УДК 629.783:528.77

DOI: 10.33764/2411-1759-2019-24-3-65-81

ВОЗМОЖНОСТИ ВИЗУАЛЬНОГО ДЕШИФРИРОВАНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ И ОБЪЕКТОВ ИНФРАСТРУКТУРЫ ПО СПУТНИКОВЫМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ ВЫСОКОГО И СВЕРХВЫСОКОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Даниил Валентинович Долгополов

ООО «Ай-Теко ВЦ», 117218, Россия, г. Москва, ул. Кедрова, 14, кандидат технических наук, заместитель руководителя отдела геоинформационных систем и картографии, тел. (905)714-13-77, e-mail: d-daniil@yandex.ru

Дмитрий Владимирович Никонов

ООО «Ай-Теко ВЦ», 117218, Россия, г. Москва, ул. Кедрова, 14, ведущий аналитик отдела геоинформационных систем и картографии, тел. (917)592-52-29, e-mail: nikonov.msk@gmail.com

Александра Васильевна Полуянова

ООО «Ай-Теко ВЦ», 117218, Россия, г. Москва, ул. Кедрова, 14, специалист отдела геоинформационных систем и картографии, тел. (916)608-93-91, Aleksis709@yandex.ru

Вячеслав Анатольевич Мелкий

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, 693022, Россия, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, 1б, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории вулканологии и вулканопасности, тел. (984)139-70-77, e-mail: vamelkiy@mail.ru

Визуальное дешифрирование играет первостепенную роль в восприятии окружающего пространства. Формализация дешифровочных признаков определенных объектов – будь то строения в населенных пунктах или сооружения, обеспечивающие функционирование трубопроводов – не представляется возможной без логического восприятия специфических характеристик и анализа связей между элементами изображения человеком. Любому автоматизированному распознаванию образов предшествуют визуальные исследования. Магистральные трубопроводы – довольно сложные в техническом плане производственные комплексы, поэтому тщательная проработка деталей распознавания узлов, агрегатов, зданий для их размещения на снимках позволит в дальнейшем корректно извлекать и накапливать информацию, необходимую для оперативной и бесперебойной работы геоинформационных систем. Статья нацелена на выявление возможностей снимков высокого разрешения для определения состояния трубопроводов и организации мониторинга, обеспечивающего надежное и безопасное функционирование объектов нефтегазового комплекса. Работа выполнена на основе метода визуального дешифрирования с использованием технологий геоинформационного картографирования. Результаты распознавания образов проверялись при полевом дешифрировании. В статье разрабатываются методы наполнения корпоративных ГИС информацией о состоянии магистральных трубопроводов по спутниковым изображениям высокого и сверхвысокого пространственного разрешения. Проведен анализ изображений видимого диапазона, полученных космическими аппаратами SPOT-6 и GeoEye-1, определены дешифровочные признаки для распознавания технологического оборудования и инфраструктуры трубопроводов по данным дешифрирования космических снимков с высоким пространственным разрешением и создания на их основе схем и моделей. Исследования показали, что снимки с разрешением 1,5 м/пикс можно использовать при составлении карт-схем, содержащих упрощенные пространственные данные. Информативность снимков с разрешением

0,5 м/пикс в совокупности с эксплуатационной документацией позволяет дешифровать объекты в соответствии с требованиями к составу топографических планов масштаба 1 : 2 000 и выполнять инвентаризацию оборудования линейной части магистрального трубопровода (МТ) и площадок нефтеперекачивающих станций (НПС).

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, визуальные наблюдения, дешифрирование, магистральный трубопровод, инфраструктура трубопроводного транспорта, геодезическая привязка, линейная система координат, мониторинг земель, цифровая картография, распознавание образов.

Введение

Создание и эксплуатация геоинформационных систем связаны с необходимостью наполнения этих систем пространственной информацией [1–3].

При разработке корпоративных геоинформационных систем (ГИС) для предприятий трубопроводного транспорта в первую очередь возникает потребность в информации о магистральных трубопроводах и объектах инфраструктуры, расположенных в полосе интереса эксплуатирующих подразделений. Как правило, полнота и актуальность пространственной информации, имеющейся в распоряжении эксплуатирующих подразделений, является недостаточной для решения стоящих перед ними производственных задач.

