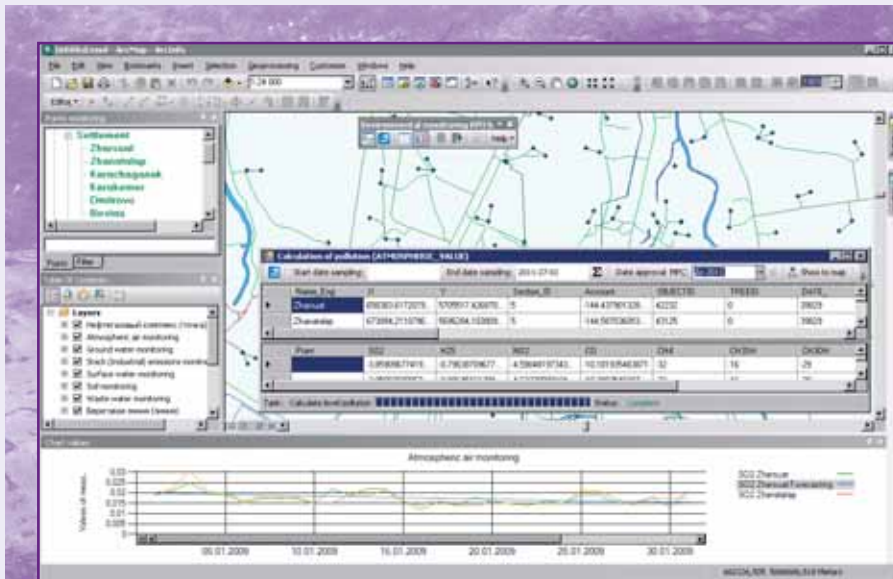


Рис. 1. Интерфейс компонентов модуля встроенного в ArcMap

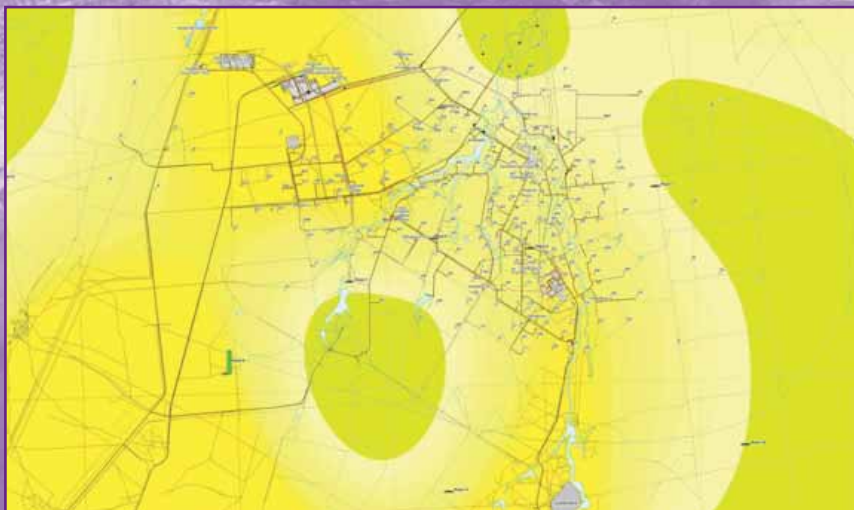


Рис. 2.
Интерполяционная карта по данным интегральных показателей загрязнения

Уровень загрязнения объектов окружающей среды:

- допустимый ($D \leq 3$; $d_b \leq 1$; $d_n \leq 1$; $d_a \leq 1$);
- слабый ($3 < D \leq 5$; $1 < d_b \leq 3$; $1 < d_n \leq 3$; $1 < d_a \leq 3$);
- умеренный ($5 < D \leq 15$; $3 < d_b \leq 10$; $3 < d_n \leq 10$; $3 < d_a \leq 10$);
- высокий ($10 < D \leq 45$; $10 < d_b \leq 25$; $10 < d_n \leq 25$; $10 < d_a \leq 25$);
- очень высокий ($45 < D \leq 100$; $25 < d_b \leq 100$; $25 < d_n \leq 50$; $25 < d_a \leq 50$);
- чрезвычайно высокий ($D > 100$; $d_b > 100$; $d_n > 50$; $d_a > 50$).

Степень опасности загрязнения среды:

- безопасная ($D \leq 3$) – угроза состоянию здоровья людей не отмечается;
- мало опасная ($3 < D \leq 5$) – среда вызывает минимальные физиологические сдвиги в организме и начальные проявления специфических заболеваний;
- умеренно опасная ($5 < D \leq 15$) – среда приводит к выраженным физиологическим сдвигам и появлению заболеваний;

- опасная ($15 < D \leq 45$) – среда создает условия для развития повышенной заболеваемости по отдельным группам болезней;
- зона чрезвычайной экологической ситуации ($45 < D \leq 100$) – наблюдается увеличение перинатальной, младенческой и детской смертности, частоты врожденных пороков развития в 1,3–1,5 раза и увеличение заболеваемости детей и взрослых онкологическими заболеваниями в 1,5–2,0 раза по сравнению с контрольными территориями;
- зона экологического бедствия ($D > 100$) – перечисленные выше изменения в состоянии здоровья населения усиливаются в 1,5; 2,0 раза и более, при этом отмечаются иммунологические и генетические сдвиги в организме.

Этот подход с картографическим представлением интегральных показателей загрязнения даст более точную картину состояния окружающей среды и позволит эффективнее анализировать данные мониторинга.

Простой интерфейс диалогового окна данного ArcMap позволяет за несколько минут построить карту и выполнить анализ данных.

Н.Б. Ялдыгина (Компания «Совзонд»)

В 2005 г. окончила механико-математический факультет Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. В настоящее время – специалист отдела программного обеспечения компании «Совзонд».

Новое в линейке программных продуктов ENVI: ENVI 4.8, серверное приложение ENVI for ArcGIS Server

Линейка программных продуктов ENVI, созданная компанией ITT Visual Information Solutions (ITT VIS) (США), представляет собой набор приложений и модулей для работы с данными дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). В зависимости от состава решаемых задач, масштаба организации и уровня подготовки пользователей есть возможность подобрать оптимальный для данного случая набор продуктов (рис. 1).

Значительные изменения в линейке ENVI произошли в ноябре 2010 г. Прежде всего, это появление первого серверного программного продукта – ENVI for

ArcGIS Server, а также выход новой версии 4.8 программных продуктов ENVI и ENVI EX.

Более подробно данные изменения рассмотрены в статье ниже. Однако прежде чем переходить к деталям, сформулируем общие тенденции развития линейки ENVI, проявившиеся в последнее время. Это:

- обеспечение более тесной интеграции продуктов компании ITT VIS (США) – разработчика ENVI с продуктами семейства ArcGIS компании Esri (США);
- переход от настольных продуктов к серверным при обработке изображений в ENVI;
- расширение функциональных возможностей ENVI.



Рис. 1.
Линейка программных продуктов ENVI

Рис. 2.
Доступ
к инструментам
ENVI с компьютера
пользователя через
ArcCatalog

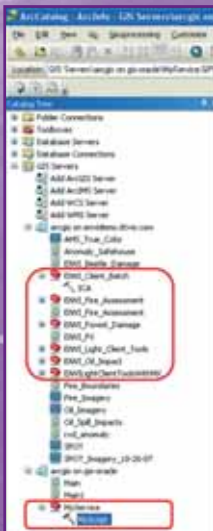


Рис. 3.
Выполнение процедуры дешифрирования
нефтеразливов через веб-интерфейс

ИНТЕГРАЦИЯ ENVI И ARCGIS

Курс на интеграцию программных продуктов ENVI и ArcGIS был взят несколько лет назад, когда компании ИТТ VIS и Esri объявили о начале стратегического сотрудничества. Каждая из этих компаний представляет свой сегмент рынка программных продуктов: ИТТ VIS занимает одно из лидирующих положений в мире по разработке решений для обработки данных ДЗЗ, Esri — по созданию геоинформационных решений. Целью взаимодействия компаний стала интеграция поставляемых технологий, с тем чтобы пользователи программных продуктов могли с легкостью переходить от этапа специализированной обработки данных ДЗЗ (ортотрансформирование, тематическая классификация и т. д.) к этапу ГИС-анализа, ввода и редактирования векторных объектов, подготовки и печати карт.

Первые результаты данного взаимодействия стали заметны в версии ENVI 4.7, вышедшей в середине 2009 г. В данную версию были включены следующие возможности:

- синхронизация окон ArcMap и ENVI Zoom;
- прямой доступ из ENVI к базам геоданных ArcGIS и shp-файлам;
- возможность печати из ENVI с применением шаблонов печати ArcGIS;

- быстрый доступ к файлам ArcGIS из ENVI с помощью операции «drag and drop» (т. е. простым перетаскиванием мышью).

Кроме того, одновременно с ENVI 4.7 был выпущен новый программный продукт ENVI EX, также предназначенный для обработки данных ДЗЗ, однако ориентированный на ГИС-специалистов. Этот продукт характеризовался более простым интерфейсом, базовым набором функций и был специально предназначен для пользователей, не являющихся специалистами в части обработки данных ДЗЗ.

Следующим шагом в интеграции ENVI и ArcGIS стало появление серверного программного продукта ENVI for ArcGIS Server, а также встраивание набора инструментов для ArcGIS в настольные программные продукты ENVI и ENVI EX.

СЕРВЕРНЫЙ ПРОГРАММНЫЙ ПРОДУКТ ENVI FOR ARCGIS SERVER

Предпосылки появления ENVI for ArcGIS Server

Ранее линейка продуктов ENVI была представлена исключительно настольными приложениями, которые устанавливались и функционировали на локальных компьютерах пользователей. Если в организации,

являвшейся пользователем ENVI, реализуемые технологические процессы предполагали регулярную обработку и анализ данных ДЗЗ при участии нескольких сотрудников, то возник ряд сложностей:

- требовалось наличие специализированных программ на компьютерах всех пользователей, задействованных в обработке данных ДЗЗ, а также приобретение необходимого количества лицензий;
- процессы обработки изображений осуществлялись на компьютерах пользователей и в случае недостаточной мощности компьютеров могли требовать значительных временных затрат;
- в случае централизованного хранения данных и локальной обработки на компьютерах пользователей осложнялся контроль и управление данными в организации.

Одним из подходов, позволяющих преодолеть эти сложности, является централизация процессов обработки данных ДЗЗ и их перевод на серверный уровень. Для реализации такого подхода компания ИТ VIS и представила новый серверный программный продукт ENVI for ArcGIS Server.

Принципы работы ENVI for ArcGIS Server

ENVI for ArcGIS Server работает в связке с продуктом ArcGIS Server компании Esri, дополняя его возможности функционалом по обработке и анализу данных ДЗЗ.

ENVI for ArcGIS Server позволяет публиковать инструменты ENVI на сервере, тем самым делая их доступными для всех пользователей внутренней и/или внешней сети. Инструменты ENVI при этом представляются как сервисы при подключении пользователей к серверу, на котором установлены программы ArcGIS Server и ENVI for ArcGIS Server.

Функционирование ENVI for ArcGIS Server осуществляется в соответствии с той же идеологией, которая была заложена в программном продукте ArcGIS Server. Согласно этой идеологии работа с инструментами и функциями ENVI на серверном уровне осуществляется в три этапа: создание, публикация и использование.

1. **Создание.** На данном этапе администратор ENVI for ArcGIS Server осуществляет подготовку инструментов, которые будут в дальнейшем предоставляться пользователям централизованно как

сервисы. Это может быть уже готовый инструмент (функция) ENVI либо модель геообработки, формируемая в ArcGIS Desktop и включающая в себя в качестве одной из составляющих функции ENVI.

2. **Публикация.** Администратор ENVI for ArcGIS Server выполняет публикацию инструментов и моделей геообработки на сервере. Как результат создается сервис, который в дальнейшем доступен пользователям на сервере.

3. **Использование.** Пользователи подключаются к серверу через различные приложения и запускают опубликованные инструменты и функции ENVI.

Подключение пользователей к серверу для использования опубликованных инструментов и моделей может осуществляться как через «тонкие» клиенты (мобильные устройства, Web API, ArcGIS Explorer), так и через «толстые» клиенты (ArcGIS Desktop или приложения на основе ArcGIS Engine).

Пример 1 (Доступ через ArcGIS Desktop). После публикации функций ENVI на сервере любой пользователь сети с установленной программой ArcGIS Desktop может подключиться к серверу через ArcCatalog и запустить нужный инструмент/модель. При этом обработка происходит непосредственно на сервере; пользователям не требуется ни наличие программы ENVI, ни расход ресурсов компьютера для выполнения обработки изображений (рис. 2).

Пример 2 (Доступ через геопорталы). Опубликованные на сервере функции ENVI могут встраиваться в геопорталы – электронные географические веб-ресурсы, создаваемые на базе ArcGIS Server. Доступ к геопорталу осуществляется через обычный веб-браузер. Стандартные геопорталы предоставляют пользователям функционал ГИС-приложений; при использовании ENVI for ArcGIS Server дополнительно становятся доступными функции обработки и анализа данных ДЗЗ.

В случае встраивания инструментов ENVI в геопорталы еще одним положительным моментом является возможность упрощения интерфейса пользователя. Поскольку за создание интерфейса геопортала отвечает разработчик геопортала, то запуск инструментов ENVI может быть сделан максимально простым и понятным даже для пользователей, не имеющих опыта работы ни в ENVI, ни в ArcGIS (рис. 3).



Рис. 4.
Панель инструментов
ENVI Tools for ArcGIS

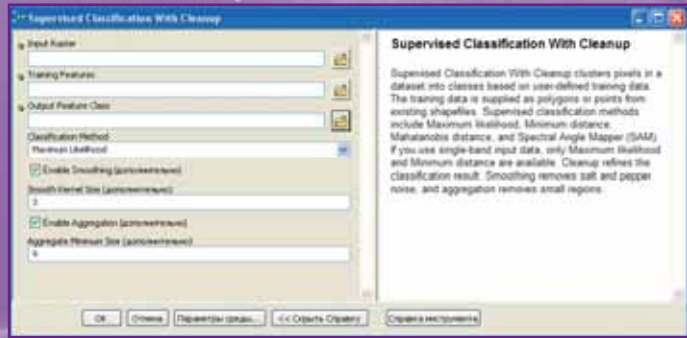


Рис. 5.
Запуск инструмента классификации ENVI из ArcGIS Desktop

Преимущества использования ENVI for ArcGIS Server

Подводя итог сказанному выше, можно сформулировать следующие преимущества, получаемые организацией при использовании ENVI for ArcGIS Server:

- на геопорталы, создаваемые с использованием ArcGIS Server, можно встраивать функции обработки и анализа данных ДЗЗ, такие, как классификация, выявление изменений, выявление аномалий и др.;
- пользователи через ArcGIS Desktop могут получить доступ к инструменту ENVI, реализованному на сервере (при этом не требуется установка программы ENVI на локальные компьютеры);
- обработка данных ДЗЗ осуществляется на стороне сервера, без использования ресурсов компьютеров пользователей.

Кроме того, существенно повышаются возможности управления и контроля за процессами обработки данных ДЗЗ в организации.

ПАНЕЛЬ ИНСТРУМЕНТОВ ENVI TOOLS FOR ARCGIS

Пользователи версии ENVI 4.7 могли отметить удобство совместной работы в ENVI и ArcGIS благодаря поддержке в ENVI форматов данных Esri и другим особенностям, упомянутым выше. Однако все же, несмотря на изрядную совместимость программ, требовалась работа в двух приложениях поочередно. С вы-

ходом ENVI 4.8 появилась возможность работы в единой среде, без переключения между окнами двух приложений.

Теперь при инсталляции ENVI 4.8 пользователю, работающему в программе ArcGIS Desktop на том же компьютере, становится доступным новый набор инструментов ENVI Tools for ArcGIS (рис. 4). Данный набор инструментов подключается в панели ArcToolBox и включает в себя около 20 инструментов ENVI, таких, как классификация, конвертация форматов данных и др.

Все эти инструменты пользователь теперь может вызывать непосредственно из приложений ArcMap или ArcCatalog, без перехода в программу ENVI. При этом интерфейс запускаемого инструмента также привычен для пользователя ArcGIS (рис. 5).

Инструменты ENVI из панели инструментов можно также использовать при построении модели геообработки с помощью редактора ModelBuilder в ArcGIS Desktop. При таком подходе обработка изображений естественным образом встраивается в технологические цепочки, реализуемые с помощью ArcGIS.

Помимо стандартных функций, доступных в панели инструментов ENVI Tools for ArcGIS, пользователь может добавлять и другие функции ENVI. Для этого требуется наличие лицензии IDL (либо ENVI+IDL), а также владение некоторыми навыками программирования.

Отметим также, что версия ENVI 4.8 совместима как с версией ArcGIS 9.3.1, так и со сравнительно недавно вышедшей версией ArcGIS 10.

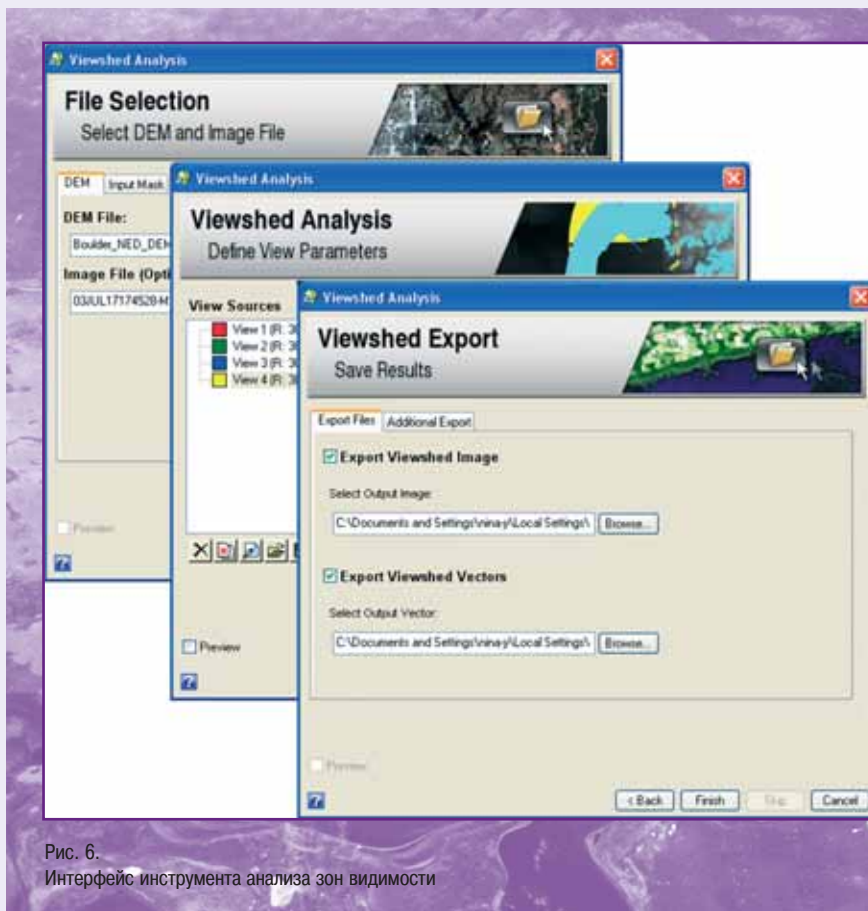


Рис. 6.
Интерфейс инструмента анализа зон видимости

ДРУГИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ENVI 4.8

Новый инструмент анализа зон видимости

В интерфейсе ENVI Zoom появился новый инструмент для анализа зон видимости (рис. 6). Исходными данными для работы инструмента служит цифровая модель рельефа. По указанным пользователем позициям на местности – точкам, линиям, полигонам – инструмент определяет участки на местности, видимые одновременно из всех либо хотя бы из одной области (рис. 7).

Представленный инструмент может использоваться при планировании размещения определенных объектов (например, вышек сотовой связи или очистных со-

оружий), при выборе наиболее безопасного пути передвижения (например, военных сил) и т. д.

Новый просмотрщик (вьюер) для данных лазерного сканирования

В ENVI появился новый вьюер для трехмерной визуализации данных лазерного сканирования. Этот инструмент позволяет отображать большие объемы данных в формате LAS. Пользователь может настраивать стили отображения, осуществлять навигацию, проводить измерения (рис. 8).

Полезной является возможность отображать данные лазерного сканирования поверх растровых данных и работать одновременно с данными обоих типов.

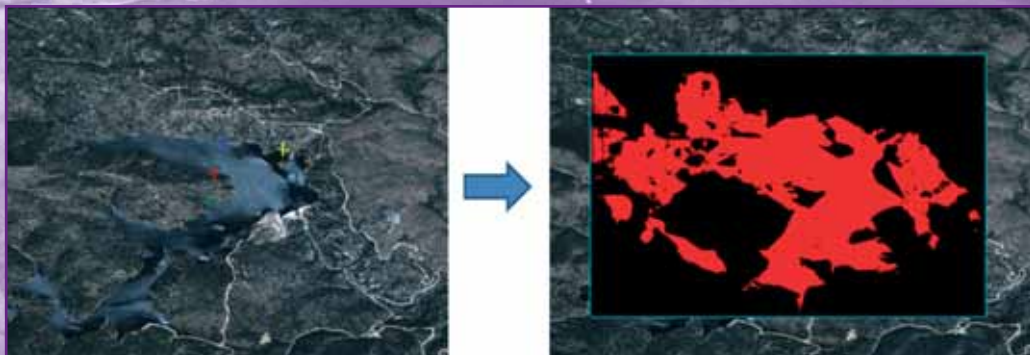


Рис. 7.
Определение зон видимости для четырех точек на местности

Новые опции в ENVI Zoom

В ENVI Zoom (одном из двух интерфейсов ENVI) произошли небольшие изменения, коснувшиеся в основном расширения поддержки форматов данных и библиотек. В частности, в ENVI Zoom была добавлена поддержка следующих типов данных:

- DTED (уровни 0, 1 и 2);
- Digital Point Positioning Data Base (DPPDB) в формате NITF;
- WorldView-1, WorldView-2, IKONOS, OrbView-3;
- Landsat MSS GeoTIFF файлы с метаданными в формате LPGS.

Использование IDL 8.0

Версия ENVI 4.7 была создана на основе языка программирования IDL 7.1. Новая версия ENVI 4.8 базируется на версии IDL 8.0, которая появилась летом 2010 г., и была отмечена рядом весьма значительных изменений по сравнению с предыдущей версией.

Среди ключевых особенностей IDL 8.0:

- новые функции для построения графиков, поверхностей, контуров, растровых изображений, карт и т. д.;
- использование интуитивно понятного синтаксиса при программировании для создания и модификации визуализаций;
- интерактивное управление свойствами визуализации;

- изменение размеров графических окон с автоматической подгонкой масштабов визуализаций;
- удобные в использовании цвета, стили линий, символы, аннотации, а также форматирование для математических формул и греческие символы;
- простой экспорт данных в разнообразные форматы (программным путем либо интерактивно) – в PNG, TIFF, JPEG, GIF, EPS, PDF.

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ENVI EX 4.8

Возможности ENVI EX, появившиеся в версии 4.8, во многом перекликаются с возможностями ENVI 4.8. Это неудивительно, поскольку интерфейс ENVI EX практически полностью совпадает с интерфейсом ENVI Zoom, и многие производимые изменения применяются к обоим программам одновременно.

Теперь при инсталляции ENVI EX 4.8 пользователям также становится доступным набор инструментов ENVI Tools for ArcGIS, который может использоваться в ArcGIS Desktop. Кроме того, расширена поддержка форматов данных (см. выше – «Новые опции в ENVI Zoom»).

