

# ОРИЕНТИРОВАНИЕ БЛОКА КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ SPOT-5 ПО МАТЕРИАЛАМ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

## В.П. Лаврусь («Сибнефть-Ноябрьскнефтегаз»)

Окончил Куйбышевский авиационный институт. В 1997 г. прошел обучение в Международном центре обучающихся систем при ЮНЕСКО (г. Звездный) по специальности «системные аэрокосмические методы сбалансированного природопользования». С 1990 г. работал в Ноябрьской аэрокосмогеологической партии. С 1995 г. работает в ОАО «Сибнефть-Ноябрьскнефтегаз», в настоящее время — начальник отдела ГИС.

## А.В. Беленов («Терра-Спейс»)

В 1996 г. окончил Санкт-Петербургское высшее военно-топографическое командное училище по специальности «аэрофотогеодезия». После окончания училища работал в 29-м НИИ МО РФ. С 2001 г. работает в ЦПГ «Терра-Спейс», в настоящее время — заместитель генерального директора.

## П.А. Коноплев («Сибнефть-Ноябрьскнефтегаз»)

Окончил Сибирскую государственную геодезическую академию. С 2002 г. работал в ФГУ Земельная кадастровая палата по ЯНАО г. Ноябрьск. С 2005 г. работает в ОАО «Сибнефть-Ноябрьскнефтегаз», в настоящее время — ведущий инженер отдела ГИС.

Постоянно увеличивающееся количество спутников дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), развитие средств обработки данных ДЗЗ и их интеграция в ГИС-проекты, быстроразвивающийся Интернет-сервис Google Earth демонстрируют растущий интерес к использованию данных ДЗЗ. Области применения этих данных различны и зависят от отрасли, в которой они используются. Так, для динамично развивающихся нефтегазодобывающих компаний актуален мониторинг объектов недвижимости и земель, являющихся их собственностью, поскольку эти компании, как правило, имеют обширную инфраструктуру, расположенную в нескольких субъектах Российской Федерации на огромных по площади территориях, включающих тысячи километров трубопроводов, автодорог, линий электропередач и сотни гектаров земель под промышленными площадками.

В нефтяной компании «Сибнефть» (в настоящее время —

«Газпром-Нефть») всегда уделялось большое внимание этому направлению. На начало 2005 г. компания уже располагала более чем 30 снимками со спутников SPOT, полученных в панхроматическом режиме с разрешением 10 м, и несколькими мультиспектральными снимками со спутника LANDSAT, покрывающих в совокупности всю территорию действующих месторождений Ноябрьского нефтегазового региона ОАО «Сибнефть-Ноябрьскнефтегаз» и частично территорию ОАО «Сибнефть-Чукотка» Чукотского АО. Привязка данных ДЗЗ в государственную систему координат с точностью 10–18 м в плане осуществлялась специалистами Центра прикладной геоинформатики «Терра-Спейс» совместно со специалистами службы ГИС ОАО «Сибнефть-Ноябрьскнефтегаз».

Бурное развитие деятельности компании, связанное с интенсивным обустройством существующих месторождений для поддержания уровня добычи уг-

леводородов, а также ввод новых месторождений, потребовало от НК «Сибнефть» актуализации материалов космической съемки. Весной 2005 г. руководством НК «Сибнефть» было принято решение заказать космическую съемку на период лето-осень 2005 г. территории дочерних предприятий: ОАО «Сибнефть-Ноябрьскнефтегаз», ОАО «Сибнефть-Хантос», ОАО «Сибнефть-Восток». После оценки предлагаемых на российском рынке данных ДЗЗ по критерию «цена — качество — пространственное разрешение» специалистами отдела ГИС ОАО «Сибнефть-Ноябрьскнефтегаз» было принято решение: для общего мониторинга территорий с быстро изменяющейся техногенной нагрузкой выбрать панхроматические снимки SPOT-5 с разрешением 2,5 м.