Одним из источников получения объективных и актуальных данных могут являться материалы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Данная работа направлена на оценку информативности космических изображений высокого (1,5 м/пикс) и сверхвысокого (0,5 м/пикс) пространственного разрешения с целью определения их пригодности для решения задач, связанных с эксплуатацией магистральных трубопроводов, и наполнения ГИС. Вопрос приобретения материалов космической съемки для наполнения отраслевых ГИС является очень чувствительным, так как стоимость материалов ДЗЗ очень высока, и важно иметь точное представление, для решения каких производственных задач и каким образом данные материалы могут быть использованы.

Основное направление настоящего исследования – определение возможностей визуального дешифрирования объектов транспорта нефти и нефтепродуктов по материалам космической съемки высокого и сверхвысокого пространственного разрешения и дополнительным материалам, таким как технологические схемы, ситуационные планы и профили трассы, используемым при эксплуатации магистральных нефте- и продуктопроводов.

Полезными для специалистов могут оказаться полученные в процессе изучения перечни объектов, распознаваемых на космических изображениях с пространственным разрешением 1,5 м/пикс и крупнее. Работы по дешифрированию проводились нами на пилотных участках трубопроводной системы «Восточная Сибирь – Тихий океан». Результаты аналогичных исследований, в том числе и перечни объектов, дешифрируемых по материалам космической съемки, на других трубопроводных системах, проходящих в иных географических условиях, могут несколько отличаться.

Материалы и методы исследования

На современном российском рынке данных дистанционного зондирования Земли представлен широкий спектр данных высокого и сверхвысокого пространственного разрешения с различными характеристиками охвата и спектрального разрешения. В рамках данной работы проведен анализ изображений видимого диапазона, полученных космическими аппаратами SPOT-6 и GeoEye-1, для оценки возможностей дешифрирования космических снимков с пространственным разрешением 1,5 м/пикс и 0,5 м/пикс и создания на их основе пространственных данных о магистральных трубопроводах и сопутствующей инфраструктуре.

Спутники SPOT-6 (Airbus Defense and Space, Франция), SPOT-7/Azersky (Azercosmos, Азербайджан) находятся на орбите с 2012 и 2014 гг. соответственно. Аппаратура, установленная на спутниках, обеспечивает съемку земной поверхности с разрешением 1,5 м/пикс в панхроматическом и 6,0 м/пикс в мультиспектральном режиме, с полосой захвата 60 км [4].

Спутник GeoEye-1, запущенный в сентябре 2008 г. компанией Digital Globe (США), обеспечивает съемку Земли с разрешением 0,41 м/пикс в панхроматическом режиме и 1,65 м/пикс в мультиспектральном в полосе шириной 17,3 км в надире [5]. Более поздние спутники компании Digital Globe (WorldView-2,3) имеют схожие характеристики пространственного разрешения.

Работа по дешифрированию космических снимков выполнена по данным, предоставленным ИТЦ «СКАНЭКС» [6], получены качественные и количественные характеристики использованных материалов (табл. 1). Объектами экспериментальных работ выбраны тестовые участки магистрального трубопровода «Восточная Сибирь – Тихий океан».

Таблица 1

Сравнительные характеристики спутниковых изображений высокого (SPOT 6) и сверхвысокого (GeoEye-1) пространственного разрешения

№ п/п	Сравнительные характеристики	SPOT 6	GeoEye-1
1	Пространственное разрешение, м/пикс	1,5 (панхроматический) 6,0 (мультиспектральный)	0,41 (панхроматический) 1,65 (мультиспектральный)
2	Количество спектральных диапазонов	4	4
3	Ширина полосы съемки в надире, км	60	15,2
4	Период повторной съемки	Ежедневно	2–3 дня
5	Система координат	WGS-84	WGS-84

Методы визуального дешифрирования космических изображений магистральных трубопроводов

Методы визуального дешифрирования аэрокосмических изображений широко известны и описаны в специальной литературе [7–12] и работах, посвященных вопросам изучения природно-технической среды с использованием материалов ДЗЗ [13–27], в том числе методам дешифрирования космических снимков с высоким пространственным разрешением [28–33].