Также были доработаны процедуры классификации и выявления изменений, реализованные в ENVI EX. Произшедшие изменения направлены в основном на то, чтобы предоставить пользователям возможность более гибкой настройки процедур.

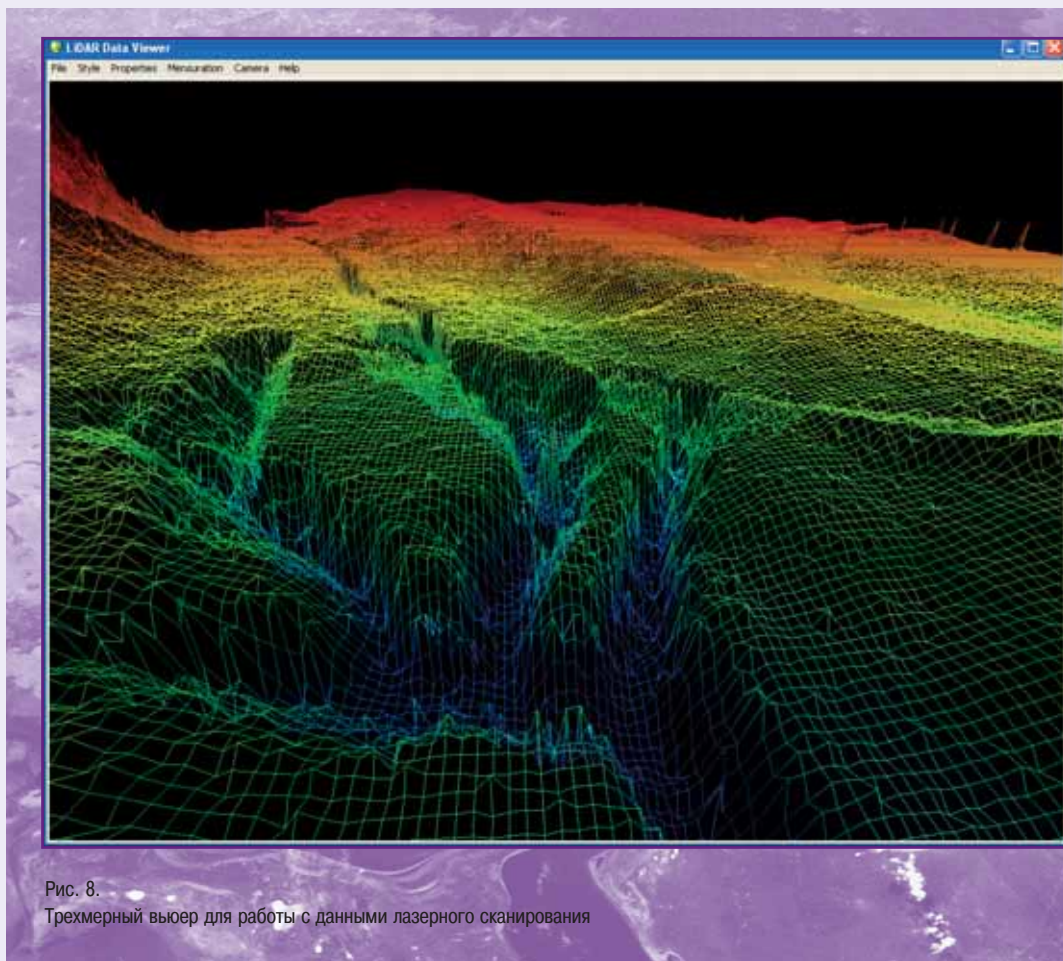


Рис. 8.
Трехмерный व्यюер для работы с данными лазерного сканирования

УСЛОВИЯ ПОСТАВКИ ПРОДУКТОВ ЛИНЕЙКИ ENVI

Эксклюзивным дистрибьютором линейки ENVI на территории России и стран СНГ является компания «Совзонд». Пользователям, желающим оценить возможности ENVI и обратившимся в компанию «Совзонд», предоставляются временные лицензии на полнофункциональные версии программных продуктов.

На базе компании «Совзонд» на протяжении нескольких лет функционирует учебный центр, одним из направлений деятельности которого является

обучение работе в программном комплексе ENVI и дополнительных модулях. В настоящее время, с учетом текущих тенденций на рынке ДЗЗ и ГИС по созданию интегрированных решений, помимо стандартных курсов обучения ENVI, проводится обучение комплексной обработке данных в программах ENVI и ArcGIS Desktop.

Отметим также, что с 2010 г. компания «Совзонд» является официальным дистрибьютором компании Esri CIS по распространению программных продуктов ArcGIS, а учебный центр получил статус сертифицированного учебного центра Esri.

В.С. Федоровский (ГИН РАН)

В настоящее время – главный научный сотрудник Геологического института Российской академии наук (ГИН РАН, Москва). Доктор геолого-минералогических наук.

Е.В. Складов (ИЗК СО РАН)

В настоящее время – директор Института земной коры Сибирского отделения Российской академии наук (ИЗК СО РАН, Иркутск). Член-корреспондент Российской академии наук, профессор.

Использование аэрокосмических данных высокого разрешения для целей геологической картографии (Ольхонский геодинамический полигон, Байкал)*

Геологическая карта – необходимый инструмент геологического исследования. Без карты прогресс в этом деле сомнителен, а прогноз обнаружения месторождений любых видов полезных ископаемых вряд ли возможен. Появление в середине прошлого века аэрометодов вывело геологическую картографию на новый уровень, несравнимый с тем, что было прежде. Удивительно вместе с тем, что современные космические аппараты, снимки с которых превышают тот потенциал, который обеспечивала аэрофотосъемка, остаются вне поля интересов не только геологов-практиков, но и исследователей, занятых изучением проблем формирования земной коры континентов. Последние десятилетия сопровождались в геологии потоком новых прецизионных аналитических данных, используется дорогая, а нередко и уникальная аналитическая аппаратура – все эти бесценные материалы открыли новый мир в геологической науке, обеспечили новый взгляд на многомиллиарднолетнюю историю планеты. Но когда дело доходит до интерпретации аналитического материала, эти нередко уникальные данные пытаются совместить с совершенно не соответствующими им по точности и классу, мелко- и среднемасштабными геологическими картами, составленными в прошлом веке. Результат никакой, и мы склонны рассматривать это как утрату профессиональной геологической культуры.

Это общий тренд. И в нашей стране, и за рубежом картина одинакова.

На примере Ольхонского геодинамического полигона на Байкале мы хотим показать возможности геологического дистанционного зондирования, которые позволили приступить к созданию нового поколения геологических карт. По своей точности и надежности (ошибка в нанесении геологических границ не превышает 1–2 м) они открывают невиданные прежде возможности для осмысленного геологического поиска и интерпретации структур, картируемых на земной поверхности.

Территория Ольхонского региона занимает часть западного побережья Байкала (рис. 1). Она издавна считалась одной из ключевых геологических площадей Сибири. Регион отличается сложнейшим геологическим строением, высокой степенью обнаженности кристаллических комплексов (лента прибрежных скал имеет протяженность около 400 км), высоким классом геологической дешифрируемости дистанционных данных и сравнительно небольшой площадью (около 2000 кв. км). Геологическая матрица Ольхонского региона, вскрытая на поверхности, сформирована 460–500 млн лет назад в результате коллизии Сибирского кратона и Ольхонского террейна. В современной структуре регион составляет перемышку Байкальского рифта,

* Расширенный вариант статьи (87 страниц, 125 иллюстраций) опубликован в сети Интернет в электронном журнале «Геодинамика и Тектонофизика» (№4, 2010 г., с. 331–418) по адресу: <http://www.crust.irk.ru/gt/files/4/331.pdf>



Рис. 1. Ольхонский геодинамический полигон на космическом снимке и мелкомасштабной топокарте

одной из крупнейших в мире зон внутриконтинентального растяжения, активно трансформирующей древнюю матрицу. В сумме все это и определяет высокий научный потенциал Ольхонского региона и те параметры, которые позволяют рассматривать его как геодинамический полигон. Он входит в состав Прибайкальского национального парка России.

В последние годы на площадь полигона удалось сконцентрировать обширный аэрокосмический материал, а многолетние полевые исследования принесли немало новых открытий и находок, которые кардинально изменили прежние представления. В сумме весь этот материал позволил приступить к созданию нового пакета «бумажных» и электронных карт геологического содержания.

Дистанционный материал включает два пакета (рис. 2):



Рис. 2. Два пакета дистанционных данных на площадь Ольхонского региона



Рис. 3.

Цифровая объемная модель рельефа

Генерирована в программе ENVI с использованием мультиспектрального космического снимка со спутника QuickBird и альтиметрии с радарного спутника SHUTTLE. В левом нижнем углу – Тажеранский массив сиенитов, нефелиновых сиенитов и святоноситов, окруженный сдвиговой петлей. В центре – сдвиговая пластина Орсо, ограниченная с севера офиолитовой сутурой. В верхней части модели – гранитогнейсы и мигматиты Центральной купольной зоны

1) аэрофотоснимки четырех масштабов (1:5000, 1:12 000, 1:25 000, 1:100 000, Россия);

2) космические снимки среднего, высокого и сверх-

высокого пространственного разрешения с шести спутников: Landsat-7 ETM+ (США, мультиспектральный режим), IKONOS (США, панхроматический и мультиспектральный режимы), QuickBird (США, панхроматический и мультиспектральный режимы), SHUTTLE (США, миссия SRTM), SPOT-5 (Франция, панхроматический режим), ALOS (Япония, сенсор PRISM).

Широко используем и объемные цифровые модели рельефа по данным радарных 30- и 3-секундных космических съемок (США), а также цифровые модели крупного масштаба, которые мы генерируем в программном комплексе ENVI, одновременно

используя космические снимки высокого разрешения с различных спутников и данные альтиметрии с радарного спутника SHUTTLE (рис. 3).

Кроме того, специфический дистанционный материал представляет собой непрерывная цифровая стереоскопическая фотосъемка скал побережья (около 200 км), выполненная нами со льда Байкала и летом – с корабля Института земной коры СО РАН «Геолог». Полезный ресурс составляют и многочисленные фотографии участков детальных исследований с вертолетов. В итоге практически все ключевые объекты оказались обеспечены дистанционным материалом, полученным в разные времена года, при различной освещенности и с разных высот (50–1000 м с самолетов и вертолетов; 400–1000 км со спутников). В целом по обеспечению данными дистанционного зондирования Ольхонский регион как геологический объект сегодня не имеет себе равных в нашей стране.

Нужно отметить, что, кроме обычных летних экспедиций, мы широко используем зимние полевые работы. Скалы побережья Байкала, практически недоступные летом из-за штормовых ветров, мож-



Рис. 4.

Ледяной покров в районе устья р. Анги (слева) и мыса Орсо (справа).

Снег полностью сдут ветрами, и автомашина может проникнуть практически в любое место. В зимней работе многое зависит от состояния льда. Нередко он идеально гладкий, совершенно прозрачный. Вместе с тем работа на льду имеет свою специфику; она опасна и требует осторожности. Многочисленны трещины (их протяженность достигает иногда десятков километров), и это «живые» системы, нередко с открытой водой, но чаще с нагромождениями торосов

но исследовать со льда озера на исходе зимы, когда лед еще крепок, а сибирские морозы уже отступили. Ценная информация, полученная в условиях абсолютной обнаженности (рис.4), — важный элемент геологической работы. Единый банк данных составляют, таким образом, четыре компонента:

- результаты детальной геологической съемки на поверхности плато;
- дешифрирование разнообразного дистанционного материала с самолетов, вертолетов и спутников;
- результаты специального изучения геологических разрезов в скалах побережья Байкала;
- результаты петрологического, петрохимического и геохимического изучения горных пород и их геохронологического датирование, выполненное в лабораториях России, Германии, Австралии и Южной Кореи.

И вместе с тем отнюдь не все проблемы, возникавшие по мере выполнения исследований, нашли свое решение. Наоборот — их число непрерывно возрастает. Но многое, однако, стало более ясно, чем прежде. И главное, постепенно вырисовывалась тектоническая матрица региона. Именно она позволяет понять общую конструкцию системы, ее анатомию и постепенно перейти от среднемасштабного картирования всей площади полигона к детальному изучению ключевых участков. В свою очередь, результаты, получаемые в итоге таких детальных исследований, заставляют вносить коррективы в, казалось бы, уже понятный образ всей коллизионной системы, а нередко и весьма кардинально корректировать саму региональную концепцию. И так до бесконечности. Хотя в итоге всех этих усилий удалось достигнуть большой точности геологических карт, нужно всегда быть готовым к тому, что какое-нибудь незначительное на первый взгляд новое наблюдение принесет такую информацию, которая разрушит всю идею конструкции. Но и всякому коллапсу есть предел: закартированные контуры геологических тел останутся навсегда. Они должны «вписаться» в любую новую модель или концепцию. Если этого не происходит, значит, ошибочны и сама модель, и концепция. Именно этому учит дис-



Рис. 5.

Гранито-гнейсовые купола впервые были обнаружены в регионе на аэрофотоснимках масштаба 1:5000 (специальная съемка) Сегодня закартированы сотни таких структур. На рисунке — фрагмент купола Овал. Так он виден на космическом снимке со спутника IKONOS (синтезированное мультиспектральное изображение, сверхвысокое разрешение. Уменьшено по сравнению с оригиналом). Степень дешифрирования — 100%



Рис. 6.

Многократно деформированные сдвигом структурные композиции в районе бухты Орсо на Байкале
В верхней части снимка — фрагмент Центральной купольной зоны, переработанной сдвигами (461 млн лет). В центре снимка — сдвиговая глина Орсо (лептиниты и амфиболиты, 800 млн лет), отделенная от Центральной купольной зоны офиолитовой сутурой (с гипербазитами). Высокий класс дешифрируемости дистанционных данных



Рис. 7.

Мультиспектральный космический снимок правосдвиговой сигмоиды Нургей со спутника IKONOS (разрешение 2,44 м/пиксель)

танционный материал высокого разрешения – он объективен по своей сути и выступает как критерий надежности. Справедливо, однако, помнить: наивно надеяться на то, что, вооружившись снимками высокого разрешения, удастся автоматически и быстро получить научный результат. Несмотря на огромный информационный потенциал, снимок сам по себе, взятый отдельно, – ничто. Основным инструментом исследователя по-прежнему остаются геологический молоток и мозги. Лишь соединив все эти три ипостаси, можно надеяться на успех. Да и то не всегда. Нужно помнить и еще об одном, может быть самом важном моменте любого научного геологического исследования – везении.

Основной мотив геодинамики, приведшей полмиллиарда лет тому назад к формированию коллизионного композита территории, – сближение Сибирского кратона и Ольхонского террейна, закрытие разделявшего их океанического пространства и косой характер столкновения главных сегментов земной коры. Именно это обстоятельство определило на первых этапах коллизии проявление деформаций покровного и купольного генезиса (рис. 5), а затем тотальное проявление здесь сдвигового тектогенеза (рис. 6). Свидетельства такой кинематики бесчисленны. А между тем прежде, до проведения геологических исследований с использованием ДЗЗ, ни одного сдвига здесь не было обнаружено. Сегод-

ня закартированы сотни таких структур. Даже на космических снимках среднего разрешения сдвиги, составляющие скелет коллизионной системы, распознаются уверенно. Снимки же сверхвысокого разрешения позволяют обнаруживать такие детали их внутреннего строения, которые недоступны при прямом контакте исследователя (с геологическим молотком в руках) с горной породой. Такова специфика объектов наших исследований.

Геологические структуры, составляющие земную кору континентов, имеют и микроскопические размеры (и тогда инструмент геолога – микроскоп), и сотни и тысячи километров в длину. Охватить одним взглядом подобные системы можно только из космоса – и именно поэтому дистанционное зондирование является неприменимым методическим приемом при геологических исследованиях. Сдвиговые композиции Ольхонского региона видны на аэрофото-

тоснимках и космических снимках любых масштабов как на ладони. Генеральная структура региона, как теперь стало ясно, представляет собой многочисленные узкие в плане (сотни метров, первые километры), но протяженные (десяtkи километров) сдвиговые пластины, спрессованные в едином коллизионном коллаже. Но и это не все. Возникший на ранних этапах коллизионный композит вновь вовлекался в сдвиговые деформации, что привело к формированию более поздних крупных сдвиговых сигмоид (рис. 7). Они и составляют картируемый в современном срезе тектонический образ коллизионной системы региона. Ее яркая особенность, кроме того, – резкая геологическая неоднородность той геологической среды, которая была охвачена коллизионными процессами. Это сегодня различные комплексы и структуры вскрыты здесь, на дневной поверхности, а 500 млн лет назад дело происходило в глубинах земной коры. Эти глубинные горизонты были охвачены метаморфизмом, колебания температур и давлений были весьма значительны (от эпидот-амфиболитовой до гранулитовой фации метаморфизма включительно), заметную часть объемов коры составляли внедрения крупных массивов пород из мантии. Различные вязкостные свойства компонентов коллизионного композита тоже отражены в генеральной структуре: более жесткие геологические тела (обычно это массивы базитов и гипербаз-

зитов) в процессе тектонического течения и реализации сдвиговой деформации вовлекались во вращение (роллинг), и это определило дополнительные структурные эффекты, запечатленные в интегральной картине системы. Таковы, например, вихревые рисунки некоторых массивов метагабброидов (они фиксируются на космических снимках), напряженные складчатые сигмоиды в метаморфическом матриксе, возникавшие вокруг массивов базитов и гипербазитов, охваченных роллингом. Размеры таких сигмоидальных структур весьма значительны. Самые крупные из них закартированы вокруг массива монцогабброидов Бирхин (размах ее крыльев достигает 15 км в плане) и вокруг знаменитого массива Тажеран (сиениты, нефелиновые сиениты, субщелочные габбро), известного своими редкими и уникальными минералами. На космических изображениях сдвиговые сигмоиды распознаются практически мгновенно, а их картирование можно вести с такой точностью, которая прежде была вообще недоступна.

Чрезвычайно эффектные и на аэрофотоснимках крупных масштабов, и на космических снимках высокого и сверхвысокого разрешения рои из сотен гранитных жил, заполняющих трещины в жестких массивах габброидов, возникавшие при их роллинге. Нужно отметить, что степень дешифрируемости таких жил и на космических снимках, и на аэрофотоснимках очень велика, а тонкие детали конфигурации таких жил, обнаруживаемые на дистанционных материалах, дают отчетливое представление о кинематике процесса их формирования. Можно утверждать, что без применения ДЗЗ выяснение морфологии таких геологических тел было бы просто невозможно: с космической высоты сами гранитные жилы и мельчайшие изменения их конфигурации фиксируются во всем их разнообразии, в то время как на Земле уловить все эти детали вряд ли удастся. Но даже если это захотелось бы сделать, нетрудно представить себе, сколько времени и сил придется затратить на такую работу. Но точность, которую обеспечивает космический снимок, все равно никогда не будет достигнута.

Поскольку мы имеем дело с коллизионной системой, важной проблемой был поиск главного коллизионного шва, разделявшего в раннем палеозое Сибирский континент и Ольхонский микроконтинент. Он был найден и непрерывно прокартирован на протяжении 150 км.

Ширина этой структуры в плане редко достигает 1000 м. Операция по поиску коллизионного шва напоминает детектив. Выше уже упоминалось, что Ольхонский регион располагается в рамках современной Байкальской рифтовой системы — грандиозной по своим масштабам структуры растяжения материка Азии. Западная граница Байкальского рифта (известный Приморский разлом, обрезающий как ножом Приморский хребет), как оказалось, «села» точно на древний, раннепалеозойский коллизионный шов системы террейнконтинент — и именно это маскировало сам шов, препятствовало на первых порах его обнаружению. Лишь активное использование дистанционных данных позволило разделить эти две структуры и доказать их диаметрально различное происхождение (рифт — это растяжение коры, коллизия — сжатие) и разницу в возрасте почти в полмиллиарда лет.

Здесь перечислены лишь отдельные моменты того принципиально нового видения геологической ситуации, которое стало возможно в результате плотного использования данных ДЗЗ. Преимущество таких приемов работы перед традиционными методиками геологической картографии достаточно очевидно. Опыт, полученный на Ольхонском геодинамическом полигоне, привел нас к идее создания на его площадь пакета карт геологического содержания. Мы намечаем составление и издание 14 карт (в «бумажном» и электронном вариантах) — все на основе космических снимков высокого и сверхвысокого разрешения, попиксельно привязанных к мировой системе координат. Издание всего пакета карт геологического содержания на площадь Ольхонского геодинамического полигона предполагается выполнить до 2013 г. Это будут шесть региональных карт (геологическая, тектоническая, метаморфизма, геодинамическая, геоморфологическая, неотектоники — все в масштабе 1:100 000) и еще восемь детальных геологических карт (масштаб 1:10 000) на площади ключевых объектов коллизионной системы. Первая, пилотная из этого пакета, геологическая карта массива Тажеран уже издана. Аэрокосмический материал по Ольхонскому региону, который накоплен к настоящему времени, позволяет надеяться на то, что эту работу удастся завершить в намеченные сроки. Ольхонский геодинамический полигон станет тогда надежной стартовой площадкой для дальнейших углубленных геологических исследований.

А.В. Дурандин (ООО «ГеоКосмоМониторинг», Нижний Новгород)

В 1978 г. окончил Исовский геологоразведочный техникум, в 1986 г. — геолого-географический факультет Томского государственного университета по специальности «геология». Работал в ПГО «Красноярскгеология», «Бурятгеология», «Волгагеология». С 2009 г. — главный геолог ООО «ГеоКосмоМониторинг» (Нижний Новгород).

Структурно-тектонический анализ данных дистанционного зондирования Земли

С 90-х гг. XX в. геофизики академических институтов занимаются изучением низкочастотных электромагнитных сигналов литосферного происхождения (Соболев Г.А., Дедов В.П., Левшенко В.Т., Гульельми А.В., Шуман В.Н. и др.). Экспериментально установлено [1,6,7], что литосфера способна генерировать электромагнитные и сейсмомангнитные возмущения. На границе раздела «Земля — атмосфера» они создают сложную

структуру электромагнитных полей, несущих информацию о процессах в земной коре, ее строении и свойствах [1,3,4,6,7]. На дневную поверхность проецируется трехмерная интерференционная картина геологического строения литосферы [6]. Регистрируемый съемочной аппаратурой искусственных спутников Земли (ИСЗ) отраженный от дневной поверхности солнечный свет модулируется низкочастотными электромагнитны-

Рис. 1.
Снимок Landsat
(синим контуром показаны нефтяные залежи)





Рис. 2.
Трансформанта «min» для
верхней полусферы для
глубины 1900 м

ми и сейсмомангнитными сигналами, коррелированными с геологическим строением литосферы [9].

Таким образом, существующий фон природных сейсмоакустических волн, проходящих через толщу земной коры, взаимодействуя с геологическими структурами и объектами, отражается на дневной поверхности в виде интерференционной картины стоячих волн, несущих информацию, накопленную в процессе движения. Сейсмические волны, двигаясь из глубин Земли в неоднородной среде к поверхности, постоянно взаимодействуют с горными породами, генерируя вторичные низкочастотные сейсмоакустические и сейсмомангнитные колебания. Вторичные импульсы посылаются к поверхности в зависимости от формы, размера и условий залегания геологических тел под углом от 60 до 82° [2]. Эти импульсы формируют на границе раздела «Земля – атмосфера» сложную пространственно-временную информационную структуру электромагнитных полей.