За период август — начало сентября 2005 г. по заказу ОАО «Сибнефть-Ноябрьскнефтегаз» были отсняты 26 сцен со спутника SPOT-5, покрывающие терри-

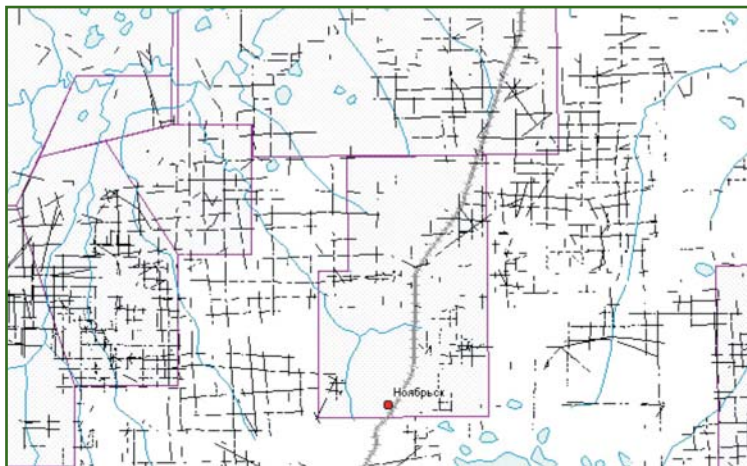


Рис. 1

Пример покрытия сейсмопрофилями территории ОАО «Сибнефть-Ноябрьскнефтегаз»

торию, площадью около 90 000 км<sup>2</sup>. В октябре 2005 г. специалистами ЦПГ «Терра-Спейс» и ОАО «Сибнефть-Ноябрьскнефтегаз» были проведены работы по ортотрансформированию, привязке и шивке полученных снимков.

Исходной информацией для этих работ послужили следующие материалы.

1. Цифровая картографическая основа крупного масштаба в виде материалов наземных съемок масштабов 1:500–1:5000 в ГИС MapInfo.

2. Цифровые данные сейсморазведки в ГИС MapInfo с пространственными координатами пикетов взрывов (возбуждения), полученными с точностью не хуже 1 м.

3. Цифровая модель рельефа местности (ЦМР) в формате USGS DEM с размером ячейки 100 м, полученная по картографическим материалам масштабов 1:25 000–1:200 000.

4. Данные космической съемки со спутника SPOT-5 с пространственным разрешением 2,5 м в панхроматическом диапазоне в количестве 26 сцен с уровнем геометрической коррекции Level 1A (50 м СЕ 90%).

Наиболее интересным в этой работе, наверное, следует считать применение для пространственной привязки космических

снимков цифровых материалов сейсморазведки и пространственных координат пикетов взрывов (возбуждения). Это особенно актуально для нефтедобывающих регионов Западной Сибири, территория которых покрыта густой сеткой сейсмопрофилей, полученных в разное время (рис. 1).

При этом характерной особенностью территории севера Западной Сибири является широкое распространение подзолистых почв и подстилающих их белых кварцевых песков на суходольных участках. При закладке сейсмопрофилей на этих участках происходит вырубка леса в коридоре 4–5 м и частичное разрушение подзола, что на космических снимках с разрешением 2–15 м выглядит, как тонкие прямолинейные пересекающиеся светлые линейные объекты, протяженностью до 30 км (сетка с шагом от 200 м до 3 км). Кроме того, на пикетах взрыва (возбуждения) после отстрела зарядов остаются конусы выноса грунта диаметром до 1 м, как правило, того же белого кварцевого песка. За счет контраста с достаточно темным окружающим ландшафтом, они, как выяснилось при первом анализе панхроматических сцен со спутника SPOT-5, однозначно дешифрируются. Согласно Требованиям к

технологии и качеству полевых сейсморазведочных работ 2D и 3D (Ноябрьск, 1997 г.), разработанным в ОАО «Сибнефть-Ноябрьскнефтегаз», точность привязки пикета взрыва и пикета приема для 3D-сеймики не должна быть хуже 1 м, а ширина профиля не должна превышать 4 м. Поэтому цифровые данные сейсмопрофилей совместно с координатами пикетов взрывов (далее — материалы сейсморазведки) образовывали полную сеть для геопространственной привязки данных космической съемки на всю территорию деятельности ОАО «Сибнефть».