Дешифрируя объекты, обеспечивающие функционирование нефтегазового комплекса, специалисты распознают изображения оборудования магистрального трубопровода на снимках, определяют их габаритные размеры и иные характеристики, выявляют взаимосвязи между устройствами и агрегатами и оформляют результаты в виде графической схемы.

Используя различные технологические схемы дешифрирования, мы неизбежно выполняем вполне определенные действия:

1) изучение методических рекомендаций по данному виду дешифрирования, анализ производственной документации по объекту исследования и картографических материалов на территорию, расположенную по маршруту трассы;

2) анализ состава объектов дешифрирования (определение перечня отдельных элементов объектов производственной инфраструктуры, подлежащих распознаванию, на основе эксплуатационной документации);

3) подбор материалов дистанционного зондирования Земли и предварительная обработка космических изображений;

4) дешифрирование космических изображений (дешифровщик привлекает дополнительный материал: для создания схемы магистрального трубопровода используют технологические схемы и паспорта трубопроводов, которые служат для уточнения определяемых объектов на участке МТ);

5) оформление графической схемы дешифрирования.

Ключевыми исследованиями являются работы по визуальному дешифрированию космических изображений. Однако следует учитывать, что при дешифрировании исполнитель может столкнуться как с избытком информации, присутствующей на снимке, так и с ее недостатком. Во многом это определяется пространственным разрешением используемых снимков.

Распознавание объектов нефтегазового комплекса на космических изображениях разного пространственного разрешения

Предварительная обработка материалов космической съемки включает работы по радиометрической и геометрической коррекции изображений. В нашем случае предварительная обработка материалов ДЗЗ была произведена ИТЦ «СКАНЭКС».

Используемая нами технологическая схема визуального дешифрирования объектов магистральных трубопроводов по спутниковым изображениям высокого и сверхвысокого пространственного разрешения предусматривает распознавание объектов природно-технической среды, а затем их графическое выделение на снимке. В процессе такой работы могут оказаться крайне полезными профили, технологические схемы и ситуационные планы линейной части участков трубопровода как для уточнения результатов дешифрирования, так и для оценки полученных результатов (рис. 1).

Рис. 1. Пример оформления профиля, технологической схемы и ситуационного плана линейной части трубопровода [34]

Для правильного дешифрирования космических снимков необходимы специализированные знания и опыт. Это важное требование в определенной степени компенсируется наличием перечня уникальных объектов. Объекты, как правило, локализованы на протяженной территории вдоль трассы трубопровода или на производственных площадках. Характерным признаком прохождения трассы является полоса хозяйственной деятельности, включающая в себя такие элементы, как просеки, технологические вдольтрассовые проезды, грунтовые валики над трубопроводом, геоботанические признаки и др.

Одним из важных факторов, затрудняющих дешифрирование объектов инфраструктуры трубопроводов, является зарастание трассы травой и кустарниками. Для исключения слабой распознаваемости среди растительности и в тених хорошо показала себя практика использования разновременных снимков (в том числе разных времен года), которые обеспечивают несколько взаимно дополняющих вариантов отображения ситуации и деталей местности. При этом согласно п. 5.9 инструкции [35] рекомендуется руководствоваться следующими принципами:

- приоритетностью материалов, которые наиболее соответствуют современному состоянию местности и не содержат субъективных ошибок;
- возрастанием достоверности опознания объекта с увеличением количества использованных для опознания признаков изображения объекта;
- ранжированием признаков объекта в соответствии с их значимостью для опознания объекта в конкретной ситуации.

Для обеспечения полноты и достоверности распознанных на местности объектов и их атрибутов (в основном, уникальных номеров и названий) в обязательном порядке привлекаются специалисты производственных подразделений, непосредственно эксплуатирующих данный участок трассы трубопровода или промплощадку.

В случае, если информативность полученных схем является недостаточной, невозможно только по материалам космической съемки и имеющейся в наличии документации нанести некоторые объекты и/или их характеристики, например, подземные коммуникации, тип растительности, назначение зданий и др. Такие данные могут быть получены по материалам полевого дешифрирования и полевой досъемки [33].

По результатам дешифрирования нескольких участков прохождения магистрального трубопровода был получен перечень объектов, распознаваемых на космических изображениях с пространственным разрешением 1,5 м/пикс и крупнее (табл. 2), а также на космических изображениях с пространственным разрешением 0,5 м/пикс и крупнее (рис. 2, 3) (табл. 3).