На основании этого в ООО «ГеоКосмоМониторинг» разработана экспериментальная методика определения структурно-тектонического каркаса территорий по данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). В методике используются данные спектрозональных космических съемок как наиболее доступные, оперативные, разномасштабные и относительно дешевые.

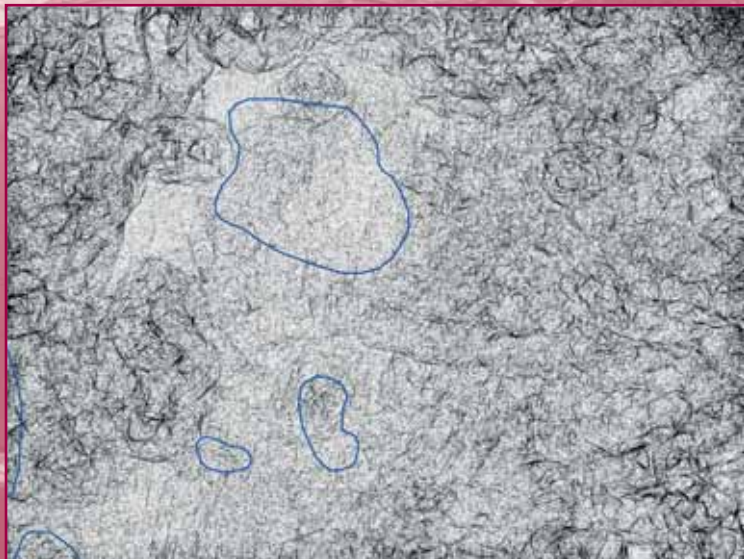
Предварительное осреднение сигнала происходит в процессе аэро- и космосъемок, в зависимости от аппаратного разрешения сенсора. Например, на снимке с космического аппарата Landsat (рис. 1) с разрешением около 15 м осредненный сигнал имеет частоту примерно 20 МГц. Демодуляция отраженного светового сигнала производится с использованием частотных и полосуемых фильтров и преобразований Фурье [2].

На первом этапе выполняется автоматизированный линеаментный анализ исходного снимка программным комплексом LESSA [10]. Для демодуляции данных аэрофото- и космосъемки используется поканальный перевод в числовые матрицы, над которыми производится ряд трансформаций: выделение региональной составляющей, осреднение, частотная селекция методом послыоного вычисления аномальных вертикальных градиентов по вычислительным схемам Саксова – Нигарда и Гендерсена-Зитца в верхнюю и нижнюю полусферы [2] при помощи интеграла Пуассона по минимальным (рис. 2), средним (рис. 3) и максимальным значениям.

Значения аномальных вертикальных градиентов пропорционально связаны с отклонениями физических параметров от их средних величин для изучаемого разреза.

Полученные при пересчете трансформанты переводятся в градиенты и оцениваются по стандартному отклонению.

Рис. 3.
Трансформанта «теап»
для нижней полусферы
для глубины 600 м



По полученным трансформантам производится построение псевдоразрезов (рис. 4). В общем случае, так же как при решении обратной задачи в грави- и магниторазведке, исходим из модели идеального шара и соответственно из среднего соотношения радиуса осреднения с глубиной 0,71. На разрезах выделяются поверхности раздела, тектонические нарушения и определяется структурно-тектонический каркас территории.

Метод имеет ограничения точности в зависимости от размера элементарной ячейки (разрешения) исходного снимка.

Использование метода не требует выезда на изучаемую территорию и обеспечивает значительную экономию времени и средств, позволяет сократить объем, сроки и стоимость работ при региональных, среднemasштабных и детальных геолого-геофизических исследованиях.

В силу особенностей анализируемого поля и его параметров методика объясняет значительную дифференциацию на небольших площадях физических свойств геологических тел, образование зон уплотнения и разуплотнения, проявление карста или солифлюкции.

Полевыми исследованиями специалистов Московского государственного университета им. М.В. Ломо-

носова [9] было подтверждено, что на локальных участках наблюдается зональное изменение рельефа земной поверхности, уплотнение или разрыхление почв, изменение других инженерно-геоморфологических и геологических свойств грунтов, растительности и т. д. Анализ этих и других параметров, определяемых во время обработки, позволяет решать значительный спектр задач региональной металлогении, структурной и поисково-разведочной геологии, инженерной геологии и др.

Результаты структурно-тектонических и картировочных исследований дают возможность проводить разработку конкретных рекомендаций инженерно-геологического и иного плана для локальных территорий земной поверхности, в том числе для отдельных сооружений, небольших водоемов, участков дорожной сети.

Можно проводить изучение глубины залегания разнородных пластов пород, мощности и состава рыхлых осадочных толщ, положения основных литологических разделов.

Методика применима в различных областях человеческой деятельности, связанных с недрами, в т. ч.:

- региональная геология и металлогения;
- структурное и палеогеологическое картирование;

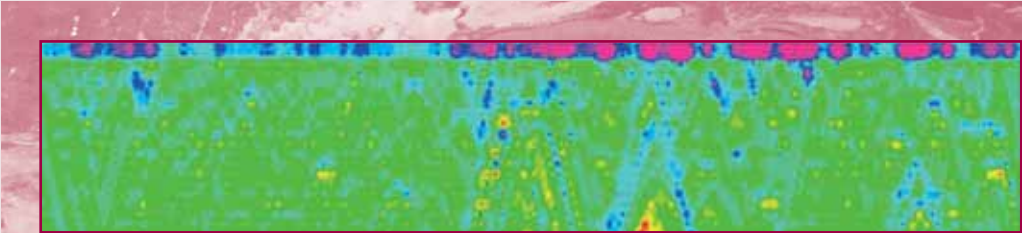


Рис. 4.
Фрагмент псевдоразреза с отношением масштабов 1:5

- поисковые, поисково-оценочные геологоразведочные работы;
- инженерно-геологические изыскания;
- прогнозирование чрезвычайных ситуаций, связанных с сейсмической и неотектонической активностью, суффозионно-карстовыми явлениями.

Методика также позволяет определять нахождение под землей практически любых объектов (включая затонувшие корабли, археологические объекты и пр.) и геологических объектов, размеры которых больше длины анализируемой волны.

Методика протестирована при поиске углеводородного сырья (Самарская и Нижегородская области, Удмуртская Республика, золота (Алтай), а также медных руд (Республика Башкортостан). Установлено совпадение полученной в результате анализа информации с геолого-геофизическими данными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гульельми А.В. Ультранизкочастотные электромагнитные волны в коре и магнитосфере Земли. Журнал «Успехи физических наук», декабрь 2007 г., том 177, №12, с.1257-1276.
2. Чернов А.А. Методы геологической интерпретации гравитационных и магнитных аномалий. Материалы международной конференции «GEOSCIENCES 2006», с.388-391.
3. Левшенко В.Т. Сверхнизкочастотные электромагнитные сигналы литосферного происхождения. Автореферат диссертации доктора физ.-мат.наук. Москва, Объединенный институт физики им.О.Ю.Шмидта РАН, 1995 г., 36 с.
4. Ершов С.В., Новик О.Б., Ружин Ю.Я. Физика предвестников цунами и схема наземно-космического мониторинга. Седьмая всероссийская открытая ежегодная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» Москва, ИКИ РАН, 16-20 ноября 2009 г. Сборник тезисов конференции, с.255.
5. Павлович В.Н., Богданов Ю.А., Шуман В.Н., Ващенко В.Н. Электродинамика тектонических процессов и электромагнитное профилирование земной коры в Антарктическом регионе. Украинский антарктический журнал, 2009 г., №8, с.154-170.
6. Шуман В.Н. Электромагнитные сигналы литосферного происхождения в современных наземных и дистанционных зондирующих системах. Геофизический журнал, 2007 г. № 2, с. 3–16.
7. Шуман В.Н. Уравнение генерации спонтанных электромагнитных сигналов в системе литосферных блоков. Геофизический журнал, 2008 г. № 1, с. 42–48.
8. Башкуев Ю.Б., Хаптанов В.Б., Нагуслева И.Б., Буянова Д.Г., Адвокатов В.Р., Дембелов М.Г. Радиофизическая диагностика зон тектонических нарушений. Доклады Российской научной конференции «Зондирование земных покровов радарми с синтезированной апертурой», Улан-Удэ, 2010 г., с.405-421.
9. Фивенский Ю.И. Использование материалов аэрокосмических съемок для изучения земной коры. Журнал «Геодезия и картография» №1, 2006, с. 44-52.
10. Златопольский А.А. Методика измерения ориентационных характеристик данных дистанционного зондирования (технология LESSA) Пятая Юбилейная Открытая Всероссийская конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» Выпуск 5, ООО «Азбука», Москва, 2008 г., т. 1, с. 102-112.

А.М. Пация (ЗАО «Проектно-изыскательский институт ГЕО», Екатеринбург)

В 2002 г. окончил Полоцкий государственный университет по специальности «прикладная геодезия». После окончания университета и по настоящее время работает в ЗАО «Проектно-изыскательский институт ГЕО» (Екатеринбург), с 2009 г. — руководитель Центра дистанционного зондирования.

Данные дистанционного зондирования Земли — основа ГИС нефтегазовых предприятий

Современные условия взаимодействия на предприятиях, разбросанных на тысячи квадратных километров, достаточно остро ставят вопрос о создании единой информационной базы об экономических и юридических параметрах объектов инфраструктуры. Это вызвано необходимостью мониторинга, определения стоимости объектов, расчета экономической эффективности, прогнозирования их состояния.

Одним из основных типов описания объекта являются топографические материалы практически всех масштабных рядов, начиная от 1:500 для целей внедрения в геоинформационную систему (ГИС) и заканчивая 1:25 000 для принятия управленческих решений. Однако характерным для предприятий ТЭК является значительная протяженность объектов, большое их количество и бурная хозяйственная деятельность, которая подразумевает значительные изменения в сравнительно небольшие промежутки времени. Это, в свою очередь, требует существенных инвестиций на создание и поддержку информации в актуальном состоянии наземными методами.

КОСМОСЪЕМКА. АЭРОФОТОСЪЕМКА. ВОЗДУШНОЕ ЛАЗЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ

Одним из наиболее эффективных решений для получения информации об объекте является анализ

данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), ввиду того что объекты ТЭК расположены на площадях, измеряемых сотнями квадратных километров, зачастую в труднодоступных местах.

Космосъемка. Высокотехнологические решения в космической отрасли привели к широкому распространению данных космической съемки высокого разрешения. Однако на сегодняшний день наилучшее разрешение составляет 0,5 м, что при достаточно квалифицированной обработке позволяет получить точность планового материала порядка 1:5000 при точности определения координат объекта на местности порядка 1 м. Этот вид данных дает достаточно полное представление об объектах инфраструктуры на лицензионных участках, позволяет контролировать с некоторой периодичностью ход строительства объектов, проводить землеустроительные мероприятия на землях лесного фонда, дает возможность оценить объем инвестиций в картографо-геодезический материал для получения точных плановых и высотных данных. Но при этом он не дает возможности создавать цифровую топографическую основу в виде цифровых топографических планов для проектирования строительства новых либо реконструкции действующих объектов. Кроме того, одно из основных отличий этого вида данных от альтернативных — недостаточная точность информации о рельефе, если предпола-

гать фотограмметрические методы для получения рельефа из стереопары космоснимков. При этом, стоимость одного квадратного километра возрастает в 2 раза и составит порядка 50 долл., т. е. 1500 руб. за исходные снимки.

Аэрофотосъемка. Современные технологии аэрофотосъемки являются не столько конкурентными, сколько более выгодными для решения определенного круга задач. Цифровые методы привели к повышению точности данных, сокращению сроков получения материалов, удешевлению продукции. Стоит отметить, что аналогично космическим технологиям аэрофотосъемка также ведется в четырех спектральных диапазонах, что позволяет без дополнительных затрат получить ортофотопланы сразу в нескольких вариантах – панхроматическом (черно-белом), натуральном цветном (рис. 1) и в инфракрасном цвете (рис. 2). Дешифровочные свойства цветного изображения для специалистов, занятых в нефтегазовой отрасли, близки к 100%, тогда как на черно-белых снимках достаточно сложно по фототону разделить поверхности с нечетким контуром. Это относится также к поверхностям, загрязненным нефтепродуктами, когда по данным аэрофотосъемки представля-

ется возможным точно определить объемы нарушенных земель и рассчитать расходы по их рекультивации или принять решение о ликвидации проблемы загрязнения. В конечном итоге по данным цифровой аэрофотосъемки на любом участке отснятой территории есть возможность получить цифровые топографические планы в зависимости от заданных условий масштаба 1:500 – 1:5 000, и мельче.

Воздушное лазерное сканирование является неотъемлемой частью разработки новых месторождений либо модернизации уже действующих. Цифровые модели рельефа (ЦМР), получаемые в результате обработки данных, по точности превосходят все существующие альтернативы и предоставляют возможность автоматизированного проектирования объектов строительства, моделирования различных техногенных и природных процессов. Точность получения рельефа на отснятой территории составляет порядка 15–20 см, что соответствует требованиям инструкции для топографических планов с сечением рельефа 0,5 м. Необходимо пояснить, что материалы воздушного лазерного сканирования представляют собой достаточно специфический продукт и являются скорее частью продук-



Рис. 1. Отображение РВС (резервуары вертикальные стальные) в натуральных цветах (разрешение 0,1 м)

Рис. 2.
Отображение РВС
(резервуары вертикаль-
ные стальные) в инфра-
красном диапазоне
(разрешение 0,1 м)



та, чем его самостоятельным представлением. На наш взгляд, наиболее эффективное и экономически выгодное предложение составляет ЦМР на основе лазерного сканирования + ортофотопланы по материалам аэрофотосъемки.

РАСЧЕТ СТОИМОСТИ ИНВЕСТИЦИЙ

Хотелось бы рассмотреть стоимость некоторых видов материалов ДЗЗ. Стоимость единицы объема материалов аэрофотосъемки в соотношении с наземными съемками составляет пропорцию 1:3 и в соотношении с данными космических съемок 1:1. Безусловно, одним из неудобств для расчета стоимости аэрофотосъемки является объективный подход к каждому проекту, т. е. зависимость от мест базирования воздушного судна оказывает существенное влияние на конечную стоимость готового материала. Тем не менее стоимость выполнения аэрофотосъемки и воздушного лазерного сканирования в среднем составляет порядка 1500 руб. за кв. км (без учета подлета-отлета к объекту), что в некоторых случаях является конкурентной ценой по сравнению с космическими данными. Эти

исследования, безусловно, выигрывают, являясь базой для создания топографических планов.

Такие комплексные решения на базе совместного выполнения аэрофотосъемки и воздушного лазерного сканирования позволяют сократить дорогостоящие инженерно-геодезические изыскания при строительстве новых объектов, облегчают возможности расчета затрат при реконструкции существующих. При этом данные воздушного лазерного сканирования являются основным материалом по созданию трехмерных ГИС и объемного проектирования, которые начинают внедрять многие нефтяные и газовые компании. Условия рынка предъявляют все более жесткие требования к расходованию средств. И на сегодняшний день существует возможность получения большего числа продуктов дистанционного зондирования при минимальных вложениях. База данных предприятий нефтегазового сектора в виде материалов космосъемки, аэрофотосъемки (их производных продуктов) является полной и достаточно дешевой для принятия оперативных решений департаментами капитального строительства, земельных и имущественных отношений, маркшейдерскими службами, управленческими структурами.

В.И. Буканов (ООО «СЛИК», Калининград)

В 1979 г. окончил Ленинградское высшее зенитное ракетное командное училище по специальности «инженер по эксплуатации радиотехнических средств», в 1994 г. – Военную академию Войск противовоздушной обороны Сухопутных войск. В настоящее время – директор ООО «СЛИК» (Калининград).

Организация и результаты спутникового мониторинга нефтяных загрязнений в юго-восточной части Балтийского моря

Спутниковый мониторинг Юго-Восточной Балтики является неотъемлемой частью комплексного производственного экологического мониторинга, организованного и проводимого по заказу российской нефтяной компании «ЛУКОЙЛ-Калининградморнефть» в районе морской ледо-

стойкой платформы (МЛСП) на месторождении «Кравцовское» (Д-6) с 2003 г.

Главной особенностью производственного экологического мониторинга является то, что добыча нефти ведется в открытом море в 3,5 км от исключительной экономической зоны Литвы и в 22,5 км

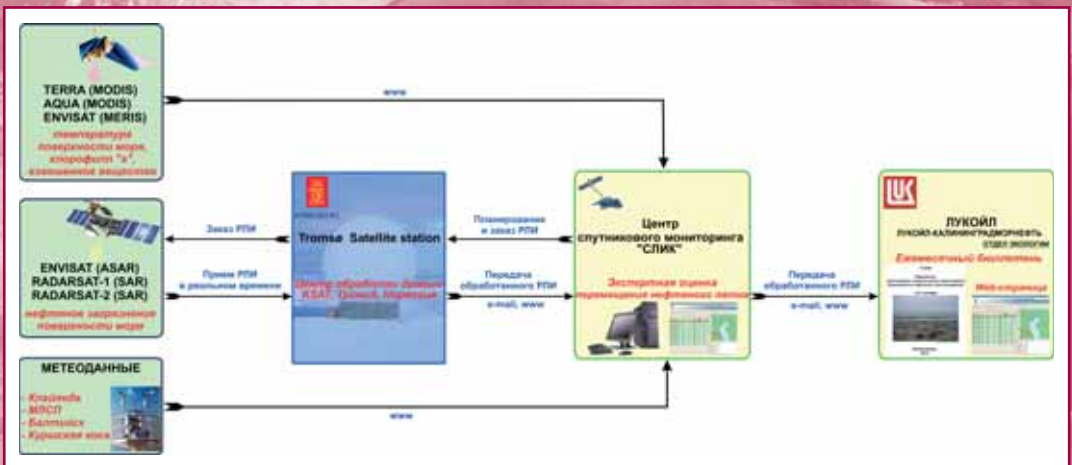


Рис. 1. Схема организации оперативного спутникового мониторинга нефтяных загрязнений в Юго-Восточной Балтике

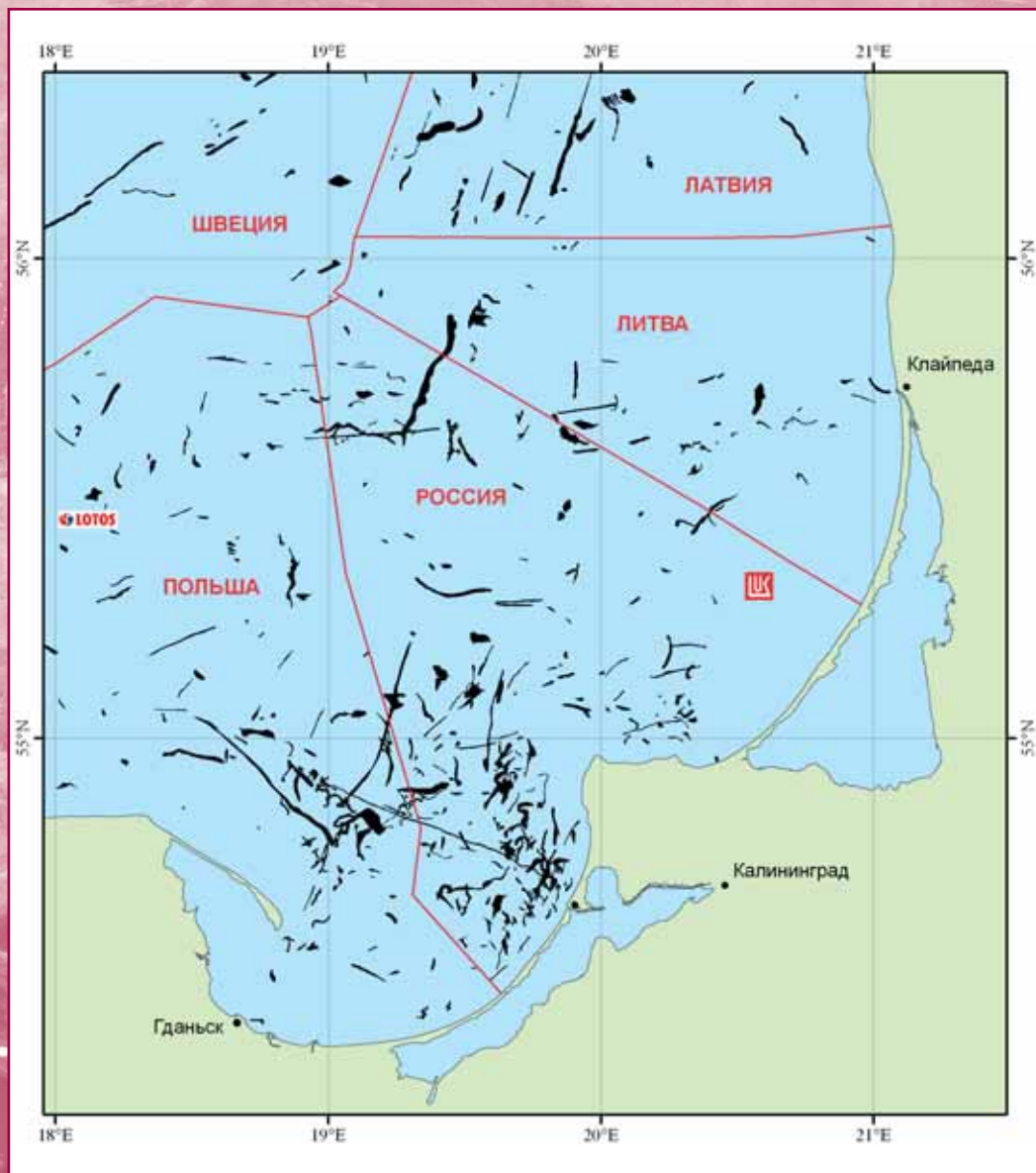


Рис. 2.
Сводная карта нефтяных загрязнений обнаруженных в районе мониторинга в 2006–2010 гг.

от побережья Куршской косы, включенной в 2000 г. в Список Всемирного наследия ЮНЕСКО.

В 2004–2005 гг. проводились экспериментальные работы по спутниковому мониторингу нефтяных загрязнений морской поверхности. Для выполнения этой работы были привлечены сотрудники Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН (Москва), Института космических исследований РАН (Москва), Геофизического центра РАН (Москва), Атлантического научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (Калининград), Морского гидрофизического института НАНУ (Украина, Севастополь), ФГУП «Российский НИИ космического приборостроения» (Москва).

На основе полученного опыта в 2006 г. была принята оптимальная схема спутникового мониторинга района нефтедобычи на месторождении «Кравцовское» (рис. 1). С этого времени первым в России ООО «СЛИК» в сотрудничестве с норвежской компанией Kongsberg Satellite Services (KSAT) выполняет на постоянной основе мониторинг нефтяных загрязнений на море.

Заказ и планирование радиолокационной съемки согласуется с панъевропейским проектом Clean Sea Net. Время доставки конечной информации потребителю с момента пролета спутника составляет 30 минут. Потребитель имеет удобный веб-интерфейс для просмотра сведений о нефтяном загрязнении, радиолокационных изображений (РЛИ) полного разрешения, метеорологической информации, также имеется техническая возможность подключения автоматической системы идентификации судов и модели дрейфа нефтяного пятна. Информация о параметрах нефтяного загрязнения доступна в текстовом формате. Инструментарий веб-интерфейса позволяет потребителю самому определять координаты, измерять линейные размеры объектов, выводить различные слои: координатную сетку, границы государств и экономических зон, названия населенных пунктов, нефтяные платформы, трассы подводных трубопроводов и многое другое.