Рассмотрим основные этапы изготовления ортотрансформированных изображений по материалам космической съемки SPOT-5 с целью создания картографической основы масштаба 1:25 000.

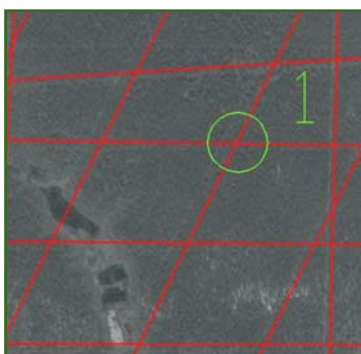
#### ▼ Техническое проектирование

На данном этапе выполнялось формирование графической схемы, отображающей покрытие зоны деятельности компании сценами со спутника SPOT-5, и импорт данных на район работ из формата ГИС MapInfo в формат MicroStation. Используя данную схему, были сформированы фотограмметрические блоки, определены зоны выбора опорных точек и выполнена нарезка области деятельности на стандартные картографические листы масштаба 1:100 000.

#### ▼ Предварительная геометрическая коррекция изображений SPOT

Исходное изображение на снимках, полученных со спутника SPOT-5, имеет точность пространственных координат 20–30 м, которая не позволяет однозначно совместить изображения на снимках и материалах

сейсморазведки для выбора точек привязки снимков. Поэтому для повышения точности пространственных координат изображений на снимках выполнялась предварительная геометрическая коррекция снимков методом цифровой фотограмметрии. Геометрическая коррекция осуществлялась по орбитальным данным, уточненным по опорным точкам, в качестве которых выбирались четкие контуры цифровой картографической основы крупного масштаба, однозначно дешифрируемые на снимках SPOT. Полученные таким образом снимки использовались в качестве подложки, на которую накладывались изображения материалов сейсморазведки, и на снимках находились опорные точки для привязки снимков, соответствующие координированным пикетам сейсморазведки (рис. 2). Эти точки совместно с другими данными в последующем использовались для фотограмметрического уравнивания блоков изображений снимков SPOT.



**Рис. 2**  
Выбор точек привязки снимков по материалам сейсморазведки

▼ **Фотограмметрическое уравнивание блоков изображений SPOT с использованием в качестве опорной информации пространственных координат пикетов взрывов из материалов сейсморазведки**

Данные работы выполнялись с использованием строгих алго-

ритмов обработки на основе материалов орбитальной динамики каждой сцены, содержащихся в файле метаданных, и пространственных координат пикетов взрывов из материалов сейсморазведки.

В процессе обработки использовалось 20 сцен, объединенных в один фотограмметрический блок. Этап состоял из следующих технологических процессов:

- составление фотограмметрического проекта;
- ввод в проект изображений со спутника SPOT-5 и метаданных к ним;
- измерение связующих точек;
- измерение опорных точек;
- уравнивание блока и анализ результатов уравнивания.

На этапе процесса создания проекта:

- был выбран тип камеры SPOT-5, установлены статистические величины для процесса уравнивания в виде априорных ошибок 12 параметров ориентирования камеры;
- введены координаты (В и L в WGS-84) 68 пикетов сейсморазведки, выбранных в качестве опорных точек для привязки снимков.

Ввод в проект изображений SPOT-5 и метаданных к ним заключался в выборе директорий, содержащих изображения в формате TIFF и метаданные в формате DIMAP.

Измерение связующих точек является необходимым этапом при уравнивании блока космических снимков и заключается в измерении в зонах перекрытия снимков общих точек.

Опорные точки являются основными исходными данными

для вычисления и уравнивания моделей снимков, входящих в блок. Было измерено 68 опорных точек, выбранных на исходных изображениях (рис. 3).



**Рис. 3**  
Схема расположения опорных точек

Уравнивание блока выполнялось по опорным и связующим точкам параметров ориентирования каждой сцены блока. Было выполнено наблюдение 523 контрольных точек, по которым была проведена оценка точности результатов уравнивания, приведенная в таблице.

Анализ отчета фотограмметрического уравнивания показывает, что точность уравнивания блока из 20 снимков, оцененная по опорным точкам, является приемлемым результатом и говорит о рассчитанной точности моделей камеры спутника SPOT-5 на уровне одного пикселя изображения.