Таблица 2

Перечень объектов, распознаваемых на космических изображениях с пространственным разрешением 1,5 м/пикс и крупнее

№ п/п	Класс пространственных данных (ПД)	Тип геометрии	Описание
1	Технические коридоры МТ	Линейная	Территория расположения элементов линейной части МТ и хозяйственной деятельности вдоль трассы МТ. В отдельных случаях также распознаются и оси МТ, но с низкой точностью и полнотой состава объектов
2	Площадки НПС, линейные производственно-диспетчерские станции (ЛПДС), узлы запорной арматуры (УЗА), камеры пуска-приема средств очистки и диагностики (КПП СОД) и др.	Точечная	Объект, имеющий ограниченную территорию, площадь которой может составлять от 400 до 6 000 м ²
3	Площадки (схематический контур)	Площадная	Объект, имеющий ограниченную территорию, площадь которой может составлять от 400 до 6 000 м ²
4	Башенные и мачтовые сооружения	Площадная	Радиомачты, радиобашни, опоры линий электропередачи (ЛЭП) и каркасы опор дымовых и вытяжных труб. Объекты с плановыми габаритами от 3 м по короткой стороне
5	Башенные и мачтовые сооружения	Точечная	Радиомачты, радиобашни, опоры ЛЭП и каркасы опор дымовых и вытяжных труб. Объекты с плановыми габаритами от 3 м по короткой стороне
6	Валы защитные и противозерозионные	Линейная	Линейно протяженный объект шириной от 3 м
7	Здания и производственные сооружения	Площадная	Объект, имеющий площадь от 10 м ² и плановые габариты от 3 м по короткой стороне
8	Мосты	Площадная	Линейно протяженный объект шириной от 6 м
9	Оси дорог и улиц	Линейная	Линейно протяженные объекты шириной от 4 м. Иногда распознаются неуверенно
10	Оси технологических эстакад	Линейная	Линейно протяженный элемент площадки, ширина от 2 м
11	Оси вдольтрассовых проездов	Линейная	Линейно протяженные объекты шириной от 4 м. В отдельных случаях распознаются неуверенно
12	Пересечения МТ	Точечная	Пересечения трассы трубопровода с другими трубопроводами различного назначения. В отдельных случаях распознаются неуверенно
13	Пересечения ЛЭП	Точечная	Пересечения трассы трубопровода с ЛЭП различного напряжения и плановых размеров опор. В отдельных случаях распознаются неуверенно

Окончание табл. 2

№ п/п	Класс пространственных данных (ПД)	Тип геометрии	Описание
14	Пересечения автодорогами различных категорий, в т. ч. с вдоль-рассовыми проездами	Точечная	Пересечения трассы трубопровода с дорогами шириной не менее 4 м. В отдельных случаях распознаются неуверенно
15	Пересечения объектов гидрографии	Точечная	Пересечения трассы трубопровода с реками и ручьями шириной не менее 3 м. В отдельных случаях распознаются неуверенно
16	Резервуары крупные цилиндрические вертикальные	Площадная	Сооружение круглой формы диаметром 5–15 м
17	Технологическое оборудование (КПП СОД и др.)	Линейная	Объекты, имеющие различную плановую конфигурацию с отдельными элементами габаритами не менее 1,5–2 м. В отдельных случаях распознаются неуверенно
18	Технологическое оборудование (контур)	Площадная	Объекты, имеющие различную плановую конфигурацию с отдельными элементами габаритами не менее 1,5–2 м. В отдельных случаях распознаются неуверенно

Рис. 2. Пример космической съемки объекта линейной части трубопровода (пространственное разрешение 0,5 м/пикс)

Рис. 3. Пример схемы объекта линейной части трубопровода, полученной по материалам космической съемки

Таблица 3

Перечень объектов, распознаваемых на космических изображениях с пространственным разрешением 0,5 м/пикс и крупнее