Для оперативного обнаружения нефтяных загрязнений используются радиолокационные изображе-

ния спутников Envisat (Европейское космическое агентство) и RADARSAT-1 (Канада). С осени 2008 г. первыми в России мы стали использовать данные спутника RADARSAT-2 (Канада). Оптимальные режимы съемки для спутника Envisat: Wide Swath, размер кадра 400x400 км, пространственное разрешение 150 м, а для спутников RADARSAT-1 и RADARSAT-2 – ScanSAR Narrow, размер кадра 300x300 км, пространственное разрешение 50 м.

Планирование положения кадра и заказ РЛИ осуществляют специалисты нашего предприятия, как правило, на 3 месяца и более, используя соответствующее программное обеспечение. Ранее планирование важно для исключения конфликтов при заказе различными пользователями.

Обнаруженные нефтяные пятна заносятся в базу данных. Ежеквартально и ежегодно составляются сводные карты нефтяного загрязнения, которые позволяют выявлять межгодовую и сезонную изменчивость. За период постоянных наблюдений в Юго-Восточной Балтике обнаружено около 700 нефтяных пятен, из них почти половина в районе мониторинга (рис. 2).

Большинство нефтяных пятен расположено на основных судоходных трассах и в портовых зонах. Это подтверждает существующее представление о том, что основным источником нефтяных загрязнений в открытом море является морской транспорт. При этом с каждым годом четко проявляется тенденция уменьшения количества нефтяных пятен. Так, в 2006 г. было обнаружено 212 пятен, в 2007 г. – 199, в 2008 г. – 137, в 2009 г. – 90, а в 2010 г. – всего 57. При этом суммарная годовая площадь нефтяного загрязнения уменьшилась в 5 раз. Не исключено, что широкое распространение в регионе информации о проведении наших наблюдений сыграло не последнюю роль.

Результаты комплексного экологического мониторинга Юго-Восточной Балтики, в том числе и спутникового, ежегодно публикуются в бюллетенях, электронных версии которых размещены на интернет-сайте нефтяной компании «ЛУКОЙЛ» (http://www.lukoil.ru/static_6_5id_2135_.html).

В.И. Тарасюк (НПООО «ГРАУНД ЛТД»)

В 1968 г. окончил Московский институт инженеров землеустройства (МИИЗ) по специальности «землеустройство». Работал на Камчатке землеустроителем, главным специалистом, начальником экспедиции по геодезическим, геологическим, гидрометеорологическим изысканиям. Несколько лет работал начальником экспедиции на территории Республики Ирак. В настоящее время – генеральный директор НПООО «ГРАУНД ЛТД».

А.И. Зюканов (НПООО «ГРАУНД ЛТД»)

В 1977 г. окончил Ленинградское военно-топографическое училище по специальности «аэрофотогеодезия». Служил в частях Топографической службы Северо-Западного региона России. В 1988 г. окончил Военно-инженерную академию и затем работал в ней преподавателем фотограмметрии. С 2002 г. – ведущий специалист НПООО «ГРАУНД ЛТД», начальник геодезического отдела. Кандидат технических наук.

Из опыта использования данных ДЗЗ для планирования разработки и добычи нефти на нефтяном месторождении в Ираке

В 2010 г. перед НПООО «ГРАУНД ЛТД», которое уже 18 лет занимается комплексными инженерными изысканиями, заказчиком была поставлена задача по обеспечению нефтяников исходной картографической информацией для освоения нефтяного месторождения, прокладки нефтепроводов и газопроводов на территории Республики Ирак (рис. 1), а также по обеспечению исходными данными подготовки технических заданий на проектирование и инженерные изыскания. Для выполнения задачи было принято решение по созданию цифровых топографических карт (ЦТК) масштаба 1:10 000 по материалам дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса.

Необходимость использования данных ДЗЗ для проведения инженерных изысканий в нефте- и газодобывающей промышленности обусловлена:

- большими площадями территорий месторождений (площадь нефтяного месторождения равна примерно 300 кв. км);
- большой протяженностью транспортных магистралей (примерно 500 км);
- труднодоступностью местности в районах разработки и добычи нефти и газа (большая удаленность от обжитых территорий, бездорожье, отсутствие населенных пунктов, сложные климатические условия и т. п.).

На территории Ирака, кроме того, изыскательские работы затруднены в настоящее время сложной военно-политической обстановкой.

Для создания ЦТК были использованы данные ДЗЗ, полученные в компании «Совзонд». Космическая съемка выполнена компанией DigitalGlobe (США) космическими аппаратами (КА) WorldView-1 с разрешением снимков на местности 50 см, WorldView-2 с разрешением 50 см в панхроматическом и 2 м в мультиспектральном режиме, а также с КА QuickBird с разрешением 60 см в панхроматическом и 2,4 м в мультиспектральном режиме.

Кроме того, были использованы данные компании GeoEye (США), полученные с КА GeoEye-1 с разрешением снимков 0,41 м, с точностью определения координат точек местности по моноснямкам 3,5 м и высот по стереоснимкам 2,8 м без использования опорных наземных точек.

Обработка данных ДЗЗ с целью создания ЦТК выполнена с использованием цифровой фотограмметрической системы INPHO. Для построения цифровой модели рельефа (ЦМР) использована технология, разработанная компанией «Совзонд».

Технология включает следующие основные процессы:



Рис. 1.
Район нефтяного месторождения Бадра (Ирак). Снимок с КА WorldView-1. 17 мая 2010 г.

- построение геометрической модели местности, представленной в виде коэффициентов RPC полиномов, обеспечивающих определение планового положения точек модели с точностью 3,5 м без наземных измерений;
- создание цифровой модели местности по стереоснимкам;
- цифровое ортотрансформирование снимков и создание цифрового ортофотоплана;
- дешифрирование ортофотоплана с использованием всех имеющихся в наличии данных, в том числе снимков, полученных в панхроматическом и мультиспектральном режимах;
- составление ЦТК в системе координат СК-42;
- контроль точности и полноты содержания ЦТК.

Для повышения точности и надежности определения элементов связи систем координат WGS-84 и СК-42, а также для контроля точности ЦТК были использованы материалы геодезических изысканий, полученные при выполнении изыскательских работ на

территории Ирака в 1980-х гг. полевыми геодезическими методами и сохранившиеся в архиве компании «ГРАУНД ЛТД». В том числе использованы топографические карты масштаба 1:10 000 в СК-42 издания 1980-х гг.

Оценка точности созданных по материалам ДЗЗ оригиналов ЦТК выполнена по опорным контурам, сохранившимся на местности и надежно распознаваемым на современных снимках. На исследуемых территориях такими точками являются перекрестки дорог, пересечения дамб и дорог и т. п. По точности взаимного положения контуров вновь созданные по материалам ДЗЗ ЦТК масштаба 1:10 000 соответствуют требованиям руководящих документов. Погрешности в плане не превышают 10 м.

ЦТК, созданные по материалам ДЗЗ, обеспечили возможность разработки технических заданий на проектирование и проведение инженерных изысканий с определением объемов работ по разработке нефтяного месторождения.

В.В. Ростовцев (ЗАО «ТОМКО», Томск)

В 2004 г. окончил Томский политехнический университет по специальности «геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых». В настоящее время – старший преподаватель кафедры геофизики Института природных ресурсов Томского политехнического университета и заместитель генерального директора по науке и экономике ЗАО «ТОМКО» (Томск).

В.В. Лайнвебер (ЗАО «ТОМКО», Томск)

В 1981 г. окончил Сибирский автомобильно-дорожный институт по специальности «промышленно-гражданское строительство». Работал в строительных организациях. В настоящее время – генеральный директор ЗАО «ТОМКО». Почетный строитель России, Заслуженный строитель Омской области.

В.Н. Ростовцев (ЗАО «ТОМКО», Томск)

В 1963 г. окончил Томский политехнический институт по специальности «геология, разведка нефтяных и газовых месторождений». Работал в геологических организациях Оренбургской, Томской, Тюменской областей, заведующим кафедрой горючих ископаемых Томского политехнического института, начальником отдела нефтяной промышленности Томской областной администрации, заместителем начальника департамента геологии ОАО «Востокгазпром». В настоящее время – директор ЗАО «ТОМКО». Кандидат геолого-минералогических наук, академик РАЕН, Заслуженный геолог России, Почетный работник газовой промышленности, Почетный разведчик недр, доцент кафедры горючих ископаемых Томского политехнического университета.

К большой нефти России

Экономика любой страны должна быть диверсифицирована на основе инновационных технологий. При этом в любой экономике всегда есть базовая отрасль, на основе которой государство получает импульс развития. Одни страны производят лучше многих продовольствие, другие – автомобили, третьи – самолеты, четвертые – электронику. Есть страны, у которых экономика в значительной степени диверсифицирована, такие страны считаются высокоразвитыми, мировыми лидерами.

Россия лучше многих умеет находить и добывать природные ресурсы, являющиеся основой цивилизованного развития человеческого общества. К сожалению, иногда с телеэкранов звучат речи об ущербности такой экономики. А между тем найти месторождение нефти и газа в бескрайних болотах Западной Сибири, в древнейших породах Восточной Сибири или в акватории Баренцева и Карского морей не менее сложно, чем создать современный мобильный телефон или запустить спутник.

При этом всем ясно, что без энергетического топлива блестящий автомобиль, быстрокрылый лайнер, могучий электровоз, да и многофункциональный мобильный телефон – просто груда металлолома. Эти простые рассуждения приводят к мысли о том, что широкая диверсификация экономики России должна осуществляться через

инновационные процессы в первую очередь в ресурсодобывающей и ресурсоперерабатывающей отраслях.

Действительно, в капиталоемкой цепочке поиск месторождения, его разведка, обустройство, добыча, транспортировка, переработка, реализация – огромное поле для инновационных технологий. Важная роль принадлежит энергетическим ресурсам – нефти, газу, углю. Россия в их добыче, транспортировке – одна из ведущих стран мира.

Но не зря великий русский поэт произнес сакраментальную фразу: «Умом Россию не понять».

Более 20 лет государство Российское отказывается от поиска месторождений на своих огромных, малоизученных территориях. Оно необоснованно надеется, что с этой задачей справятся частные компании, являющиеся или желающие стать недропользователями.

В последние десятилетия мы не слышим об открытии нефтяных и газовых месторождений, хотя бы отдаленно по своим масштабам напоминающих Самотлор, Уренгой, Бованенковское, Ванкорское. Государство, выбросив из своих приоритетов начальную часть ресурсной цепочки, привело к формированию огромных проблем и в остальных ее звеньях. Начальные запасы, по информации отдельных специалистов, выработаны на 50%.

Большинство крупных месторождений находятся в стадии падающей добычи. Обводнение добывающих скважин в среднем по России составляет 82%. В целом по стране резко упал среднесуточный дебит добывающей скважины. При таком положении дел может в ближайшие годы произойти падение добычи углеводородов.

Выход из этого сложного положения может обеспечить только открытие в самые короткие сроки крупных или хотя бы средних по запасам месторождений нефти и газа.

Решить эту задачу быстро при имеющихся финансовых ресурсах с помощью традиционной сейсмики, используемой для подготовки перспективных объектов для обнаружения месторождений нефти и газа, невозможно.

Необходимы новые, прорывные, инновационные технологии по выявлению месторождений углеводородов, которые должны прийти на помощь традиционным методам.

Такая технология создана специалистами ЗАО «ТОМКО». Она базируется на новейших достижениях астрофизики, математики, знаниях об электромагнитном излучении, современной лазерной, компьютерной технике и программном обеспечении. Это стало возможным благодаря феноменологическому подходу к изучению наблюдаемых явлений. Технология квантово-оптической фильтрации космоснимков позволяет в подавляющем большинстве случаев в любой точке мира выявлять границы прогнозируемых месторождений нефти и газа и фиксировать распределение плотности запасов в их пределах.

За теоретическое обоснование такой технологии можно принять идеи Е.И. Тарновского, которые базируются на том, что атомы во всех молекулах имеют определенное пространственное положение и собственное электромагнитное поле с характеристическим пространственно-частотным распределением интенсивности.

Пространственно-частотная структура электромагнитных полей любого вещества определяется химическим составом и пространственной структурой молекул или кристаллической решеткой вещества. Большое количество однородного вещества будет создавать коллективное характеристическое для данного вещества электромагнитное поле, мощность излучения которого будет пропорциональна концентрации вещества в заданном направлении. Можно считать, что линейно-поляризованная волна с заданной частотной характеристикой, несущая информацию о структуре вещества, не поглощается средами и их интенсивность не умень-

шается с расстоянием, тогда однородное вещество на произвольной глубине Земли будет создавать поле, как если бы это вещество находилось на поверхности.

Оказалось, что характеристическая электромагнитная волна большого количества нефти и газа фиксируется определенным образом на космическом снимке, и это служит выявлению уже открытых и пока еще неизвестных месторождений.

Первоначально данная технология прошла апробацию на хорошо изученных месторождениях Томской, Иркутской областей, Красноярского края, Афганистана, Вьетнама, на газопоявлениях Хакасии. Везде были получены положительные результаты.

Убедившись в работоспособности технологии, ЗАО «ТОМКО» стало применять ее для выявления месторождений.

В Красноярском крае в 210-километровой полосе от Юрубчено-Тохомского месторождения до среднего течения реки Ангары с помощью этой технологии было выявлено более 20 месторождений, при этом на космоснимках отчетливо были видны ранее открытые бурением месторождения, такие, как Юрубчено-Тохомское, Оморинское, Имбинское. Особый интерес вызывало прогнозируемое месторождение, расположенное в непосредственной близости от города Богучаны. Через три года после этого прогноза предприятие ОАО «Газпром» открыло в этом районе газовое месторождение, которое назвали Абаканским. Кроме этого, в аналогичных зонах им было открыто нефтяное Камовское и газовое Берямбинское месторождения.

В 40 км от Томска, на Трубачевском лицензионном участке, на землях, более 50 лет считавшихся бесперспективными, продолжается крупный научно-производственный эксперимент, доказывающий высокую эффективность технологии квантово-оптической фильтрации космоснимков. Используя результаты этой технологии, без проведения сейсмики, на этом лицензионном участке была пробурена скважина глубиной 1528 м. Она вскрыла палеозойские отложения на глубине 1360 м и, несмотря на такой сокращенный разрез, в ней прогнозируется не менее 8 продуктивных пластов углеводородов. Дальнейшие работы по завершению эксперимента продолжаются.

Обработав космоснимки, охватывающие не более 15% территории Омской области, эта технология позволила выявить 13 новых месторождений и зафиксировать ранее открытые глубоким бурением месторождения, такие, как Прирахтовское, Тевризское, Западно-



Рис. 1.
Границы прогнозируемых месторождений углеводородов по данным квантово-оптической фильтрации космоснимка части территории Омской области



Рис. 2.
Границы прогнозируемых месторождений углеводородов по данным квантово-оптической фильтрации космоснимка части территории Дальнего Востока

Крапивинское, Баклянское, которое пока геологами отнесено к полупромышленным (рис. 1).

В непосредственной близости от Тевризского и Прирахтовского месторождений прогнозируется месторождение площадью 300-350 кв. км, что дает основание надеяться на открытие месторождения, крупного по величине запасов. Для России важно открыть такое месторож-

дение в Омской области, имеющей относительно хорошо развитую инфраструктуру, долгие годы считавшейся малоперспективной для поисков нефти и газа.

Но еще большую значимость имеют результаты, полученные после квантово-оптической фильтрации космоснимков территории вдоль долины реки Амур от районов Хабаровска до Комсомольска-на-Амуре.

В конце 2010 г. Председатель Правительства Российской Федерации В.В. Путин детально рассматривал пути развития Хабаровского края и Дальнего Востока. Хорошо известно, как преобразовывается регион, когда туда приходит нефтяная и газовая промышленность. Достаточно взглянуть на Западную Сибирь, какой она совершила индустриальный рывок по сравнению с 1948 г., когда на ее территории начались планомерные поиски нефти и газа, а с начала 1960-х гг. добыча нефти. Появились новые, преобразились ранее патриархальные города. Тюмень, Ханты-Мансийск, Салехард, Сургут, Нижневартовск стали неузнаваемы для тех, кто в них не был лет 25.

В районе Комсомольска-на-Амуре с помощью новой технологии выявлены наиболее крупные по площади месторождения углеводородов (рис. 2). Учитывая суммарную площадь этих месторождений, в ближайшие 5 лет можно подготовить геологические запасы в объеме как минимум 270–300 млн т нефтяного эквивалента. Эти открытия могут быть сделаны практически в створе магистрального нефтепровода Восточная Сибирь – Тихий океан.

В статье специально приведены примеры положительных результатов выявления прогнозируемых месторождений на землях, которые считаются малоперспективными или о нефтегазоносности которых только разворачивается дискуссия.

Путь к большой нефти и газу в России обозначен.

Главная задача на этом пути – преодолеть стереотипы мышления в вопросах подготовки перспективных объектов и представления руководства страны о том, что поисками месторождений нефти и газа должны заниматься недропользователи.

Российские недропользователи объективно не могут решить эту задачу, потому что она связана с большими рисками, которые могут быть компенсированы только большими объемами поисковых работ, и ограниченностью своих лицензионных участков. Огромные территории можно изучить, только опираясь на принципиально новые технологии.

А.В. Абросимов (Компания «Совзонд»)

В 1992 г. окончил географический факультет Удмуртского государственного университета по специальности «география». Работал руководителем вузовско-академической лаборатории Курганского государственного университета и Института географии РАН. В настоящее время — заместитель главного инженера компании «Совзонд». Кандидат географических наук.

Два проекта компании «Совзонд» в области информационного обеспечения нефтегазодобывающих предприятий на базе современной космической съемки: месторождение на этапе геологоразведки и освоенный лицензионный участок

В течение последних нескольких лет компанией «Совзонд» реализован ряд тематических проектов в области информационного обеспечения предприятий ТЭК с применением уникальных технологий обработки и анализа данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса. Результатом каждого из проектов стала отраслевая информация, критически важная при осуществлении деятельности того или иного предприятия. Среди заказчиков эксплуатанты трубопроводов: ООО «Газпром трансгаз Уфа», ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург»; головные и дочерние нефтегазодобывающие компании: ОАО «ТНК-ВР Менеджмент», ОАО «НК «Роснефть», ООО «Газпром нефть шельф».

В данном обзоре кратко остановимся на итогах двух проектов, выполненных по заказам крупных недропользователей, сосредоточив внимание на сходстве и различиях поставленных задач и методов их решения.

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ НА РАННЕЙ СТАДИИ ОСВОЕНИЯ ЧАЯНДИНСКОГО НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

При освоении новых месторождений, особенно располагающихся в сложных природных условиях, в труднодоступных, слабо освоенных местностях, где каждое мероприятие, начиная с геологоразведочных работ, связано с серьезными рисками и затратами, требования промышленной, трудовой, экономической безопасности подразумевают использование подробной, точной, актуальной геопрограммной основы. Существующие топографические карты, безусловно, не устраивают недропользователей по вышеназванным параметрам, и к тому же не включают многие важные с позиций освоения территории объекты.

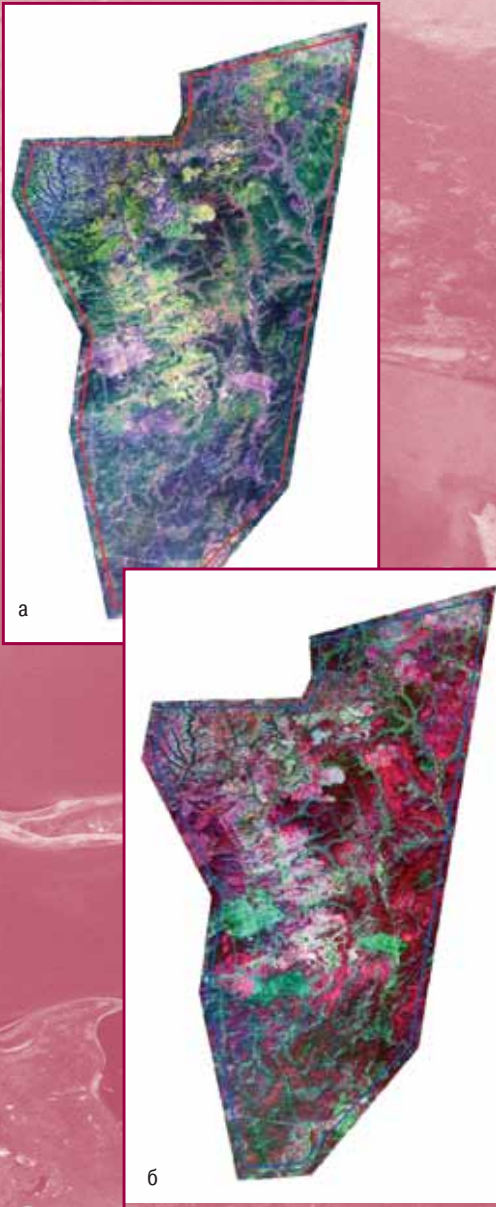


Рис. 1.
Варианты мозаики на территорию Чаяндинского лицензионного участка
а) в естественных цветах; б) в псевдоцветах

Отличным примером может служить Чаяндинский лицензионный участок, где геологоразведочные работы осуществляет ООО «Газпром нефть шельф». Участок площадью около 9000 кв. км находится в юго-западной части Республики Саха (Якутия), на территории Ленского района. Большая часть участка – неосвоенная местность, поросшая труднопроходимой, частично заболоченной тайгой.

В таких условиях по сравнению с традиционным классификатором топографических карт (дороги, населенные пункты, леса, болота, гидрография) на первый план выходят объекты, обычно не отмечающиеся на картах или отображенные не в полной мере. Среди техногенных объектов это оставшиеся с прошлых этапов геологоразведки технологические проезды, трассы перетаскивания, площади разведочного бурения, сейсмопрофили. Из природных – для данной территории наиболее важны термокарстовые площади, типы ландшафтов с точным подразделением по степени проходимости.



Рис. 2.
Дорожная сеть и сеть сейсмопрофилей на территории Чаяндинского лицензионного участка

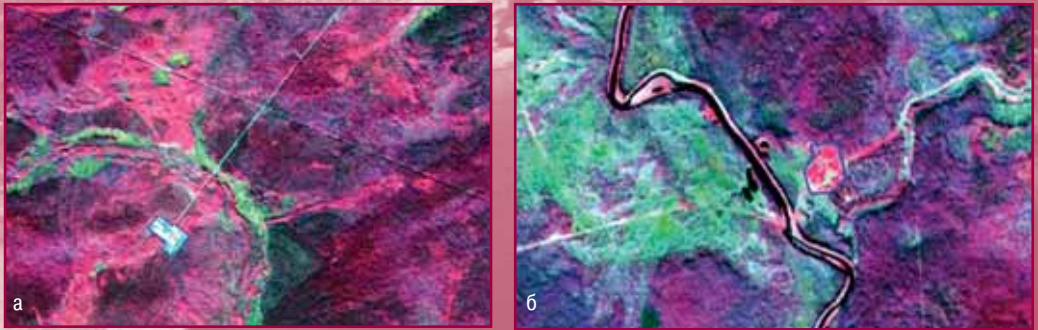


Рис. 3.

Технологические площадки

а) недавно построенная технологическая площадка;

б) старая технологическая площадка (отчетливо выражено зарастание самой площадки и подъездных путей к ней лиственным молодняком (береза) – ярко-красный цвет на снимке)

Создание базовой геопространственной основы, готовой к загрузке в стационарные и мобильные геоинформационные продукты заказчика и содержащей все перечисленные объекты по состоянию именно на момент начала геологоразведочных работ, все изменения, произошедшие на территории за последние годы, и стало главной целью проекта, выполненного компанией «Совзонд» в течение июня – октября 2009 г. по заказу ООО «Газпром нефть шельф».