▼ **Построение ортофотопланов и нарезка на листы**

На данном этапе осуществлялось ортотрансформирование изображений SPOT-5 с использованием модели рельефа, полученной по картографическим материалам масштабов 1:25 000–1:200 000. В качестве исходных данных использовалась также аналитическая модель камеры, вычисленная по

**Результаты оценки точности уравнивания блока**

Параметр	X, м	Y, м	Z, м	XU, м
СКО на опорных точках	2,630	3,342	3,265	4,304
Максимальные расхождения	6,063	8,143	9,731	
СКО измерения снимков	1,2	1,4		





**Рис. 4**  
Контроль точности трансформирования по материалам сейсморазведки

опорным точкам на этапе уравнивания блока снимков. В тех местах, где модель рельефа не покрывала изображения, орто-трансформирование выполнялось на среднюю плоскость: Пальяновский блок — 35 м, Приобский блок — 40 м, Томская группа — 110 м, Южная граница месторождений ННГ (большой блок) — 110 м. Пространственное разрешение результирующего ортофотоизображения (размер результирующего пикселя) составило 2,5 м.

Точность полученного ортофотоизображения определялась путем измерения на ортофотоплане координат опорных точек, а также других точек сейсморазведки, не использованных в качестве опорных, и последующего вычисления расхождений измеренных координат с фактическими координатами этих точек, полученных при сейсморазведке. Среднее расхождение координат на опорных точках находилось в пределах 12 м, при максимальных значениях до 16 м. Средняя погрешность трансформирования, оцененная по расхождениям между отдельными ортофотоизображениями по линии шивки, находилась в пределах 10 м.

Для визуального контроля точности ортофотоизображения на рис. 4 приведен фрагмент сетки профилей сейсмо-

разведки с наложенным на нее фрагментом ортофотоизображения.

Нарезка на листы выполнялась в рамках ортогональных полигонов, описывающих стандартные картографические листы масштаба 1:100 000.

#### ▼ Оценка геометрической точности ортофотоплана

Основным этапом работ, наиболее сильно влияющим на результирующую геометрическую точность полученных ортофотоизображений, является этап фотограмметрической обработки снимков. Он подразумевает расчет модели камеры по опорным

точкам и анализ точности ее вычисления. Для достижения максимальной точности геометрической коррекции космических снимков абсолютная точность опорных точек должна быть не хуже пространственного разрешения снимка, т. е. в данном случае не хуже 2,5 м. В настоящем проекте заявленная точность опорных точек была не хуже 1 м, но в силу специфики опорные данные не всегда обеспечивали привязку всей площади снимка, что, безусловно, оказывало влияние на точность областей, не попадавших под аппроксимирующую поверхность модели блока. Из этапа вычисления модели камеры видно, что среднеквадратическая ошибка на опорных точках не превышала 3 м, что свидетельствует о корректности опорной информации.

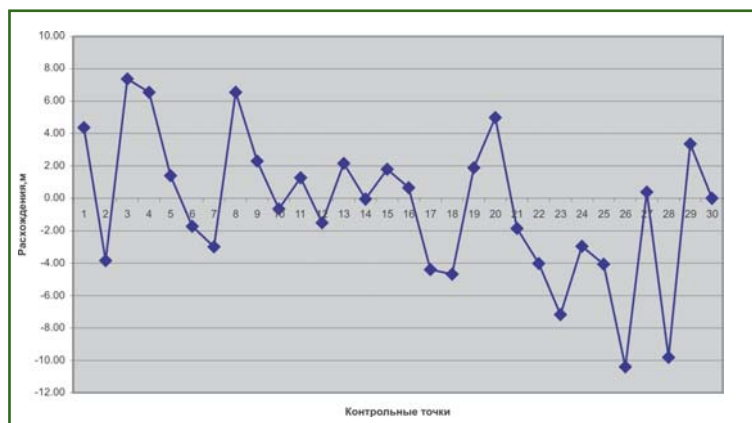
Точность созданного ортофотоплана оценивалась по расхождениям между координатами опорных точек, полученных при сейсморазведке и измеренных на ортофотоизображении. Величина ошибки не превышает 12 м, что соответствует требованиям Инструкции по фотограмметрическим работам — ГКИНП (ГНТА) 02-036-02 к точности создания ортофотопланов масштаба 1:25 000.