№ п/п	Класс ПД	Тип геометрии	Примечание
1	Ось МТ	Линейная	Линейный объект значительной протяженности, дешифрируемый по сопутствующим элементам трассы МТ – УЗА, задвижкам, защитному валику и др.
2	Задвижки МТ больших диаметров	Точечная	Технологический элемент с плановыми габаритами не менее 1 м. Находится на площадке УЗА. Может быть оборудован площадкой обслуживания и защищен навесом площадки габаритами не менее 2 м. Косвенные дешифровочные признаки – ограждение или борта отсыпки площадки УЗА
3	Вантузные тройники	Точечная	Технологический элемент с плановыми габаритами не менее 1 м. В отдельных случаях не распознаются, так как могут находиться под засыпкой
4	Колодцы отбора давления	Точечная	Технологический элемент с плановыми габаритами не менее 1 м. Находится, как правило, на площадке УЗА. Косвенные дешифровочные признаки – ограждение или борта отсыпки площадки УЗА
5	Площадки обслуживания	Площадная	Технологический элемент с плановыми габаритами не менее 2 м. Может обрамлять задвижки МТ больших диаметров или быть расположен на площадках с оборудованием
6	Борт грунтовой отсыпки площадки	Линейная	Линейно протяженный элемент площадки шириной от 1 м
7	Башенные и мачтовые сооружения	Точечная	Радиомачты, радиобашни, опоры ЛЭП, громотводы, каркасы опор дымовых и вытяжных труб. Объекты с плановыми габаритами от 1 м по короткой стороне
8	Трубы под дорогами, водосливные трубы и лотки	Линейная	Линейно протяженный технологический элемент различной конструкции и формы сечения шириной от 1 м. Косвенные дешифровочные признаки – автодороги, оборудованные покрытия, защищающие от размыва, объекты гидрографии
9	Ограждения	Линейная	Линейно протяженная конструкция. Ширина может быть менее полуметра. Дешифрируется уверенно, так как имеет правильную геометрию значительной протяженности и сопровождает контуры площадок
10	Опоры ЛЭП (столбы)	Точечная	Вертикальные конструкции с небольшими с плановыми размерами 0,3–1 м, но часто дешифрируются уверенно, так как имеют правильную геометрию значительной протяженности

Окончание табл. 3

№ п\п	Класс ПД	Тип геометрии	Примечание
11	Оси пешеходных дорожек	Линейная	Протяженный линейный объект шириной около 1 м. В отдельных случаях распознаются неуверенно
12	Покрытия	Площадная	Как правило, находятся на площадках, улицах или автодорогах. В отдельных случаях распознаются неуверенно
13	Оборудованные переезды через МТ	Площадная	Косвенные дешифровочные признаки – пересечение автодорог и трассы МТ, наличие покрытия. В отдельных случаях распознаются неуверенно
14	Технологические эстакады	Площадная	Линейно протяженный элемент площадки, ширина от 1 м
15	Технологическое оборудование (конструкции)	Точечная, площадная	Объект, имеющий площадь от 1 м ² и не менее 1 м по короткой стороне

По результатам дешифрирования были составлены схемы объектов инфраструктуры трубопроводов. Фрагменты схем приведены на рис. 4 и 5.

Рис. 4. Схема участка трубопровода, полученная на основе дешифрирования космической съемки разрешением 0,5 м/пикс

Рис. 5. Схема участка НПС, полученная на основе дешифрирования съемки разрешением 1,5 м/пикс

Выводы

Целью настоящей работы было определение возможности дешифрирования объектов инфраструктуры магистральных трубопроводов по материалам космической съемки, для чего были проведены работы по дешифрированию на тестовых участках трубопровода «Восточная Сибирь – Тихий Океан».

Очевидно, что разрешение определяет информационные свойства спутниковых изображений и обуславливает состав и количество распознанных объектов. Достаточное разрешение космических снимков определяется в рамках выполнения работ по обследованию фактической деятельности заинтересованных производственных подразделений и зависит от следующих факторов:

- функциональные потребности пользователей;
- контекст пользования пространственной информацией;
- требования к точности данных;
- требования к актуальности данных;
- требования к атрибутивным свойствам данных;
- требования к представлению данных.