Основными задачами проекта стали:

1. Разовое обеспечение лицензионного участка космической съемкой по состоянию на момент начала геологоразведочных работ (лето 2009 г.).

2. Выполнение пространственной привязки и орто-трансформирования космических снимков.

3. Создание бесшовного мозаичного ортоизображения (рис. 1).

4. Выявление техногенных и природных объектов и изменений, значимых в процессе выполнения геологоразведочных работ.

В качестве базовых данных ДЗЗ были избраны снимки системы RapidEye, обеспечивающей за счет пяти космических аппаратов, входящих в систему, и оптимального расчета орбит ежесуточную съемку любого участка земной поверхности. В течение июля – августа 2009 г. удалось обеспечить много-

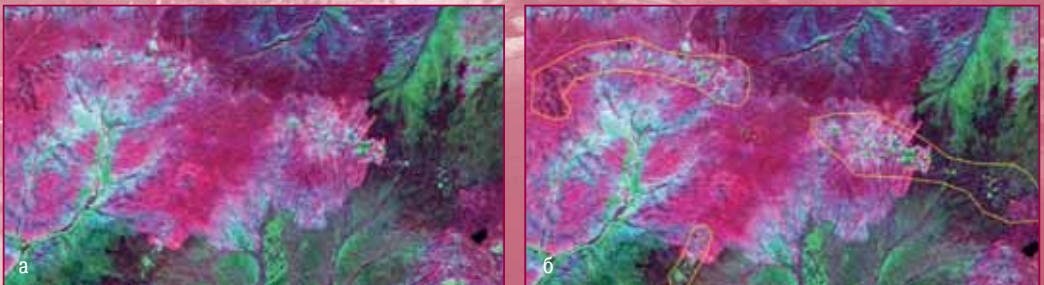


Рис. 4.

а) область активного развития термокарстового рельефа в пределах редколесий и болот;

б) векторизованные просадки и зоны активного развития термокарста

Рис. 5.
а) распределение термокарстовых просадок;
б) зоны активного развития термокарстовых форм



Рис. 6.
Карта распределения территории на классы ландшафтов

кратное покрытие целевой территории (9000 кв. км.) мультиспектральными (5 каналов) космическими снимками с разрешением 5 м.

Использование в качестве базовой информации продукта ОРТОРЕГИОН™ и RPC-коэффициентов, сопровождающих снимки RapidEye, дало возможность создать ортомозаику, соответствующую по точности карте М 1:25 000.

Дешифрирование космических снимков позволило:

- создать векторный слой сейсмопрофилей – свыше 300 объектов, погрешность местоположения не хуже 12 м (рис. 2);
- сформировать слои сети дорог, технологических проездов, просек, трасс перетаскивания по состоянию на август 2009 г. – свыше 1000 км;
- зафиксировать более 100 технологических площадей (рис. 3);
- установить зоны развития термокарста (более 200) и выявить конкретные просадки (около 8000) (рис. 4,5);
- автоматически подразделить территорию по ландшафтной структуре: несколько типов леса по проходимости, кустарники, болота, гари и т. п. (рис. 6);

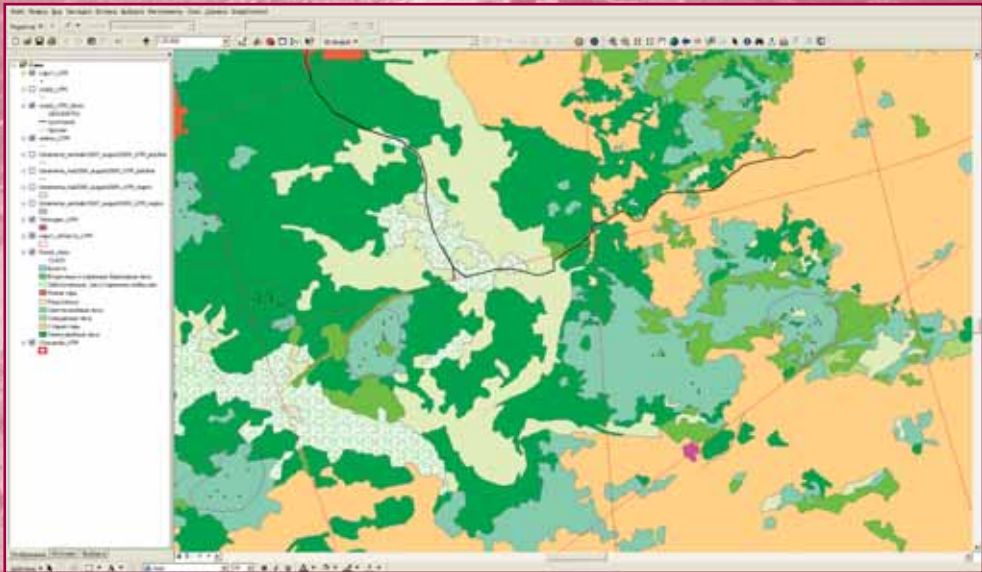


Рис. 7.
Рабочий набор ArcGIS, содержащий все основные слои созданной базы геоданных (масштаб 1:25 000)

- установить изменения, произошедшие на территории за годы, предшествующие освоению.

Выходные материалы (рис. 7) уже в ходе выполнения проекта оперативно передавались заказчику и использовались им в процессе полевых изысканий, при этом были подтверждены заявленные характеристики и достоверность дешифрирования.

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ В ЦЕЛЯХ МОНИТОРИНГА ИНФРАСТРУКТУРЫ НА ТЕРРИТОРИИ ПРИОБСКОГО ЛИЦЕНЗИОННОГО УЧАСТКА

Северная часть крупнейшего Приобского нефтяного месторождения, расположенного в самом центре Ханты-Мансийского автономного округа — Югры, в противоположность Чаяндинскому, давно освоена. По территории лицензионного участка проходит федеральная трасса, здесь располагается ряд населенных пунктов, а начавшееся в 1988 г. освоение месторождения сформировало на площади более 3000 кв. км сложнейшую промышленную инфраструктуру:



Рис. 8.
Снимок RapidEye на территорию Приобского лицензионного участка от 9 октября 2010 г.

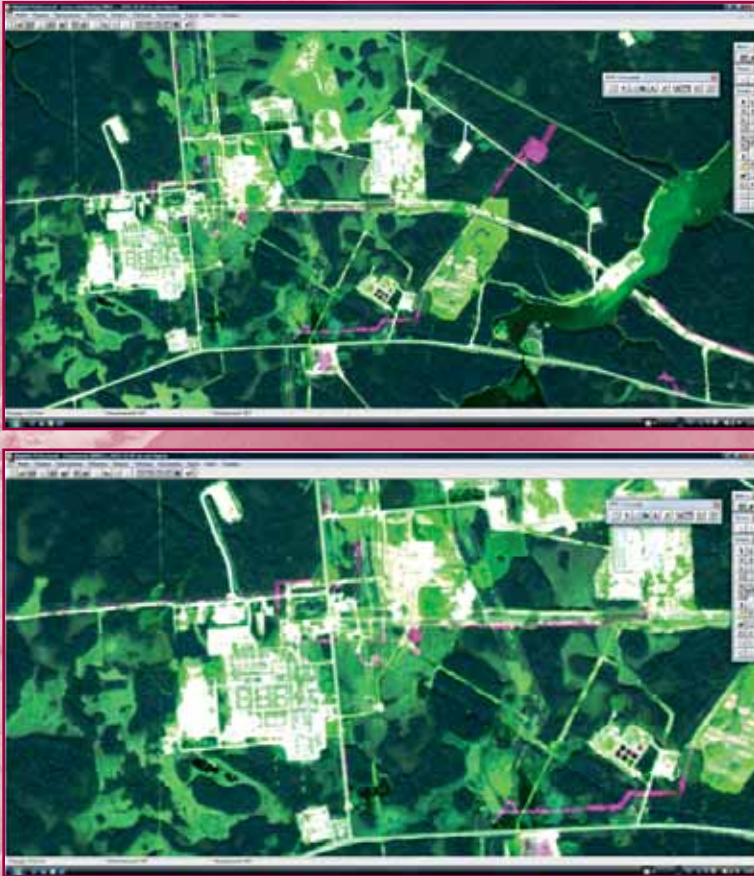


Рис. 9.

Изменения инфраструктуры (ярко-розовые) в районе ЦПС-1 Приобского лицензионного участка, произошедшие с 15 июля 2009 г. по 17 июня 2010 г. на разновременном композите снимков RapidEye

многочисленные площади добычи нефти и разведочного бурения, промышленные объекты подготовки и сбора нефти, утилизации попутного газа, объекты энергетики и добычи общераспространенных полезных ископаемых, трубопроводы нескольких видов, дороги и т. д.

Само по себе такое сложное хозяйство требует постоянного наблюдения, а тот факт, что инфраструктура Приобского участка в последние годы еще и актив-

но развивается, делает регулярный мониторинг практически необходимым мероприятием для эффективного управления. Космический мониторинг в такой ситуации обеспечивает следующие преимущества по сравнению с наземными объездами, вертолетными облетами участка:

1. Максимальная степень объективности результатов, базирующаяся на автоматизированных методах обработки космических снимков.



2. Высокая оперативность получения информации, возможность осуществления мониторинга с желаемым интервалом.

3. Снижение рисков, связанных с наземными объездами, вертолетными облетами участка.

Возможность контроля не только над освоенной частью месторождения, но и над удаленными, неосвоенными окраинами участка.

Значительное снижение себестоимости мониторинга, по сравнению с наземными и вертолетными методами.

На основании всего вышесказанного основной целью проекта, выполненного компанией «Совзонд» по заказу ОАО «НК «Роснефть», стало пополнение корпоративной ГИС ООО «РН-Юганскнефтегаз» информацией космического мониторинга инфраструктуры Приобского лицензионного участка (северная часть) за 2009–2010 гг.

Главные задачи, решаемые в ходе реализации проекта:

1. Обеспечение лицензионного участка четырехкратной космической съемкой в течение 2009–2010 гг. (июль 2009 г., июнь 2010 г., август 2010 г., октябрь 2010 г.) (рис. 8).
2. Создание фотограмметрическими методами бесшовного мозаичного изображения (продукта ОРТОРЕГИОН™) на базе данных архивной космической съемки ALOS/PRISM в целях обеспечения точности М 1:25 000 для всех обрабатываемых снимков.
3. Выполнение ортотрансформирования и пространственной привязки космических снимков за каждый цикл мониторинга.
4. Создание на основе автоматизированного анализа и сравнения полученных ортоизображений разно-



Рис. 11.

Коммуникационные коридоры, строящиеся с июля 2009 по октябрь 2010 г.

временных композитов (рис. 9) и дешифрирование изменений инфраструктуры в пределах территории мониторинга.

Для мониторинга, как и в первом проекте, были избраны снимки системы RapidEye. Кроме этих снимков, полностью покрывающих лицензионный участок в рамках трех циклов мониторинга, на одном из циклов были дополнительно привлечены данные дистанционного зондирования сверхвысокого разрешения WorldView-2 (2 м в мультиспектральных диапазонах).

Дешифрирование разновременных композитов космических снимков позволило:



Рис. 12.
Строящийся мост (снимок WorldView-2, синтез в псевдоцветах)

1. Выявить и нанести на карту 13 новых и 7 изменившихся по площади кустовых площадок, 10 технологических площадок других типов, выявить различные изменения внутри ряда кустовых площадок (рис. 10).
2. Обнаружить и детально внести в корпоративную ГИС 56 вновь появившихся малых площадных участков технологических отсыпок и 14 малых линейных участков технологических обваловок.
3. Идентифицировать и нанести на карту 29 участков строящихся и уже построенных за отчетный период участков единых коммуникационных коридоров (включая дороги, ЛЭП, трубопроводы) общей длиной более 52 км (рис. 11).
4. Выявить и внести в корпоративную ГИС несколько десятков новых линейных объектов, включая дороги без твердого покрытия, трубопроводы и ЛЭП, 11 мостов (рис. 12).
5. Обнаружить, определить площади и нанести на карту 10 новых и изменившихся площадей гидронамыва песка, отдешифровать изменения, произошедшие внутри площадей.

6. Установить все случаи, когда строительство новых объектов инфраструктуры было сопряжено с рубкой леса, внести в атрибутивную базу слоев изменений данные о площадях сведения леса.

Материалы мониторинга, переданные заказчику во внутреннем классификаторе ООО «РН-Юганскнефтегаз», активно используются заказчиком при принятии решений по функционированию и развитию инфраструктуры лицензионного участка.

Приведенные примеры проектов демонстрируют разнообразные возможности применения современной космической съемки для решения задач информационного обеспечения нефтегазодобывающих предприятий с учетом специфики их деятельности, региональных условий, степени освоенности территорий.

В то же время необходимо отметить, что этими примерами, конечно, не исчерпывается все разнообразие возможностей дистанционного зондирования Земли в применении к задачам предприятий ТЭК. В дальнейших публикациях мы продолжим освещение этих возможностей.

Ю.И. Кантемиров (Компания «Совзонд»)

В 2004 г. окончил РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. После окончания университета работал младшим научным сотрудником лаборатории космической информации для целей газовой промышленности в ООО «Газпром ВНИИГАЗ». С 2010 г. работает в компании «Совзонд» ведущим специалистом отдела программно-обеспечения.

Космический мониторинг смещений земной поверхности на месторождениях Кандым и Гумбулак Республики Узбекистан по данным космических радарных съемок

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В статье приводятся результаты космического мониторинга смещений земной поверхности на нефтегазовых месторождениях Кандым и Гумбулак Республики Узбекистан, выполненного по данным космических радарных съемок 2003–2010 гг. Это совместная работа компании «Совзонд» и Научно-производственного центра геологии гидроминеральных ресурсов Республики Узбекистан на объектах ООО «Лукойл Узбекистан Оперейтинг Компани».

Месторождения Кандым и Гумбулак в настоящее время не разрабатываются, поэтому основной задачей было снять природный фон современных геодинамических смещений.

Космическая радарная съемка месторождений выполнялась в соответствии с требуемыми параметрами. Карты покрытий территорий месторождений Кандым и Гумбулак данными архивных съемок со спутника Envisat/ASAR (Европейское космическое агентство) показаны на рис. 1 и 2.

Каждое из месторождений было отснято 15 раз (Кандым – за период 2003–2010 гг.; Гумбулак – за период 2004–2009 гг.). Дешифрирование и интерпретация данных 15-проходных космических радиолока-



Рис. 1.
Схема покрытия месторождения Кандым архивными данными Envisat/ASAR



Рис. 2.
Схема покрытия месторождения Гумбулак архивными данными Envisat/ASAR

ционных съемок выполнялись с получением на выходе карт смещений земной поверхности за периоды между парами снимков радарного спутника, характеризующимися наименьшими перпендикулярными базовыми линиями. Результаты (карты смещений) были преобразованы в единую последовательную во времени цепочку карт смещений, аппроксимированную дополнительно линейной моделью (то есть, выявлялись монотонные во времени смещения без ускорения и без перемены направления смещений). Эта модель, по мнению автора, наиболее точно подходит для описания современной природной геодинамической ситуации данного региона. В итоге на выходе получалась карта смещений за весь период наблюдений для каждого из вышеуказанных месторождений, а также карта среднегодовой скорости смещений.

Вышеописанная обработка радарных снимков выполнялась по методу Sbas, реализованному в модуле «Interferogramm Stacking» программного комплекса SARscape 4.3 (ITT VIS, США). Геокодирование, цветовая коррекция и составление ГИС-проектов выполнялись с использованием полностью интегрированных между собой программных комплексов ENVI (ITT VIS, США) и ArcGIS (Esri, США).

Интерферометрическая обработка данных 15-проходных космических радиолокационных съемок выполнялась без наземных контрольных точек и без использования данных наземных наблюдений.

В качестве опорного рельефа при интерферометрической обработке радарных данных использовалась цифровая модель рельефа (ЦМР) SRTM.

Все рассчитанные карты смещений полностью покрывают территории месторождений Кандым и Гумбулак и показывают смещения земной поверхности за пе-

риод между первой по порядку съемкой и всеми последующими (между первой и второй, между первой и третьей, между первой и четвертой, между первой и пятой съемками и т. д.).

Результирующие картографические продукты (карты смещений) были поставлены заказчику в обменных растровых (GeoTIFF) и векторных (Shapefile) форматах.

Интерферометрической обработке подвергались не все снимки целиком, а области, вырезанные таким образом, чтобы полностью покрывать территории месторождений Кандым и Гумбулак соответственно и частично прилегающие к ним территории (буфер в несколько километров вокруг контуров месторождений).

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

Представляется необходимым привести краткие теоретические основы радиолокационной интерферометрии как метода мониторинга смещений земной поверхности.

Радиолокационная съемка выполняется в ультракоротковолновой (сверхвысокочастотной) области радиоволн, подразделяемой на X-, C-, L- и P-диапазоны (табл. 1). Съемка в каждом из вышеперечисленных диапазонов имеет свои плюсы и минусы. Для задач мониторинга смещений земной поверхности, зданий и сооружений по каждой конкретной территории подбираются данные в одном или нескольких из этих диапазонов исходя из типа рельефа, типа растительного покрытия, ожидаемых величин смещений и т. д.

Таблица 1

Диапазоны радиоволновой области электромагнитного спектра

Диапазон	Частоты, ГГц	Длины волн, см	Спутниковые системы
X	5,20–10,90	2,75–5,77 (2,4–3,8)	USGS SLAR, TerraSAR-X, TanDEM-X, COSMO-SkyMed 1-4
C	3,9–6,2	3,8–7,6	ERS-1,2; Envisat/ASAR; RADARSAT-1,2
L	0,39–1,55	19,3–76,9 (15–30)	SIR-A,B, JERS, ALOS/PALSAR
P	0,225–0,391	40,0–76,9 (30–100)	AIRSAR

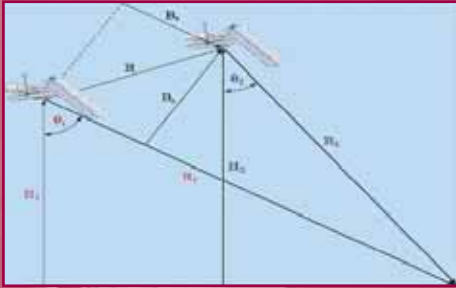


Рис. 3.

Схема космосъемки интерферометрической пары радиолокационных изображений

H_1 и H_2 – высота орбиты радиолокатора; R_1 и R_2 – дальность (путь зондирующей волны); θ_1 и θ_2 – углы между дальностью и высотой; V_{\perp} и V_{\parallel} – перпендикулярная и параллельная составляющие базовой линии; B – результирующая базовая линия

Входными данными для обработки в специализированных программных комплексах является интерферометрическая пара (либо цепочка) радиолокационных снимков. Ограничением для возможности интерферометрической обработки пары (или цепочки) радарных снимков являются пространственная и временная базы.

Пространственная база (или базовая линия) представляет собой расстояние между орбитальными положениями радиолокатора при съемке изображений, составляющих интерферометрическую пару (рис. 3). Качество результатов интерферометрической обработки напрямую зависит от величины перпендикулярной составляющей базовой линии, в частности, качество получаемой интерферометрическим методом карты смещений земной поверхности возрастает с уменьшением длины перпендикулярной базовой линии. В случае базовой линии, равной нулю, интерферограмма, рассчитанная по такой паре снимков, вообще содержит только фазу смещений. С другой стороны, при превышении некоторого критического значения базовой линии интерферометрическая обработка становится в принципе невозможной вследствие пространственной декорреляции.

В случае обработки данных Envisat/ASAR, подобранных для территорий месторождений Кандым и Гумбулак, критическое значение перпендикулярной про-

странственной базы для каждой пары снимков может быть вычислено по следующей формуле:

$$B_{n,cr} = \frac{\lambda R \tan(\theta)}{2R_r}$$

где:

$B_{n,cr}$ – критическая базовая линия;

λ – длина зондирующей волны радиолокатора;

R_r – пространственное разрешение в направлении наклонной дальности;

Остальные аргументы соответствуют обозначениям к рис. 3.

Исходя из этой формулы, критическая перпендикулярная базовая линия для используемых данных Envisat/ASAR Image Mode составляет порядка 1000–1500 м, а оптимальная для расчета смещений база в таком случае колеблется в диапазоне 0–100 м. С другой стороны, базы в 100–300 м также пригодны для мониторинга смещений. У пар снимков с базами более 300 м в интерферограммах слишком преобладает рельефная компонента и для мониторинга смещений они не являются оптимальными. Именно пары снимков с базами до 300 м были в основном выбраны для построения интерферограмм.

Временной базой называют промежуток времени, прошедший между съемкой изображений, составляющих интерферометрическую пару. Понятие временной базы напрямую связано с такой важной проблемой, как временная декорреляция, возникающей за счет изменений рельефа, растительности, влажности, шероховатости и других свойств отражающей радарный луч поверхности, произошедших за период между съемками. Проблема временной декорреляции может быть решена увеличением длины зондирующей волны (что повышает «просвечивающую» способность радиоволн) либо сокращением временной базы (т. е. промежутка между съемками). Перспективным направлением в плане понижения до некоторой степени отрицательного влияния временной декорреляции представляется выполнение радиолокационной съемки в полной поляризационной матрице (в рамках настоящего договора такие данные не анализировались, и такие работы на сегодняшний день являются экспериментальными).

В рамках данного договора был применен вышеуказанный подход интерферометрической обработки пар снимков, отобранных из всех возможных пар по прин-

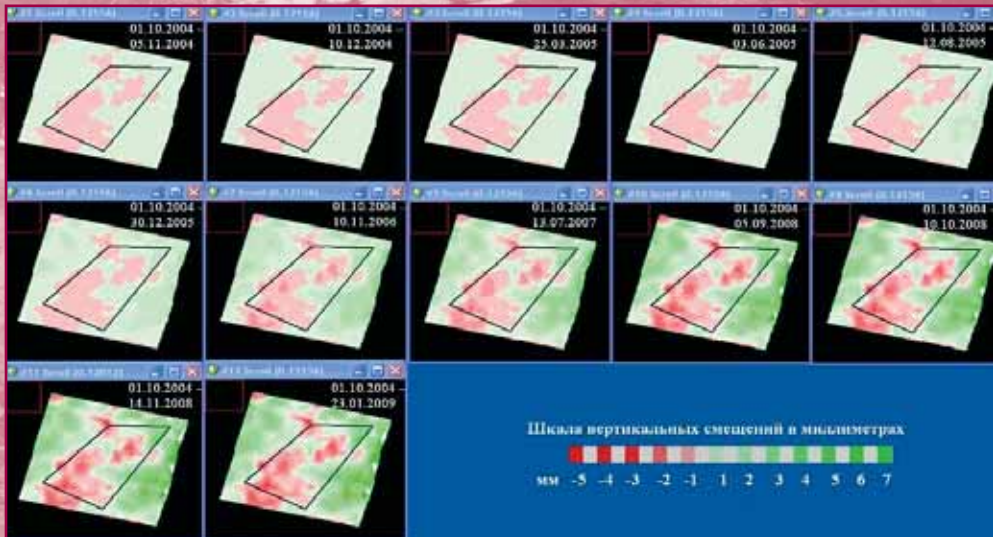


Рис. 4.

Карты смещений земной поверхности на месторождении Гумбулак за периоды между первой съемкой и всеми последующими (за исключением съемок от 29.04.2005 г. и 08.07.2005 г.). Контур черного цвета – месторождение

ципу наименьших базовых линий. При этом результат обработки в итоге был представлен в виде карт смещений за периоды между первой съемкой и поочередно каждой из последующих съемок. То есть, результат показывает развитие смещений во времени, а также итоговую карту смещений за весь период наблюдений.