Для подтверждения корректности этого вывода была проведена оценка точности созданного ортофотоплана по контрольным точкам, выбранным случайным образом из материалов цифровой топографо-геодезичес-

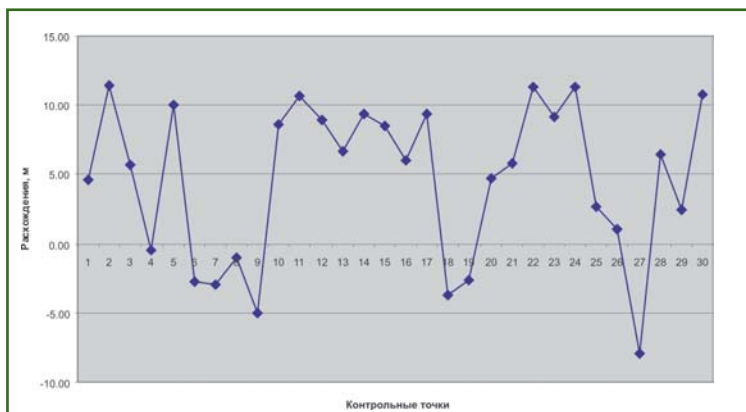


**Рис. 5**  
Пример совмещения ортофотоизображения с осевой линией автодороги

точкам и анализ точности ее вычисления. Для достижения максимальной точности геометри-



**Рис. 6**  
Диаграмма распределения невязок по оси X



**Рис. 7**  
 Диаграмма распределения невязок по оси Y

кой съемки масштаб 1:500–1:2000 площадных объектов и линейных коммуникаций нефтяных месторождений. Было выбрано 30 контрольных точек, которые, как правило, отображали перекрестки автодорог (рис. 5).

Для каждой из контрольных точек были вычислены разности между значениями координат, определенными при наземной съемке, и значениями координат  $\Delta X$  и  $\Delta Y$ , измеренными на орто-

фотоплане. В результате оценки точности были получены следующие значения:

- $\Delta X_{\text{Min}} = 0 \text{ м}$ ,  $\Delta X_{\text{Max}} = -10,40 \text{ м}$ ,  $\Delta X_{\text{Среднее}} = -0,42 \text{ м}$ ;
- $\Delta Y_{\text{Min}} = -0,43 \text{ м}$ ,  $\Delta Y_{\text{Max}} = 11,44 \text{ м}$ ,  $\Delta Y_{\text{Среднее}} = 3,86 \text{ м}$ ;
- СКО X = 4,07 м, СКО Y = 5,26 м.

Диаграммы распределения невязок по осям X и Y приведены на рис. 6 и 7.

Полученные результаты подтверждают вывод о том, что созданный ортофотоплан соответ-

ствует масштабу 1:25 000.

Авторы считают, что данная технология может быть с успехом применена для ортотрансформирования космических снимков с пространственным разрешением 2–2,5 м практически на всей территории Западной Сибири в пределах нефтегазодобывающего региона, при наличии развитой сетки сейсмопрофилей и цифровых данных по ним.

**RESUME**

A technology of rectification, referencing and mosaicking space images with a spatial resolution of 2 m to 2,5 m is described. Digital maps, ground survey data, coordinates of seismic profiles' pickets defined with an accuracy better than 1 m are used as the cartographic base. The developed technique experimental validation has shown that an orthorectified image for an area exceeding 90,000 km<sup>2</sup> and compiled from 26 SPOT5 scenes corresponds to a map on a scale of 1:25,000 as for its accuracy.

**МАР INFO**<sup>®</sup>  
 Современные геоинформационные технологии  
 С полевых измерений все только начинается ...  
**в России**  
 ООО "ЭСТИ МАП"  
 119002 Москва Калошин пер.4  
 офис 1-14 тел/факс (495) 540-4659, 241-0057  
 www.esti-map.ru e-mail: esti-m@esti-map.ru