Относительно рассмотренных продуктов ДЗЗ (видимый диапазон, пространственное разрешение 0,5 м/пикс и 1,5 м/пикс) можно отметить два основных момента, позволяющих их использование без дополнительной обработки

с целью повышения точности пространственного позиционирования и без использования опорного геодезического обоснования:

– съемка разрешением 1,5 м/пикс может быть использована для создания карт-схем [34], содержащих упрощенные или сильно обобщенные пространственные данные, которые могут быть дополнены в ГИС-приложении материалами эксплуатирующих подразделений в виде гиперссылок, такими как технологические схемы, ситуационные планы и профили трассы, используемые при эксплуатации магистральных нефте- и продуктопроводов;

– съемка разрешением 0,5 м/пикс обладает информативностью, позволяющей при наличии эксплуатационной документации дешифровать состав объектов в соответствии с требованиями к составу топографических планов масштаба 1: 2 000 [36, 37], и может быть использована для инвентаризации объектов линейной части МТ и площадок нефтеперекачивающих станций с применением технической документации исследуемого объекта.

Также важным прикладным аспектом является возможность использования снимков разрешением 0,5 м/пикс для создания и калибровки линейных систем координат (ЛСК). Предприятия транспорта нефти широко используют ЛСК для описания пространственного положения объектов инфраструктуры. При этом на практике точность ЛСК в большинстве случаев такова, что снимки разрешением 0,5 м/пикс могут обеспечить с достаточной точностью подготовку топографических карт масштаба 1: 25 000, т. е. 10–15 м.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Геопространственный дискурс опережающего и прорывного мышления / А. П. Карпик, Д. В. Лисицкий, К. С. Байков, А. Г. Осипов, В. Н. Савиных // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Т. 22, № 4. – С. 53–67.
2. Лисицкий Д. В. Перспективы развития картографии: от системы «Цифровая Земля» к системе виртуальной геореальности // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 2 (22). – С. 8–16.
3. Гук А. П., Шляхова М. М. Некоторые проблемы построения реалистических измерительных 3D моделей по данным дистанционного зондирования // Вестник СГУГиТ. – 2015. – № 4 (32). – С. 51–60.
4. Zimin M. V. Interim results of implementation of the state contract on building state real estate cadastre base map // Earth from Space: The Most Effective Solutions. – 2013. – Issue 16. – P. 20–26.
5. Corbley K. P. GeoEye-1 Satellite Coming [Electronic resource] // GEOconnexion International Magazine. – Sept. 2006. – P. 50–55. – Mode of access: http://www.geoconnexion.com/uploads/geoeye_intv5i8.pdf.
6. Сайт ИТЦ «СКАНЭКС» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://new.scanex.ru/data/satellites>.
7. Богомоллов Л. А. Дешифрирование аэрокосмоснимков. – М. : Недра, 1976. – 145 с.
8. Крылов В. М. Дешифрирование аэроснимков : учеб. пособие. – М. : ВИА, 1979. – 41 с.
9. Живичин А. Н. Соколов В. С. Дешифрирование фотографических изображений. – М. : Недра, 1980. – 253 с.
10. Книжников Ю. Ф., Кравцова В. И., Тутубалина О. В. Аэрокосмические методы географических исследований : учеб. для студ. высш. учеб. заведений. – М. : Академия, 2004. – 336 с.