Помимо пространственной и временной баз, важным параметром, определяющим возможность или невозможность интерферометрической обработки, является разность положений Доплеровского центра вращения Земли для снимков пары. Все обработанные пары характеризуются низкими либо нормальными значениями этого параметра, что положительно сказалось на обработке.

Если значения пространственной и временной баз, а также разницы положений Доплеровского центра позволяют выполнить интерферометрическую обработку, то становится возможным рассчитать интерферограмму.

Каждый радиолокационный снимок интерферометрической пары содержит в себе амплитудный и фазовый слои. Амплитудный слой более пригоден для визу-

ального анализа. Результирующая фаза Φ , полученная в ходе интерферометрической обработки фазовых слоев снимков интерферометрической пары, в общем случае состоит из следующих компонентов:

$$\Phi = \Phi_{\text{топо}} + \Phi_{\text{def}} + \Phi_{\text{атм}} + \Phi_{\text{ш}}; \text{ где:}$$

$\Phi_{\text{топо}}$ – фазовый набег за счет обзора топографии под двумя разными углами;

Φ_{def} – фазовый набег за счет смещения отражающей поверхности в период между съемками;

$\Phi_{\text{атм}}$ – фазовый набег за счет различия длин оптических путей из-за преломления в среде распространения сигнала;

$\Phi_{\text{ш}}$ – вариации фазы в результате электромагнитного шума.

Непосредственно интерферометрическая обработка пары снимков в общем случае состоит из нескольких базовых шагов:

1. совмещение основного и вспомогательного радиолокационных изображений интерферометрической пары (в автоматическом режиме либо с ручным вводом контрольных точек; с участием входной опорной ЦМР или без нее);

2. генерация интерферограммы, являющейся результатом комплексного поэлементного перемножения основного изображения и вспомогательного изображения, геометрически совмещенного с основным;
3. разделение компонентов фазы $\Phi_{\text{топо}}$ и Φ_{def} за счет синтеза фазы рельефа с помощью имеющейся цифровой модели рельефа (ЦМР) или цифровой модели местности (ЦММ), либо модели эллипсоида, либо путем задания средней по площади снимка высотной отметки (для равнинных областей) с получением на выходе дифференциальной интерферограммы, на которой один полный спектр цветов (интерференционный цикл) соответствует смещениям земной поверхности, равным половине длины волны радиолокатора;
4. фильтрация интерферограммы, позволяющая в определенной степени уменьшить фазовый шум (помехи) за счет закругления выходной карты смещений земной поверхности;
5. получение файла когерентности для области перекрытия двух снимков, составляющих интерферометрическую пару, в значениях от 0 до 1 для каждой пары соответствующих друг другу пикселей;
6. развертка фазы (процедура перехода от относительных значений фазы к абсолютным) и устранение разрывов фазы;
7. коррекция значения базовой линии по наземным контрольным точкам;
8. преобразование абсолютных значений фазы в смещения земной поверхности в миллиметрах.

Полная цепочка интерферометрической обработки, а также многие другие дополнительные функции реализованы в использованном авторами программном комплексе SARscape, являющемся дополнительным модулем программы ENVI.

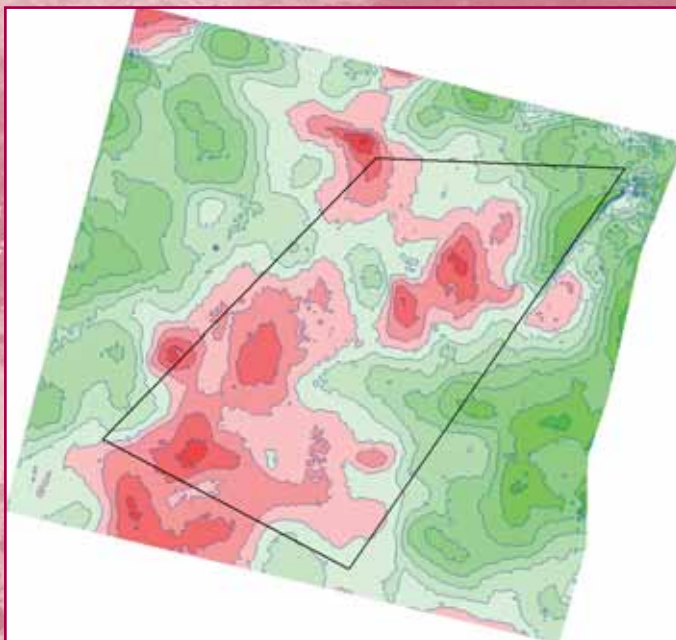


Рис. 5.
Итоговая карта смещений за весь период наблюдений (с 01.10.2004 г. по 23.01.2009 г.) с нанесением контура месторождения Гумбулак (черный контур) и изолиний смещений (синие линии)

РЕЗУЛЬТАТЫ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ СО СПУТНИКА ENVISAT/ASAR С ПОЛУЧЕНИЕМ НА ВЫХОДЕ КАРТ СМЕЩЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Результаты интерферометрической обработки радарных съемок месторождения Гумбулак

15-проходная цепочка снимков Envisat/ASAR, приобретенная для последующего интерферометрического анализа, теоретически позволяет построить 105 интерферометрических пар ($14 + 13 + 12 \dots + 1 = 105$). Однако это нецелесообразно ввиду принципиально различных интерферометрических характеристик многих возможных пар. Более правильным методологически является выбор пар для обработки по определенным критериям. Если обработка выполняется для задач

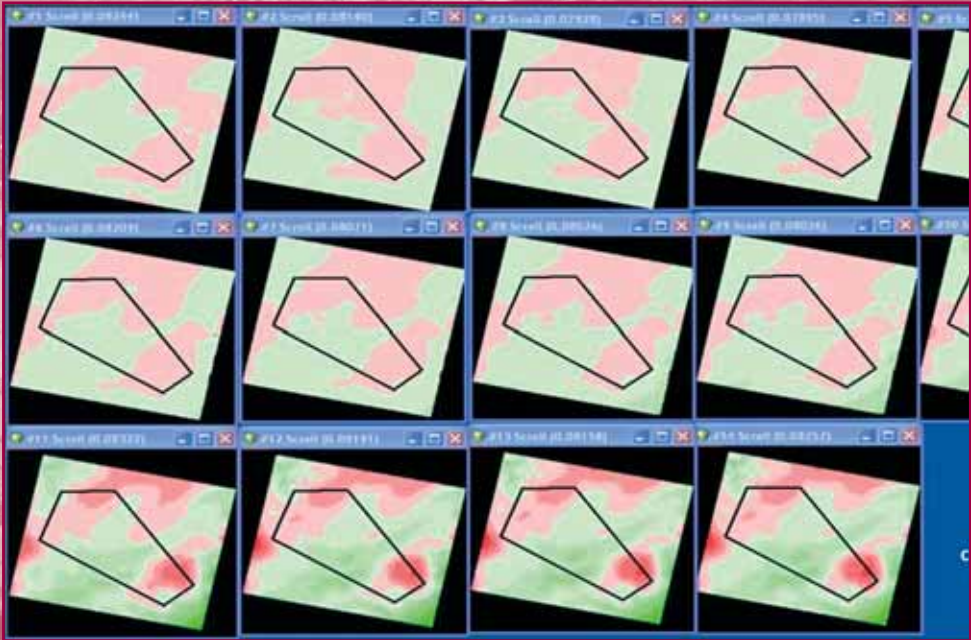


Рис. 6.
Карты смещений земной поверхности на месторождении Кандым за периоды между первой съемкой и всеми последующими. Контур черного цвета – месторождение Кандым

оценки смещений земной поверхности, то такими критериями могут быть:

- 1) величина пространственной базовой линии;
- 2) временной промежуток между съемками снимков пары;
- 3) когерентность между съемками снимков пары.

Выбор пороговых значений по каждому из вышеприведенных критериев должен обеспечивать получение в итоге достаточного количества интерферометрических пар, удовлетворяющих этим критериям, чтобы не было потеряно преимущество многопроходной съемки. В случае месторождения Гумбулак из имеющихся 15 проходов спутника Envisat/ASAR была выбрана двадцать одна пара для последующей интерферометрической обработки, а именно:

- Пары, построенные от снимка 01_10_2004:
- 1) с 10_12_2004 (база 236 м, временная база 70 дней);
 - 2) с 03_06_2005 (база 61 м, временная база 245 дней);
 - 3) с 10_11_2006 (база 318 м, временная база 770 дней).

Пары, построенные от снимка 05_11_2004:

- 4) с 10_12_2004 (база 130 м, временная база 35 дней);
- 5) с 12_08_2005 (база 290 м, временная база 280 дней);
- 6) с 30_12_2005 (база 67 м, временная база 420 дней);
- 7) с 13_07_2007 (база 109 м, временная база 980 дней);
- 8) с 05_09_2008 (база 229 м, временная база 1400 дней);
- 9) с 23_01_2009 (база 87 м, временная база 1540 дней).

Пары, построенные от снимка 10_12_2004:

- 10) с 03_06_2005 (база 209 м, временная база 175 дней);
- 11) с 12_08_2005 (база 158 м, временная база 245 дней);
- 12) с 10_10_2008 (база 48 м, временная база 1400 дней);
- 13) с 23_01_2009 (база 205 м, временная база 1505 дней).

Пары, построенные от снимка 13_07_2007:

- 14) с 10_10_2008 (база 28 м, временная база 455 дней);
- 15) с 23_01_2009 (база 184 м, временная база 560 дней).

Пары, построенные от снимка 25_03_2005:

- 16) с 10_11_2006 (база 125 м, временная база 595 дней).

Пары, построенные от снимка 03_06_2005:

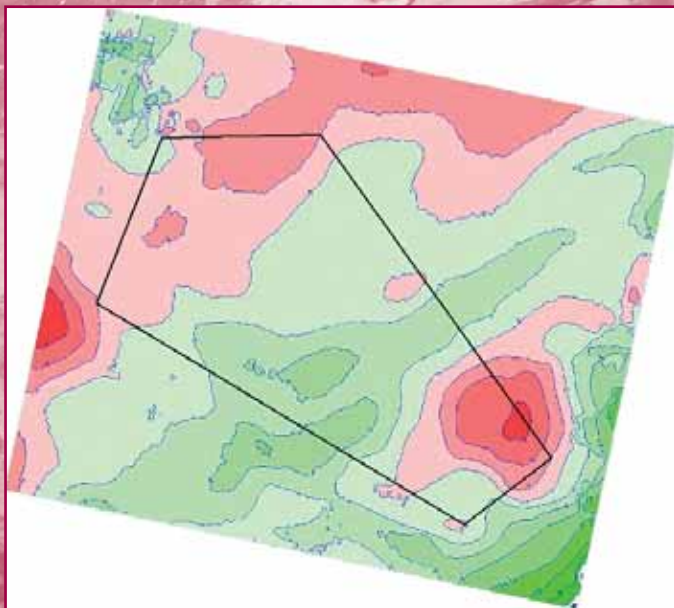


Рис. 7.
Итоговая карта смещений за весь период наблюдений (с 07.10.2003 г. по 31.08.2010 г.) с нанесением контура месторождения Кандым (черный контур) и изолиний смещений (синие линии)

17) с 10_10_2008 (база 256 м, временная база 1225 дней).

Пары, построенные от снимка 12_08_2005:

18) с 13_07_2007 (база 181 м, временная база 700 дней).

Пары, построенные от снимка 05_09_2008:

19) с 23_01_2009 (база 145 м, временная база 140 дней).

Пары, построенные от снимка 10_10_2008:

20) с 14_11_2008 (база 169 м, временная база 35 дней).

Пары, построенные от снимка 14_11_2008:

21) с 23_01_2009 (база 21 м, временная база 70 дней).

По каждой из этих пар была построена интерферограмма. Из каждой интерферограммы последовательно были удалены фаза рельефа (за счет использования опорной ЦМР SRTM), электромагнитный шум (за счет адаптивной фильтрации) и атмосферные артефакты (за счет статистического анализа и отфильтровки резких вариаций фазы, выделяемых относительно более спокойных трендов). В результате по каждой из пар была получена развернутая фаза.

Затем был выполнен пересчет всех полученных промежуточных продуктов интерферометрической обработки. Пересчет выполнялся таким образом, чтобы из пар, перекрывающихся между собой во времени, восстановить фазовую историю смещений и упорядочить ее – от первого снимка цепочки до последнего – пятнадцатого снимка.

Снимки от 29.04.2005 г. и от 08.07.2005 г. были исключены из обработки по причине слишком значительной пространственной декорреляции по отношению ко всем остальным снимкам цепочки.

Итоговые карты смещений за периоды с первой съемки до всех последующих (исключая снимки от 29.04.2005 г. и от 08.07.2005 г.) приведены на рис. 4. На этих картах красным цветом показаны оседания, зеленым – поднятия. На рис. 5 приведена итоговая карта смещений за весь период наблюдений (с 01.10.2004 г. по 23.01.2009 г.) с нанесением контура месторождения Гумбулак и изолиний смещений. Также была рас-

считана карта среднегодовой скорости смещений, которую с определенными допущениями можно использовать для прогнозирования процесса смещений на несколько лет вперед (по крайней мере до момента начала разработки месторождений, когда к природной компоненте смещений, существующей сейчас, добавится техногенная компонента, вызванная добычей углеводородов).

Результаты интерферометрической обработки радарных съемок месторождения Кандым

15-проходная цепочка радарных снимков на месторождение Кандым оказалась более сложна для обработки, поскольку в ней присутствует перерыв в три с половиной года (с 2005 по 2009 гг.). Динамика сме-

шений также оказалась более сложной для интерпретации.

Для обработки по критерию малых базовых линий были выбраны следующие пары радиолокационных снимков:

Пары, построенные от снимка 11_10_2005:

1) с 13_07_2004 (база 56 м, временная база 455 дней).

Пары, построенные от снимка 07_10_2003:

2) с 08_06_2004 (база 188 м, временная база 245 дней);

3) с 13_07_2004 (база 265 м, временная база 280 дней).

Пары, построенные от снимка 11_11_2003:

4) с 16_12_2003 (база 34 м, временная база 35 дней);

5) с 04_05_2004 (база 79 м, временная база 175 дней).

Пары, построенные от снимка 20_01_2004:

6) с 13_07_2004 (база 358 м, временная база 175 дней);

7) с 08_02_2005 (база 47 м, временная база 385 дней).

Пары, построенные от снимка 04_05_2004:

8) с 08_02_2005 (база 402 м, временная база 280 дней).

Пары, построенные от снимка 08_06_2004:

9) с 15_03_2005 (база 96 м, временная база 280 дней).

Пары, построенные от снимка 18_05_2010:

10) с 17_02_2009 (база 143 м, временная база 455 дней).

Пары, построенные от снимка 31_08_2010:

11) с 17_02_2009 (база 50 м, временная база 560 дней);

12) с 27_07_2010 (база 327 м, временная база 35 дней).

Динамика зарегистрированных смещений приведена на рис. 6. Итоговая карта смещений приведена на рис. 7. В левом верхнем углу наблюдается сложная для интерпретации картина – скорее всего, краевой эффект, вызванный потерей когерентности.

Также была рассчитана карта среднегодовой скорости смещений, которую с определенными допущениями можно использовать для прогнозирования процесса смещений на несколько лет вперед (по крайней мере, до момента начала разработки месторождений, когда к природной компоненте смещений, существующей сейчас, добавится техногенная компонента, вызванная добычей углеводородов).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

При выполнении работ по анализу архивных многопроходных цепочек Envisat/ASAR преимуществом была достаточная глубина архива (съемка с 2003 по 2009–2010 гг.). Однако у архивных данных есть и свои недостатки – недостаточная и не выдерживаемая во времени частота съемки. Например, в серии снимков на месторождение Кандым присутствовал перерыв в три с



Рис. 8.

Возможный план космических радиолокационных съемок месторождений Кандым и Гумбулак. Красные контура – контура месторождений, розовые контура – контура радарных сцен. Также на рисунке показаны даты съемок

половиной года. С другой стороны, у многих пар снимков были довольно большие базовые линии, что могло уменьшить точность выявляемых смещений.

Поэтому для максимально высокоточного анализа смещений авторы рекомендуют в общем случае планировать целевую многопроходную радиолокационную съемку с выдерживаемым интервалом и с гораздо меньшими базовыми линиями (особенно с началом разработки месторождений). Наилучшим образом для этой задачи, по мнению авторов, подходит спутник RADAR-SAT-2 (MDA, Канада).

Например, на рис. 8 представлен виртуальный план съемки на 2011 г. месторождений Кандым и Гумбулак. Как видно из этого рисунка, для каждого из месторождений может быть подобран оптимальный по соотношению «пространственное разрешение / площадь сцены» режим съемки. Кроме того, съемка может быть выполнена с выдержанным и постоянным во времени интервалом в 24 дня.

Таким образом, предлагаемый в данной статье метод (многократно валидированный и верифицированный как в условиях Крайнего Севера и средней полосы, так и в условиях Средней Азии) является важным независимым источником информации о смещениях земной поверхности и может служить надежным дополнением к традиционным и спутниковым геодезическим методам.

Д.М. Трофимов (ООО «РЕСЕНОЙЛ»)

В 1958 г. окончил Московский геологоразведочный институт. В настоящее время – главный геолог ООО «РЕСЕНОЙЛ». Доктор геолого-минералогических наук.

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.Б. Серебряков (Компания «Совзонд»)

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

И.Ю. Хромова (ОАО «ЛУКОЙЛ»)

В настоящее время – заведующая лабораторией ОАО «ЛУКОЙЛ». Кандидат геолого-минералогических наук.

Оценка методики прогноза нефтегазоносности северо-западной Колумбии по дистанционным и геофизическим данным

Анализ негативных результатов геологоразведочных работ на нефть и газ, проведенных в бассейне Сан-Джасинто, определил необходимость использовать новый комплекс поисковых исследований, основанных на обработке и анализе космической информации, переинтерпретации геологических и сейсморазведочных данных с оценкой локализованных перспективных ресурсов нефти. Полученные материалы обеспечивают возможность в относительно короткие сроки выбрать наиболее перспективные объекты с меньшими затратами средств в сравнении с традиционными методами поисков, обосновав целесообразность и рентабельность поискового бурения с учетом геологического и экономического рисков.

Основой для выполнения работы являлись результаты анализа космической информации с решением четырех основных поисковых задач:

- выявления закономерностей регионального структурного положения поисковых объектов и связанных с ними признаков нефтегазоносности;
- прогнозирования структурных ловушек углеводородов на неопроискованных участках;
- прогноза перспектив их нефтегазоносности;
- оценки перспективных ресурсов наиболее достоверных структурных ловушек.

В работе использовалась геологическая карта масштаба 1:100 000, переинтерпретированные сейсморазведочные данные, результаты бурения с анализом каротажа, поверхностные нефтепроявления и опубликованные источники.

ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ КОСМИЧЕСКИМИ ДАННЫМИ ИЗУЧАЕМОЙ ПЛОЩАДИ И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

На первом этапе данной работы проводилась оценка возможностей применения методов прогноза нефтегазоносности на основе анализа структурно-геоморфологических, мультиспектральных, в том числе и инфракрасных данных, получаемых с приодноресурсных космических спутников Земли. В результате проведенных исследований выявлена новая геологическая информация и определен ряд закономерностей, позволяющих использовать полученные материалы для определения перспективности выявленных объектов.

В работе были использованы пять мультиспектральных космических снимков со спутников Landsat-7 и Terra/ASTER.

Снимки со спутника Landsat-7 получены 03.04.2003 г., а со спутника Terra – 13.02.2004 и 26.01.2006 г. Боль-

шего количества снимков изучаемой площади, что требуется по технологии работ, подобрать не удалось в связи с преобладающей облачностью в данном регионе. Дешифрируемость снимков невысокая в связи с широким развитием тропической растительности, скрывающей мелкие формы рельефа и сглаживающей крупные морфоструктуры. Особенно низкая дешифрируемость отмечается в восточной части изучаемой площади, что затрудняет прогнозирование структур осадочного чехла.

Анализ космической информации проводился во всех каналах: от видимого до дальнего инфракрасного диапазона в масштабах 1:100 000 и 1:50 000, и на основании полученных данных решались четыре основные геологические задачи:

- изучение структурных форм осадочного чехла в региональном аспекте;
- прогнозирование структурных ловушек и зон предполагаемого развития литолого-стратиграфических ловушек;
- анализ локальных тепловых аномалий, пространственно связанных с прогнозируемыми ловушками углеводородов;
- выявление спектральных аномалий почвенно-растительного покрова, подобных по своим характеристикам и морфологическим параметрам ареалам естественного просачивания углеводородов и нефтепроявлениям в скважинах.

Полученные результаты в комплексе с данными сейсморазведки и бурения использовались для выбора и обоснования наиболее перспективных поисковых объектов.

РЕЗУЛЬТАТЫ РЕГИОНАЛЬНОГО СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

Современная изученность регионального строения отражает результаты геологической съемки, частично сейсморазведочных работ и бурения. Выделенные относительно крупные геоблоки, отделенные наиболее крупными глубинными разломами Romerol, Uramita, Espiro Santa и др., разделяют на небольшие осадочные бассейны, представляю-

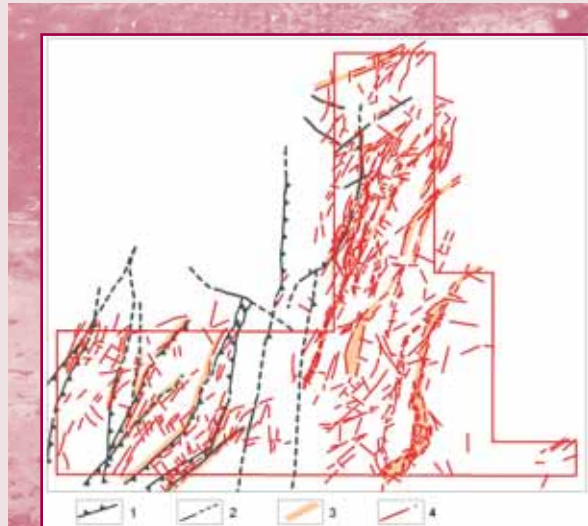


Рис. 1.

Региональная схема сопоставления зон разломов, выделенных по геолого-геофизическим данным и по структурному анализу космических снимков

- 1 — разломы, выделенные по геолого-геофизическим данным;
- 2 — разломы, выделенные по геофизическим данным;
- 3 — зоны разломов, прогнозируемые по космическим данным;
- 4 — разрывные нарушения, прогнозируемые по космическим данным.

щие собой отрицательные тектонические структуры. В их пределах, на геологической карте выделен ряд положительных и отрицательных структурного типа, показанных через ориентировку их осей и дополненных элементами залегания пород (рис. 1).

По результатам регионального структурного анализа космических снимков основные выявленные предыдущими исследователями разломы находят хорошее отображение на дистанционных материалах, то есть согласуются с итогами геологических и тектонических построений. Полученная новая информация представлена выделенными региональными разломами в менее изученной в связи с широким развитием четвертичных отложений центральной и восточной частях изучаемой площади, определяя ее тектоническое районирование. По данным структурной интерпретации космических снимков фиксируется два основных направления простирания тек-



Рис. 2.
Тепловой снимок Terra/ASTER от 10.08.2009 г.

тонических элементов: северо-северо-восточное и запад-северо-западное, то есть имеет место перекрестный структурный план. Первое направление проявляется более ярко, оно связано с активными на голоценовом этапе взресо-надвигами, а второе выражено существенно слабее, фрагментарно отражая более древний структурный план, характеризующийся крупными блоками, разделяемыми сбросами и сдвигами.