11. Рис У. Г. Основы дистанционного зондирования. – М. : Техносфера, 2006. – 336 с.
12. Чандра А. М., Гош С. К. Дистанционное зондирование и географические информационные системы. – М. : Техносфера, 2008. – 312 с.
13. Баборыкин М. Ю., Жидиляева Е. В., Погосян А. Г. Дешифрирование материалов аэрокосмической съемки для анализа инженерно-геологических условий в общем алгоритме изысканий на линейных объектах // Инженерные изыскания. – 2014. – № 9–10. – С. 13–21.
14. Баборыкин М. Ю. Мониторинг опасных геологических процессов на линейных объектах // Инженерные изыскания. – 2013. – № 10–11. – С. 44–55.
15. Карпик А. П., Аврунев Е. И., Варламов А. А. Совершенствование методики контроля качества спутникового позиционирования при создании геоинформационного пространства территориального образования // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 4/С. – С. 182–186.
16. Разработка методик автоматизированного дешифрирования аэрокосмических снимков. Дешифровочные признаки изображений объектов на многоспектральных космических снимках / А. П. Гук, Л. Г. Евстратова, Е. П. Хлебникова, М. А. Алтынцев, С. А. Арбузов, А. С. Гордиенко, А. А. Гук, Д. П. Симонов // Геодезия и картография. – 2013. – № 7. – С. 31–40.
17. Возможности практического применения технологии автоматизированного дешифрирования аэрокосмических снимков в целях мониторинга земель / В. С. Марчуков, В. А. Мелкий, М. А. Игрицов, М. В. Шитикова, Д. Е. Долгополов // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 1999. – № 4. – С. 99–112.
18. Экологический мониторинг и мероприятия по снижению уровня возможного негативного воздействия трубопроводов (проект «Сахалин-2») на окружающую среду острова Сахалин / В. А. Мелкий, А. А. Верхотуров, Д. В. Долгополов, А. Н. Бурыкин, В. В. Ильин, А. А. Гальцев, О. М. Зарипов, Д. Г. Новиков, Я. П. Белянина, И. В. Еременко // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 4. – С. 101–108.
19. Бондур В. Г. Аэрокосмический мониторинг нефтегазоносных территорий и объектов нефтегазового комплекса. Реальности и перспективы // Аэрокосмический мониторинг объектов нефтегазового комплекса / под ред. В. Г. Бондура. – М. : Научный мир, 2012. – С. 15–37.
20. Атаев З. В., Братков В. В. Динамика селитебной освоенности ландшафтов формирующейся Махачкалинско-Каспийской агломерации (на основе данных дистанционного зондирования) // Мониторинг. Наука и технологии. – 2013. – № 4. – С. 11–16.
21. Дистанционное зондирование территории Северного Кавказа / В. В. Братков, Ш. Ш. Заурбеков, П. В. Ключин, А. Н. Марьин // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2011. – № 4 (76). – С. 69–80.
22. Хренов Н. Н. Основы комплексной диагностики северных трубопроводов. Аэрокосмические методы и обработка материалов съемок. – М. : Газойл-пресс, 2003. – 352 с.
23. Rajesh H. M. Application of remote sensing and GIS in mineral resource mapping – An overview // Journal of Mineralogical and Petrological Sciences. – 2004. – Vol. 99. – P. 83–103.
24. Using remote sensing to assess Russian forest fire carbon emissions / A. S. Isaev, G. N. Korovin, S. A. Bartalev, D. Ershov, A. Janetos, E. S. Kasischke, H. H. Shugart, N. H. French, B. E. Orlick, T. L. Murphy // Climate Change. – 2002. – Vol. 55, No. 1–2. – P. 235–249.
25. Разработка методики оперативного мониторинга и обновления карт и планов по космическим снимкам высокого разрешения / А. П. Гук, В. В. Прудников, Л. Г. Евстратова, А. В. Павленко // Вестник СГУГиТ. – 2006. – Вып. 11. – С. 177–183.
26. Торсунова О. Ф. Исследование возможности применения космических снимков для определения границ зон с особыми условиями использования территорий // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Т. 22, № 3. – С. 180–193.

27. Вахрушева А. А. Технологии позиционирования в режиме реального времени // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Т. 22, № 1. – С. 170–177.
28. Торсунова О. Ф. Использование данных космической съемки сверхвысокого разрешения для решения задач территориального зонирования // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 2. – С. 219–230.
29. Антипов И. Т., Зяткова Л. К., Хлебникова Т. А. Оценка точности измерительных трехмерных видеосцен // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 2/1. – С. 52–57.
30. Гук А. П., Прудников В. В., Павленко А. В. Разработка методики обновления карт и планов по космическим снимкам высокого разрешения // ГЕО-Сибирь-2005. Науч. конгр. : сб. материалов в 7 т. (Новосибирск, 25–29 апреля 2005 г.). – Новосибирск : СГГА, 2005. Т. 5. – С. 37–42.
31. Технологические аспекты построения 3D-модели инженерных сооружений в городах арктического региона РФ / Е. И. Аврунев, А. В. Чернов, А. В. Дубровский, А. В. Комиссаров, Е. Ю. Пасечник // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329, № 7. – С. 131–137.
32. Широкова Т. А., Чермошенцев А. Ю. Исследование точности визирования на точки стереомодели, построенной по космическим снимкам сверхвысокого разрешения, при различном увеличении изображений // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 3 (23). – С. 47–52.
33. Широкова Т. А., Антипов А. В. Методика создания ортофотопланов с применением данных воздушного лазерного сканирования // Вестник СГГА. – 2010. – Вып. 2 (13). – С. 24–31.
34. ОР-75.180.00-КТН-039-08 с изм. 1 Требования к технологическим схемам нефтеперекачивающих станций, профилям и схемам линейной части магистральных нефтепроводов ОАО «АК «Транснефть»». – М. : АК «Транснефть», 2012. – 861 с.
35. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов. ГКИНП (ГНТА)-02-036-02. – М. : ЦНИИГАиК, 2002. – 49 с.
36. Кобзева Е. А. Создание топографических планов масштаба 1 : 2 000 для разработки градостроительной документации средних и малых населенных пунктов // Геоматика. – 2010. – № 3 (8). – С. 76–79.
37. Инструкция по топографической съемке в масштабах 1 : 5 000, 1 : 2 000, 1 : 1 000 и 1 : 500. ГКИНП-02-033-82. – М. : Недра, 1982. – 98 с.