Дополнительный прирост новой информации, полученной по результатам структурного анализа, заключался в выделении локальных разрывных нарушений, поперечных к основной системе дислокаций и характеризующихся сдвиговой составляющей. Возраст активизации спрогнозированных разрывных нарушений плиоцен-четвертичный, однако система разломов северо-северо-восточного простирания является более активной.

Наиболее отчетливое отображение на снимках как в видимом, так и в тепловом каналах находят такие структурно-геоморфологические единицы, как Кордильеры (рис. 2) и расположенные между ними впадины, границы между которыми подчеркиваются разрывными нарушениями.

По результатам регионального структурного анализа космических снимков в сравнении с геологической кар-

той и тектонической схемой выявлена следующая новая информация:

- в восточной части площади прогнозируются три системы разломов, в значительной степени контролирующих простираание локальных структур и оказавших воздействие на их формирование;
- в парагенезе с надвигами выделяются поперечные локальные разрывные нарушения со сдвиговой составляющей;
- по ориентации систем разрывных нарушений, структурно-геоморфологическим особенностям рельефа в пределах восточной части района работ и бассейна Sabanalarga выделяются по отношению к преобладающей продольной структуре три блока: северный, центральный и южный, разделенные разломами, фрагментарно активными до настоящего времени. Выделенные блоки характеризовались индивидуальными особенностями формирования.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЛОКАЛЬНОГО СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ПО ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ЛОВУШЕК УГЛЕВОДОРОДОВ

По результатам локального структурного прогноза на изучаемой площади выявлены ловушки антиклинального и приразломного типа, значительная часть которых находится в западной бесперспективной зоне изучаемой площади. Часть из них совпадает с разбуренными поднятиями: Repelon, Molinero, Tubara и др. (рис. 3). Те из них, которые находятся в зоне воздействия системы разломов Sibargo, частично вскрыты эрозией в сводах и интенсивно трещиноваты, что является неблагоприятной предпосылкой для сохранности залежей углеводородов. Эти данные свидетельствуют об объективности прогнозирования структурных ловушек по космическим данным и оценки их нефтегазового потенциала.

Из всех прогнозируемых ловушек, выделенных на изучаемой площади, часть из них пересечены сейсмопрофилями, что позволяет осуществить их заверку и оценить достоверность применения космической информации при решении структурных задач.

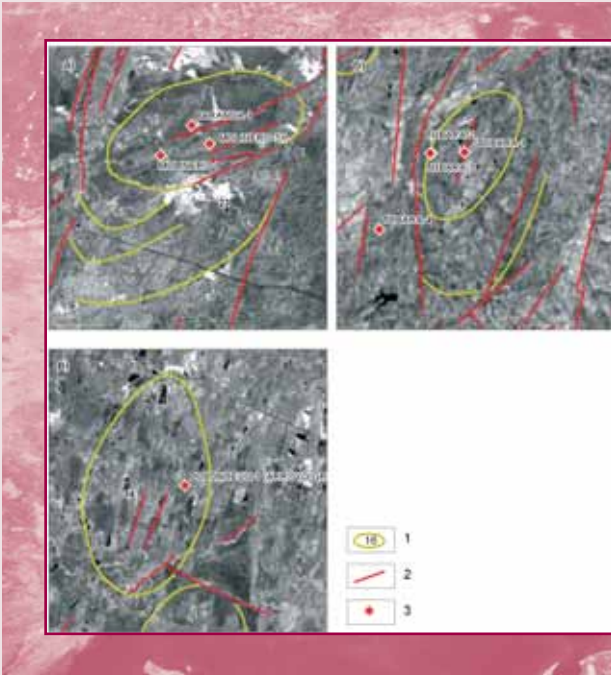


Рис. 3. Схемы отражения на космических снимках локальных структур:

- а) Molinero, б) Tubara, в) Polonuevo
 1 – контур дешифрируемой структуры;
 2 – прогнозируемые разрывные нарушения;
 3 – скважины

Сопоставление результатов космических и геофизических работ проводилось в основном по восточной части изучаемой площади. Именно локальные структуры, находящие отражение на сейсморазведочных материалах, оцененные как относительно достоверные, в дальнейшем анализируются с точки зрения их нефтегазоносности. Прогнозируемые здесь локальные структуры находятся по отношению к разломам в непосредственном контакте с ними (приразломные или возможно тектонически-экранированные ловушки) или между ними.

Прогнозируемые структурные ловушки, расположенные между зонами разломов, на космических снимках отражаются существенно слабее, перекрываясь позднетретичными и четвертичными отложениями, в зоне распространения которых развито местами сельскохозяйственное производство.

Тем не менее выявленные и разбуренные здесь локальные поднятия, на которых расположены скважины Molinero и Polonuevo-1, находят отражение на космических снимках (рис. 4) и являются эталонными структурами для формирования дистанционного образа, использованного для распо-

знавания подобных объектов, относящихся к категории погребенных.

Зоны возможного развития неструктурных ловушек связаны с унаследованно воздымавшимися валлообразными поднятиями, осложненными разрывными нарушениями. За отсутствием структурных карт трассирование подобных зон затруднительно, однако их прогнозирование осуществлялось в комплексе с данными сейсморазведки. Эти зоны могут быть приурочены к выделенным зонам разломов, с восточной стороны, как ловушки выклинивания и литологического замещения, а с западной – как дубликаты.

Проведенные работы позволили в северо-восточной и восточной частях изучаемого участка выделить площади для проведения детализационных сейсморазведочных работ на новых поисковых объектах. Они по данным сейсморазведки в основном представляют собой погребенные поднятия со слабой степенью унаследованности, которые, судя по практике нефтегазопоисковых работ, характеризуются лучшей сохранностью залежей углеводородов.

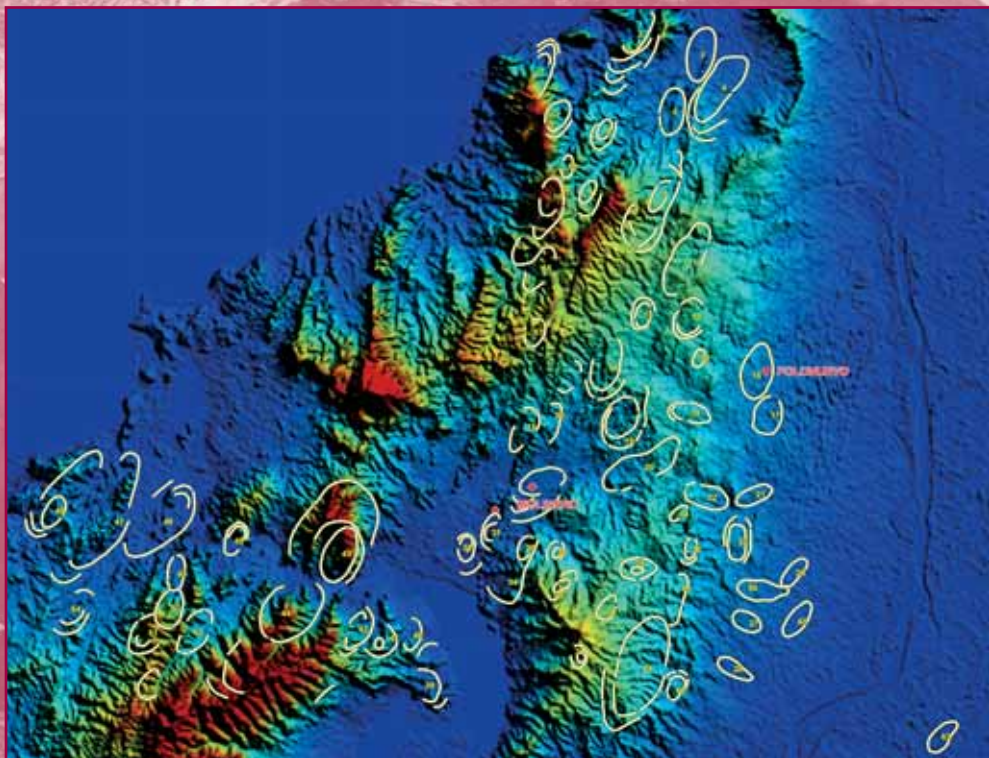


Рис. 4.
Контура локальных структур, прогнозируемых по космическим данным

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ КОСМИЧЕСКОЙ ТЕПЛОВОЙ СЪЕМКИ В ИНФРАКРАСНОМ ДИАПАЗОНЕ СПЕКТРА

Качество космических снимков в дальнем инфракрасном диапазоне спектра (8–14 мкм), в частности их разрешающие возможности, частично ограничивает их применение для локального прогноза, оставляя возможность использования для региональных структурных построений.

Наиболее отчетливое отражение на тепловых снимках имеет система разломов Sibarco, разделяющая два основных тектонических подразделения, и серия разломов в западной части изучаемого участка (рис. 5). Эти нарушения имеют северо-северо-восточное простирание, тогда как поперечные к ним разрывы сдвигового харак-

тера выражены значительно слабее, так как они геоморфологически на снимках данного масштаба малозаметны.

В целом система разломов Sibarco разделяет два различных геотемпературных поля: более теплое – к востоку и холодное – к западу. Более вероятное объяснение этого явления заключается в различии ландшафтной обстановки и, по-видимому, характере растительного покрова. Возможно, это явление связано с различиями в составе и строении фундамента, но для подтверждения данного положения необходимы поверхностные замеры температур либо данные бурения.

Более отчетливое отражение на тепловых снимках находят тектонические нарушения северо-восточного простирания. Они часто соответствуют таковым, выделенным по результатам структурного дешифрирования в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах.

Сопоставление выраженности в тепловом поле структур, на которых получены полупромышленные притоки нефти (Perdices) и нефтегазопроявления (Tubaga), существенно различаются соответственно пониженными и повышенными геотемпературными значениями (рис. 6). Такие же противоречивые данные получены по структурам, в пределах которых отмечаются поверхностные нефтегазопроявления.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫЯВЛЕНИЯ ПРОСАЧИВАНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПЕРСПЕКТИВ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ПРОГНОЗИРУЕМЫХ СТРУКТУР

С целью оценки эффективности использования спектральной космической информации и ее адаптации к ландшафтно-геологическим условиям изучаемой площади были проведены специализированные исследования. Спектральный анализ космической информации для решения задачи выявления аномалий просачивания углеводородов на земной поверхности, связанных с их воздействием на растительный покров и почвы, требует наличия эталонных спектров, формируемых по известным месторождениям, продуктивным скважинам или естественным просачиваниям углеводородов. Кроме того, выбор эталонов напрямую зависит от ландшафтно-геологических особенностей исследуемого региона, определяющих однородность почвенно-растительного состава территории для проведения спектрального анализа по эталону, расположенному на этой территории.

Однородность почвенно-растительного состава определяется по фототону теплового поля, характеризующего однородность термодинамических свойств региональных объектов земной поверхности. По яркости фототона собственного теплового излучения исследуемую территорию можно условно разбить на четыре участка, имеющих разные термодинамические характеристики почвенно-растительного покрова, что соответственно определяет различную степень воздействия мигрирующих к поверхности углеводородов. Региональное ландшафтное районирование имеет высокую степень корреляции с геологическим строением исследуемого участка. Поэтому одним из принципов выбора эталонных объектов для расчета спектральных аномалий является близость этого эталона к ландшафтным и геологическим условиям однородных районов изучаемой территории.

Воздействие углеводородов на почвы и растительность приводит к изменению спектральных характеристик этих объектов, связанных с изменением цветности почв и угнетенностью растительности в местах активной миграции флюидов нефти и газа. Для определения аномальных спектров эталонных объектов применяется специальная обработка космических снимков в красном и ближнем инфракрасном диапазонах спектра с целью получения информации о состоянии почв и растительности. Подобный анализ позволяет составить спектральные библиотеки, выявить места наиболее интенсивного воздействия углеводородов и получить по ним локальные спектральные характеристики излучения, применяемые для анализа всей территории.

Результат анализа усредненных значений спектров четырех библиотек приведен на рис. 7. Из рисунка видно, что спектральные характеристики эталонных спектров по объектам с нефтепроявлениями близки по значениям амплитуды, в то время как спектральная кривая антиэталона Guaguco-1, где в скважине были получены отрицательные результаты, отличается практически на 10-20%, что позволяет сделать вывод о корректности полученных результатов при расчете библиотек эталонных спектров углеводородов.

Проведенный анализ показал, что плотность распределения аномальных спектров, рассчитанных по соответствующим эталонам, в каждом отдельно взятом блоке существенно больше, чем в других блоках. Такой результат подтверждает однородность объектового состава выбранных блоков при проведении ландшафтно-геологического районирования.

В результате суммирования влияния углеводородов по всем блокам получена результирующая карта регионального влияния углеводородов на дневную поверхность.

Для решения данной задачи использовались два методических подхода:

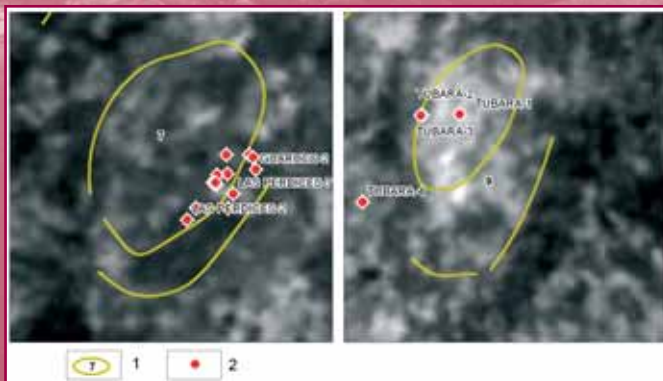
- спектральный анализ нефтегазоносных объектов с распознаванием их аналогов в контурах прогнозируемых структур;
- статистический анализ подобию прогнозируемых ловушек нефтегазоносным объектам с вероятностной оценкой их перспективности.

Необходимо подчеркнуть, что эталонные нефтегазопроявления на земной поверхности и в скважинах имеют близкую спектральную характеристику, что иллюстрируется на рис. 8. Этот рисунок показывает, что



Рис. 5.
Схема отражения разрывных нарушений на тепловом космическом снимке

Рис. 6.
Схемы отображения на тепловом космическом снимке в дальнем инфракрасном диапазоне локальных структур Perdices и Tubara
1 – контур дешифрируемой структуры;
2 – скважины



разброс значений для них является небольшим. Это свидетельствует о наличии единого источника в разных ландшафтных условиях, которым является углеводородное воздействие на почвы и растительный покров.

На большей части изучаемой площади как выходы нефтепроявлений на поверхности, так и их спектральные признаки свидетельствуют о раскрытости недр вследствие нарушения сводов структур активными разрывами или слабыми флюидоупорами. Исходя из этого спектральный метод определения просачиваний углеводородов применим только в той части изучаемой площади, где мощность осадочного чехла существенно возрастает и имеют место предпосылки увеличения толщин флюидоупоров и сохранности залежей нефти и газа, что и отмечается восточнее в Plato Basin.

Полученные данные были использованы для качественной оценки перспектив нефтегазоносности прогнозируемых по космическим данным структур, подтвержденных данными сейсморазведки.

ОЦЕНКА ЛОКАЛИЗОВАННЫХ ПЕРСПЕКТИВНЫХ РЕСУРСОВ НЕФТИ СТРУКТУРНЫХ ЛОВУШЕК, ПРОГНОЗИРУЕМЫХ ПО КОСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Оценка ресурсов углеводородов проведена в соответствии с американской технологией вероятностным способом по подсчетным параметрам объемным методом. Результирующая оценка представляет собой диапазон значений от P90 (минимум) до P10 (максимум) с учетом вероятности геологического и экономического рисков. Как наиболее достоверное значение была взята средняя величина рассчитанных ресурсов нефти.

Оценивалась только нефтеносность карбонатных отложений формаций San-Jacinto и Maco.

Вероятность геологического успеха оценивалась по пяти факторам (нефтематеринская порода, миграция, резервуар, ловушка и наличие покрывки) по каждой прогнозируемой структуре в зависимости от положения ее в различных выделяемых блоках, характеризующихся различными условиями геологического развития.

Для расчета вероятности экономического успеха в качестве минимально рентабельного объема запасов был взят объем 0,5 млн баррелей нефти на одну скважину.

Вероятностный расчет ресурсов каждой структуры осуществлялся в программе Excel с использовани-

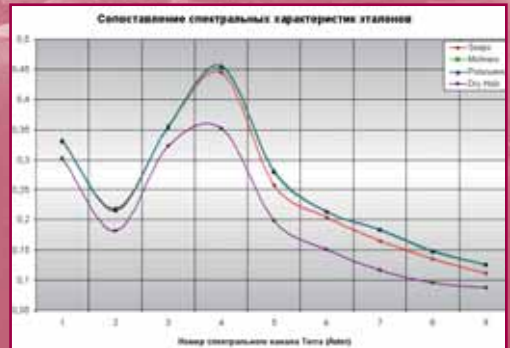


Рис. 7.

Усредненные спектральные характеристики эталонных нефтепроявлений



Рис. 8.

Схемы соотношений контуров локальных прогнозируемых структур и спектральных аномалий: а) Molinero и Strata GX-1, б) Polonuevo.

- 1 — контуры прогнозируемых структур;
- 2 — прогнозируемые разрывные нарушения;
- 3 — скважины;
- 4 — спектральные изолинии максимумов подобия эталонным нефтегазопроявлениям на земной поверхности и в скважинах

ем логнормального распределения с заданием значений по уровням вероятности через 1% и простейшего алгоритма в виде формулы объемного метода. Данная методика была апробирована авторами в нескольких регионах с различными геологическими условиями, по которым полученная оценка ресурсов была подтверждена результатами бурения.

В целом по изучаемой площади концессии прогнозные ресурсы нефти с учетом вероятности геологического и экономического риска составляют P10 – 160 млн баррелей, P90 – 7,16 млн баррелей, среднее наиболее достоверное значение ресурсов составляет 61,15 млн баррелей. Оценка в целом по площади получена путем арифметического суммирования оценок каждой структуры. Вероятность геологического и эко-

номического успеха в целом по площади концессии получена как комбинированная вероятность и составляет соответственно 42% и 38%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Практическое использование космических снимков позволило в ограниченные сроки, с небольшими затратами средств (относительно стоимости сейсморазведки) и в отсутствие какой-либо другой информации оценить перспективы нефтегазоносности изучаемой площади, выявить по комплексу методов (рис. 9) поисковые объекты, представляющие интерес для дальнейших детальных работ по подготовке ловушек углеводородов к глубокому бурению.

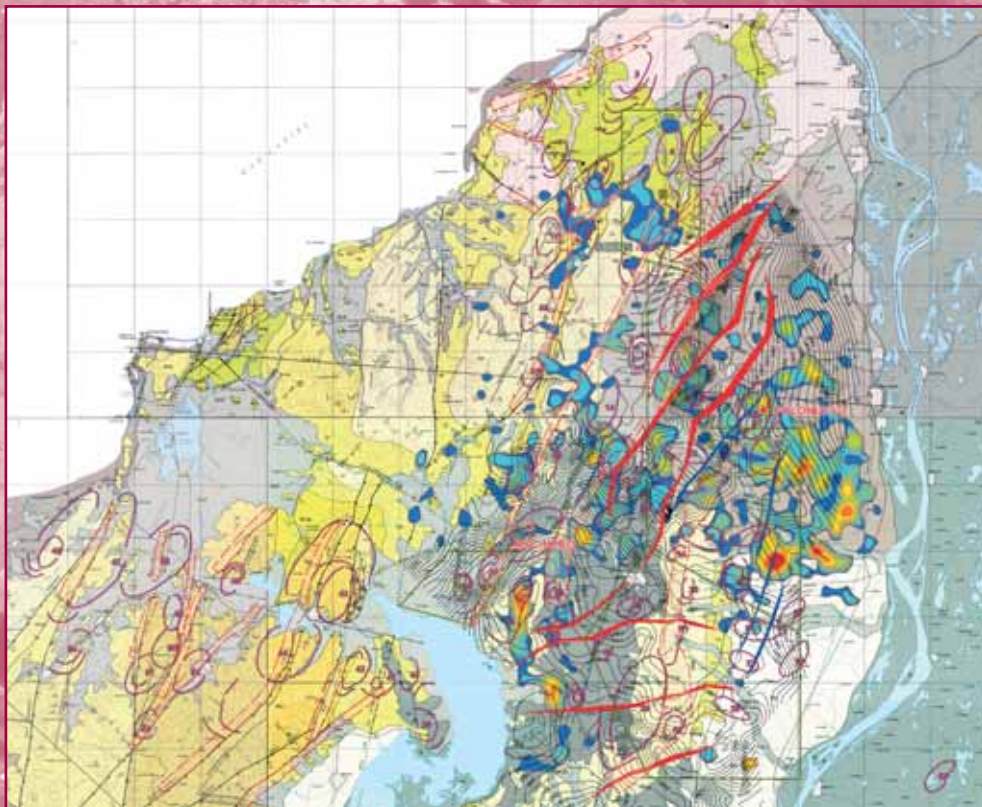


Рис. 9.
Итоговая карта работ, разработанная с использованием космических данных

MDA предлагает широкий спектр геокосмических решений для правительственных и коммерческих организаций по всему миру. Решения MDA включают наземные системы для космических и аэро- миссий, а также данные, продукты и услуги, необходимые для обеспечения их работы.

Широкие возможности по организации проектов, системному инжинирингу, разработке приборов и программного обеспечения, а также сопровождающий сервис, позволяют нам предложить клиентам комплексные решения, отвечающие самым высоким запросам.

Через свое подразделение MDA Geospatial Services Inc. MDA обладает правами на коммерческое использование данных, получаемых с радарных (SAR) спутников RADARSAT-1 и RADARSAT-2.

MDA разрабатывает, строит, владеет и управляет спутником RADARSAT-2 и в настоящее время занимается разработкой RADARSAT Constellation Mission (RCM) для правительства Канады.

Системы

MDA через подразделение MDA Systems Ltd предлагает наземные системы для наблюдения за земной



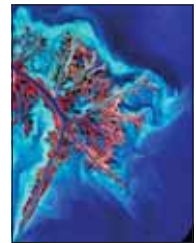
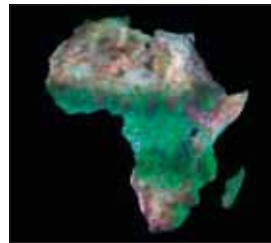
поверхностью с оптических и радарных (SAR) спутников. Системы предназначены как для центральных станций слежения, так и для региональных станций.

Системы наблюдения за Землей, разработанные MDA включают: QuickBird, GeoEye-1, RapidEye, WorldView-1 и WorldView-2 (оптические миссии) и ERS, RADARSAT-1, RADARSAT-2 и Sentinel-1 - SAR миссии.

Дополнительную информацию можно найти здесь: http://ss.mdacorporation.com/monitoring_surveillance.shtml

Данные, продукты, сервис

Через подразделения MDA Geospatial Services Inc. в Канаде и MDA Federal Inc. в США компания MDA предоставляет геокосмическую информацию, специальные продукты и сервис для принятия решений, получаемые при помощи спутников, аэро- и им подобных средств наблюдения. Эти продукты и услуги используются организациями, осуществляющими наблюдение и следящими за изменениями состояния земной поверхности. Такими организациями, например, являются службы



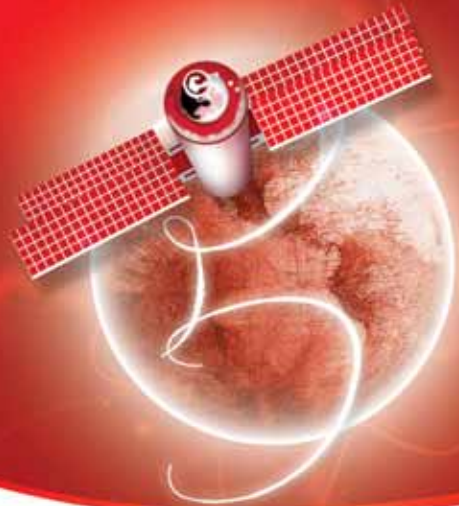
национальной безопасности, управления природными ресурсами, транспортные службы.

Дополнительную информацию можно найти здесь: <http://gs.mdacorporation.com>
www.mdafederal.com
www.RADARSAT2.info
www.mdaoilandgas.com

Главное - решить задачу клиента

Более 40 лет MDA сотрудничает с организациями из разных стран мира. Наши информационные технологии, созданные на основе самых современных разработок, позволяют нашим клиентам наиболее эффективно организовывать свой бизнес.

За более подробной информацией обращайтесь: MacDonald, Dettwiler and Associates Ltd.
13800 Commerce Parkway, Richmond, BC, Canada V6V 2J3
info@mdacorporation.com | telephone 604-278-3411



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

13–15 апреля 2011 г.
Москва

Целью конференции является широкий обмен опытом использования данных дистанционного зондирования Земли 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:

- Состояние и перспективы развития национальных программ ДЗЗ, совершенствование технологий космической съемки в мире.
- Космический мониторинг — источник актуальной и объективной пространственной информации, группировки спутников ДЗЗ для решения мониторинговых задач.
- Использование данных ДЗЗ в качестве основы для создания и обновления топографических, навигационных и тематических карт.
- Информационно-аналитическое обеспечение ситуационных центров на базе геоинформационных технологий и программно-аппаратных комплексов визуализации данных.
- Практическая реализация проектов на основе комплексных технологических решений с использованием данных ДЗЗ.
- Бани геоданных и серверные геоинформационные решения, геопорталы и распределенные ГИС.



УЧАСТНИКИ:

- ОАО «Российские космические системы» (Россия)
- ГКНПЦ им. Хруничева (Россия)
- ЦСКБ «Прогресс» (Россия)
- Госцентр «Природа» (Россия)
- ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина» (Россия)
- DigitalGlobe (США)
- GeoEye (США)
- RapidEye (Германия)
- e-GEOS (Италия)
- RESTEC (Япония)
- ESRI Inc. (США)
- ITT VIS (США, Франция)
- Trimble INPHO (Германия)



ОРГАНИЗАТОР: Компания "Совзонд"

115463, г. Москва, Шигилова, д. 28а

Тел: +7 (495) 514-8339, 988-7511, 988-7522. Факс: +7 (495) 988-7533

E-mail: conference@sovzond.ru

Web-site: www.sovzondconference.ru

ПЛАТИНОВЫЙ
СПОНСОР:



ЗОЛОТОЙ
СПОНСОР:



СЕРЕБРЯНЫЙ
СПОНСОР:



ГЕНЕРАЛЬНЫЙ
ИНФОРМАЦИОННЫЙ
СПОНСОР:



ИНФОРМАЦИОННЫЕ СПОНСОРЫ:



V Юбилейная Международная конференция «Космическая съемка — на пике высоких технологий»

V Юбилейная Международная конференция «Космическая съемка — на пике высоких технологий» пройдет 13–15 апреля 2011 г. в элитном подмосковном комплексе «АТЛАС ПАРК-ОТЕЛЬ», расположенном в одном из красивейших и уютных уголков Подмосковья в 15 минутах езды от аэропорта «Домодедово» (30 км от МКАД).

Ежегодная конференция «Космическая съемка — на пике высоких технологий» является важным событием не только для геоинформационной отрасли, но и в целом для IT сообщества. Она предоставляет возможность руководителям, специалистам, ученым российских и зарубежных государственных организаций, коммерческих компаний, научно-исследовательских и учебных институтов получить новые знания и обменяться опытом. Благодаря своей масштабности и акценту на самые новейшие разработки в области систем ДЗЗ, конференция получила заслуженное международное признание.

В рамках конференции пройдут выставка, семинары и презентации компании «Совзонд» и партнеров, конкурс «Лучшие проекты в области геоинформационных технологий и дистанционного зондирования Земли», культурно-развлекательные мероприятия.

В выставке примут участие российские и зарубежные компании: DigitalGlobe, ITT VIS (все — США), RapidEye (Германия), Kongsberg Spacetec (Норвегия), TTSystems, НЦ ОМЗ «ОАО «Российские космические системы», ЗАО «ТОМКО», «Совзонд» (все — Россия) и др.

На выставке будут продемонстрированы программные и аппаратные средства, разрабатываемые и вне-

дренные геоинформационные проекты, возможности космических технологий.

Особое внимание будет уделено следующим темам:

- состояние и перспективы развития национальных программ ДЗЗ, совершенствование технологий космической съемки в мире;
- космический мониторинг;
- технологии прямого доступа к данным ДЗЗ;
- использование данных ДЗЗ в качестве основы для создания и обновления топографических, навигационных и тематических карт;
- информационно-аналитическое обеспечение ситуационных центров;
- практическая реализация проектов на основе комплексных технологических решений с использованием данных ДЗЗ;
- серверные геоинформационные решения, геопорталы и корпоративные ГИС.

Среди целого ряда планируемых на конференции семинаров, впервые будет организован семинар на тему: «Картографическое обеспечение региональных информационно-аналитических систем (РИАС)», на котором будут рассмотрены обозначены сферы применения и составные части РИАС, виды информационного и картографического обеспечения и другие актуальные вопросы.

Дополнительную информацию о конференции Вы сможете получить в компании «Совзонд» по тел. +7 (495) 988-7511, 514-8339 или по e-mail: conference@sovzond.ru

У МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ ПО СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ

1-2 июня
2011

ТЕМАТИКА:

- государственная политика и нормативно-правовая база в области использования навигационных технологий в экономике Российской Федерации
- состояние и перспективы развития системы ГЛОНАСС, российского рынка навигационного оборудования
- основные тенденции развития глобальных навигационных спутниковых систем
- политика зарубежных стран в области навигации
- практический опыт использования технологий спутниковой навигации в российской экономике
- перспективы использования навигационных технологий в повседневной жизни людей в мире
- навигационное и навигационно-связное оборудование ведущих российских и зарубежных производителей



WWW.GLONASS-FORUM.RU WWW.NAVIGATION-FORUM.RU РЕГИСТРАЦИЯ: +7(495) 66 324 66 OFFICE@PROCONF.RU

МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОНГРЕССНО-ВЫСТАВОЧНЫЙ ПРОЕКТ

НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ, ТЕХНОЛОГИИ И УСЛУГИ

ЦВН «ЭКСПОЦЕНТР», Москва, Россия

МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА / WWW.NAVITECH-EXPO.RU

НАВИТЕХ-ЭКСПО

1-3 июня
2011

ТЕМАТИЧЕСКИЕ РАЗДЕЛЫ ВЫСТАВКИ:

- Оборудование систем мониторинга и управление транспортом (AVL-оборудование)
- Системы мониторинга и управления на транспорте
- Навигационные системы
 - авиационные
 - морские
 - космические
- Интеллектуальные транспортные системы (ИТС)
- Охранные системы и системы безопасности
- Логистические системы
- Системы мониторинга и управления автомобильным транспортом (оборудование и ПО)
- Геодезическое оборудование
- OEM-модули
- Радиотехнические комплектующие
- Имитаторы навигационных сигналов
- Системы дифференциальной коррекции
- Инерциально-спутниковые системы
- Картография и навигационное программное обеспечение
- Персональное навигационное оборудование
 - автомобильные, мотоциклетные навигаторы
 - носимые навигаторы, навигационные автомобильные мультимедиацентры
 - логгеры, релитеры, трекеры
 - GPS-приемники, КПК с функциями навигации
 - коммуникаторы
 - UMPC, CarPC
 - устройства для геотегинга
- LBS-услуги

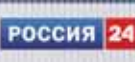
WWW.NAVITECH-EXPO.RU +7 (499) 795 28 13 NAVITECH@EXPOCENTR.RU

Организатор
форума

Организатор
выставок

Генеральный
информационный партнер

Экспертные
партнеры



V Международный форум по спутниковой навигации

V Международный форум по спутниковой навигации – центральное событие года в области социального и коммерческого использования спутниковых навигационных технологий, и прежде всего российской системы спутниковой навигации ГЛОНАСС. Он пройдет 1–2 июня 2011 г. в Москве, в ЦВК «Экспоцентр».

Основная цель Форума – информирование широкой российской и зарубежной аудитории о состоянии и планах развития спутниковых навигационных систем, о государственной политике в области использования системы ГЛОНАСС в России, об инновационных технологиях, о новейшей аппаратуре спутниковой навигации и услугах, международном опыте использования навигационных систем, создании единых международных стандартов в области спутниковой навигации.

В этом году Форум отмечает свой пятилетний юбилей. Организаторы мероприятия – Компания «Профессиональные конференции» и Ассоциация «ГЛОНАСС/ГНСС – Форум» – надеются, что его программа станет самой насыщенной и интересной за все предыдущие годы и позволит отразить все направления использования спутниковых систем навигации в экономике России. Появится специальная секция, посвященная основам спутниковой навигации, принципам построения и функционирования глобальных спутниковых систем GPS и ГЛОНАСС, региональных спутниковых навигационных систем и вопросам повышения эффективности их использования, и будет интересна как специалистам, работающим в этой области, так и широкому кругу слушателей, интересующихся навигационной тематикой.

Отдельные секции предусмотрены по вопросу создания системы экстренного реагирования при аварии

ях «ЭРА – ГЛОНАСС» и использовании спутниковой навигации на различных видах транспорта.

Целевая аудитория Форума:

- Представители государственных ведомств и организаций.
- Представители областных, городских и районных администраций.
- Представители ЖКХ-муниципальных образований.
- Аварийно-спасательные службы.
- Предприятия транспортного комплекса РФ.
- Предприятия ракетно-космической отрасли.
- Дорожно-строительные и эксплуатационные организации.
- Научно-исследовательские и проектные организации, работающие в области транспорта.
- Разработчики и производители абонентского оборудования и системных приложений.
- Автотранспортные предприятия.
- Торговые сети, крупные организации с собственным автомобильным парком.
- Логистические и экспедиторские компании.
- Сотовые операторы.
- Контент-провайдеры.
- Провайдеры охранно-поисковых услуг.
- Страховые компании.
- Представители зарубежных компаний в области услуг на основе спутниковой навигации.

В работе Форума примут участие более 100 докладчиков из России, ближнего и дальнего зарубежья; представители министерств и ведомств, частных компаний, зарубежных и международных организаций.



8-й Международный промышленный форум

GEOFORM+

15 – 18 марта 2011

Россия, Москва, ЭЦ «Сокольники»

- › Геодезия
- › Картография
- › Навигация
- › Землеустройство

**ОБЪЕДИНЯЕТ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ВЫСТАВКИ**



Геодезия
Картография
Геоинформационные системы



Интеллектуальные
транспортные системы
и навигация



Технологии и оборудование
для инженерной геологии
и геофизики



Технологии
и оборудование
для строительства тоннелей



Современное управление
Situational Awareness
Геопортал и геоинтерфейс

на правах рекламы

Получи приглашение на сайте:

www.geoexpo.ru



Организатор:



Соорганизаторы:

Ассоциация транспортной телематики

Ассоциация ГЛОНАСС

Генеральный экспертный партнер выставки:



**Генеральный
информационный спонсор:**



Информационная поддержка:



Дирекция:

129164, Россия, г. Москва
Зубарев пер., д. 15, стр. 1

+7 (495) 935 8100

+7 (495) 935 8101

zhukov@mvk.ru

XXII ежегодная выставка информационных и коммуникационных технологий SOFTTOOL-2011



С 25 по 28 октября 2011 в Москве состоится XXII ежегодная выставка информационных и коммуникационных технологий Softtool-2011. По оценкам специалистов Softtool – самая большая в Европе национальная выставка информационных технологий. Выставка Softtool играет важную роль в обеспечении реальной технологической независимости и информационной безопасности страны, помогая сохранить в России высокий научный потенциал в области перспективных информационных технологий и решить задачу интеграции российской информационной инфраструктуры и рынка информационных продуктов и услуг в мировые.

Выставка пройдет при поддержке Российской академии наук, Министерства связи и массовых коммуникаций РФ, Российского фонда фундаментальных исследований, Правительства Москвы.

Тематика выставки включает все направления развития ИТ: Корпоративные системы ● Муниципальные системы ● Стратегические компьютерные технологии ● Информационная безопасность ● Cloud Computing ● Linux и системы с открытыми исходными текстами ● Управление проектами ● АСУ ТП ● САПР ● ГИС и навигационные системы ● Встраиваемые системы ● Технологии Интернет ● СЕТИ ● Технологии образования ● ИТ-услуги ● Логистика и SCM ● Электронный документооборот ● Прикладное ПО ● Аутсорсинг ● Электронные развлечения ● Компьютеры и мн. др.

Посетители выставки смогут ознакомиться с расширенными экспозициями: "Технологии информационного общества", "САПР"экспо", "WEB-технологии",

"Свободное ПО", "Системы автоматической идентификации", "Технологии управления".

Softtool предоставляет своим участникам и посетителям максимальный комфорт и все необходимые условия для бизнеса. Участие в выставке Softtool позволяет производителям шире представлять высокотехнологичную продукцию на российском рынке, что способствует дальнейшему экономическому развитию государства.

В выставке примут участие более 150 российских и зарубежных компаний, представители федеральных и региональных органов государственного управления, высших учебных заведений, научного и экспертного сообщества, СМИ. По составу участников выставки Softtool и представляемым на ней продуктам можно безошибочно судить о состоянии российского рынка информационных технологий.

Постоянные участники выставки – лидеры российского рынка информационных технологий, серьезно заявившие о себе и в стране, и за ее рубежами, как квалифицированные разработчики сложнейших систем в области управления, автоматизации технологических процессов, телекоммуникации, информационного обеспечения, научных исследований и мн.др.

Среди участников 2010 года: 1С, 1С-Парус, 1С-Битрикс, АБВУУ, AdmitAd, Aladdin, NetCat, Адем, Актив, Альт Линукс, НТЦ АПМ, Антивирусный Центр, Аскон, Ассоциация Интернет-разработчиков России, Атилект, НТЦ Гектор, НТЦ ГеММа, Долгопрудненский исследовательский центр, ИВЦ Инсофт, Инфо-Бухгалтер, Кодекс, Концерн Системпром, Лоция Софт, Нанософт, ОЭЗ Дубна, МИЭМ, МЭСИ, Парус, Релэкс, ОАО РЖД, РФФИ, ИРЭ РАН им. Котельникова, ИПС РАН им. Айламазяна, НИИСИ РАН, СКБ Контур, ИПУ РАН им. Трапезникова, ИПЛИТ РАН, ИСП РАН, ИСА РАН, СофтПоинт, Студия 42, Топ Системы, Autodesk, ГК Информза-

щита, Сонда Технолоджи", Тендо, РФЯЦ-ВНИИЭФ (г. Саров), Юмисофт и мн. др.

Для посетителей выставки с 1 мая будет открыта он-лайн регистрация специалистов на сайте выставки www.softool.ru, после которой каждый получит БЕСПЛАТНЫЙ электронный билет на выставку.

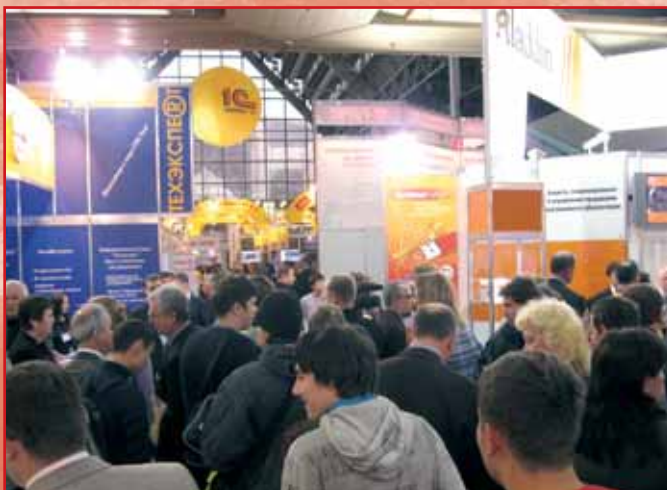
Деловая и обучающая программа Softool-2011 будет сопровождать все четыре выставочных дня. Помимо презентаций продуктов и решений от участников, в рамках выставки в очередной раз состоится Московский суперкомпьютерный форум, посвященный вопросам создания и применения суперкомпьютеров. Экспозицию форума составят стенды разработчиков и создателей суперЭВМ и специализированного программного обеспечения. Также

Наиболее интересные конференции будут транслироваться в сети Интернет с помощью партнера выставки Вебинар.ру.

Традиционно в рамках выставки пройдет конкурс программных продуктов «Softool: Продукт года». «Продукт года» учреждается как ежегодная российская национальная некоммерческая негосударственная Премия.

Главные цели и задачи конкурса:

- выявление, поощрение и продвижение на рынок наиболее значительных и перспективных разработок в области ИТ за прошедший год;
- популяризация и стимулирование развития ИТ в России;
- организация содействия и поддержки российских ИТ-компаний, привлечение к ним внимания ведущих российских СМИ.



Заявки на участие в конкурсе принимаются до 26 сентября 2011 года.

В программе также: демонстрация ПО, встреча руководителей компаний «Вендоры без галстуков», мастер-классы, ИТ-ШОУ, пресс-конференции, бесплатная сертификация, ток-шоу, конкурсы, лотереи, круглые столы с представителями отечественной промышленности и др.

СИБНЕФТЕГАЗ

www.petroleum.sibfair.ru

ГОРНОЕ ДЕЛО СИБИРИ

www.mining.sibfair.ru

международные
специализированные выставки
научекожих технологий, оборудования
в сфере недропользования



Генеральный спонсор



Спонсор



НАВГЕОКОМ

ГЕО-СИБИРЬ

VII международная
выставка-научный конгресс
www.geo-siberia.ru

Официальная поддержка:



Информационные партнеры:



27-29 АПРЕЛЯ

2011

РОССИЯ, НОВОСИБИРСК

Организаторы:

ИТЕ СИБИРСКАЯ ЯРМАКА
Тел.: +7 (383) 363-63-00, факс: +7 (383) 220-83-30
www.geo-siberia.ru; nenasheva@sibfair.ru



Сибирская Государственная
Геодзическая Академия
тел.: 383/ 343-39-37, факс: 383/ 344-30-60
sva@ssga.ru



Особенности заказа данных с космических аппаратов дистанционного зондирования земли

Спутник	Минимальная площадь заказа, км ²		Срок выполнения заказа, сутки	
	Архивные данные	Съемка на заказ	Архивные данные	Съемка на заказ
Опτικο-электронные КА				
сверхвысокого разрешения				
WorldView-1,2	25	25	1–14	7–60
QuickBird	25	25	1–14	7–60
GeoEye-1	49	100	1–14	7–60
IKONOS	49	100	1–14	7–60
«Ресурс-ДК1»	50	100	7–14	10–90
высокого разрешения				
RESOURCESAT-1/LISS-4	132,25	-	3–7	-
CARTOSAT-1	182,25	-	3–7	-
FORMOSAT-2	576	576	1–3	7–60
ALOS/PRISM	1225	-	4–7	-
RapidEye	1000	5000	1–3	7–45
среднего разрешения				
ALOS/AVNIR	4900	-	4–7	-
Радарные КА				
сверхвысокого разрешения				
TerraSAR-X (режим High Resolution SpotLight)	50	50	1–3	1–6
высокого разрешения				
TerraSAR-X (режим SpotLight)	100	100	1–3	1–6
среднего разрешения				
RADARSAT-2	400	400	1–5	2–30
низкого разрешения				
RADARSAT-1	2500	2500	1–5	2–30

SOVZOND



СОВЗОНД

КОНСАЛТИНГОВЫЙ ЦЕНТР КОМПАНИИ “СОВЗОНД”



Консалтинговый центр компании «Совзонд» работает с 2006 года.

Основной отличительной особенностью предлагаемых семинаров является их ориентация на решение практических задач. При выполнении упражнений используются данные со спутников WorldView-1,2, GeoEye, QuickBird, Ikonos, Formosat-2, Alos, RapidEye, Spot, Radarsat и др. При формировании очередного семинара обязательно учитываются пожелания обучаемых и особенности реализации их реальных проектов. В консалтинговом центре прошли обучение более 500 специалистов.

В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ ПРЕДЛАГАЕМ СЛЕДУЮЩИЕ КУРСЫ*:

- Базовые модули фотограмметрической системы Trimble INPHO.
- Использование программного комплекса ENVI для обработки и анализа данных ДЗЗ.
- Возможности языка программирования IDL. Дополнительные модули.
- Обработка данных радиолокационных съемок в дополнительных модулях ENVI SARscape Basic и SARscape Interferometry.
- Инструменты и функциональность ArcGIS Desktop.
- Комплексная обработка данных дистанционного зондирования Земли в программных продуктах ENVI и ArcGIS Desktop.
- Visual MODFLOW: практическое применение моделирования потока подземных вод и движения растворов.

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

Факс: +7(495) 988-7533, 623-3013

E-mail: software@sovzond.ru

Web-site: www.sovzond.ru

* Выдается сертификат международного образца.

ПОДПИСКА

на журнал «Геоматика» 2011

1. На почте в любом отделении связи

Каталог агентства «Роспечать»

Полугодовой подписной индекс **20609**, цена – 435 руб. / 2 номера

2. По системе адресной подписки

1. Заполните платежный документ (указав количество журналов, общую стоимость).

Стоимость 1 номера: 217 руб. 50 коп., периодичность выхода: 4 номера в год.

2. Отправьте копию квитанции об оплате:

По факсу: +7(495)988-75-33

По e-mail: info@geomatica.ru

По адресу: 115563, г. Москва, ул. Шипиловская 28а, Компания «Совзонд»

Подписка оформляется с ближайшего номера после поступления оплаты.

В стоимость подписки включена доставка журналов.

ИЗВЕЩЕНИЕ Кассир	<p>ООО «Компания Совзонд» ИНН 7720568664 / КПП 772001001 Р/с № 40702810038120110056 В Московском банке Сбербанка России (ОАО) г. Москва БИК 044525225 К/с № 30101810400000000225</p> <p>Ф.И.О. _____ Адрес _____ Организация _____ Тел. _____</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Название журнала</th> <th>Количество номеров</th> <th>Сумма</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Геоматика</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Плательщик</td> <td>Дата</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Название журнала	Количество номеров	Сумма	Геоматика			Плательщик	Дата	
Название журнала	Количество номеров	Сумма								
Геоматика										
Плательщик	Дата									
КВИТАНЦИЯ Кассир	<p>ООО «Компания Совзонд» ИНН 7720568664 / КПП 772001001 Р/с № 40702810038120110056 В Московском банке Сбербанка России (ОАО) г. Москва БИК 044525225 К/с № 30101810400000000225</p> <p>Ф.И.О. _____ Адрес _____ Организация _____ Тел. _____</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Название журнала</th> <th>Количество номеров</th> <th>Сумма</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Геоматика</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Плательщик</td> <td>Дата</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Название журнала	Количество номеров	Сумма	Геоматика			Плательщик	Дата	
Название журнала	Количество номеров	Сумма								
Геоматика										
Плательщик	Дата									