Получено 29.04.2019

© Д. В. Долгополов, Д. В. Никонов, А. В. Полуянова, В. А. Мелкий, 2019

POSSIBILITIES OF VISUAL INTERPRETATION OF TRUNK PIPELINES AND INFRASTRUCTURE FACILITIES USING SATELLITE IMAGES OF HIGH AND ULTRA-HIGH SPATIAL RESOLUTION

Daniil V. Dolgoplov

LLC "I-Teco CC", 14, Kedrova St., Moscow, 117218, Russia, Ph. D., Deputy Head of Geographic Information Systems and Cartography Division, phone: (905)714-13-77, e-mail: d-daniil@yandex.ru

Dmitry V. Nikonov

LLC "I-Teco CC", 14, Kedrova St., Moscow, 117218, Russia, Senior Geospatial Analyst, Geographic Information Systems and Cartography Division, phone: (917)592-52-29, e-mail: nikonov.msk@gmail.com

Alexandra V. Poluyanova

LLC "I-Teco CC", 14, Kedrova St., Moscow, 117218, Russia, Specialist, Geographic Information Systems and Cartography Division, phone: (916)608-93-91, e-mail: Aleksis709@yandex.ru

Vyacheslav A. Melkiy

Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far East Branch of Russian Academy of Science (IMGG FEB RAS), 1b, Nauki St., Yuzhno-Sakhalinsk, 693022, Russia, D. Sc., Leading Researcher, Laboratory of Volcanology and Volcano Hazard, phone: (984)139-70-77, e-mail: vamelkiy@mail.ru

Image recognition specialists perceive the surrounding space as set of fragments of interrelated images that are recognizable objects of natural environment and industrial complexes. Visual interpretation allows to reveal the specific properties of parts, components, production facilities, which are reflected in images and stand out in the analysis of shape, size and other distinctive features of the decryption based on the knowledge and experience of the interpreter. The purpose of the work is to identify the possibilities of high-resolution images to determine the condition of pipelines and organize monitoring, ensuring reliable and safe operation of oil and gas facilities. Researchers in this research used methods of visual interpretation and GIS mapping. In the article the methods of filling corporate geographic information systems with information about the state of pipelines on satellite images of high and ultra-high spatial resolution are developed. The analysis of the images of the visible range obtained by the spacecraft SPOT-6 and GeoEye-1 is carried out, the decoding features for the recognition of technological equipment and infrastructure of trunk pipelines are determined based on the data of the decoding of space images with high spatial resolution and the creation of schemes and models based on them. Studies have shown that images with resolution of 1,5 m/pix can be used in mapping schemes at scale of 1 : 25 000, containing simplified spatial data. Images with resolution of 0,5 m/pix in conjunction with the operational documentation allow you create topographic plans at scale of 1 : 2 000 and perform inventory of the equipment of the linear part of the main pipelines and oil pumping stations.

Key words: Earth's remote sensing, visual observation, interpretation, main pipeline, infrastructure, pipeline transport, geodetic reference, linear coordinate system, monitoring of lands, digital cartography, pattern recognition.

REFERENCES

1. Karpik, A. P., Lisitskiy, D. V., Baykov, K. S., Osipov, A. G., & Savinykh, V. N. (2017) Geospacial discourse of forward-looking and breaking-through way of thinking. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 22(4), 53–67 [in Russian].
2. Lisitskiy, D. V. (2013). Prospects of development of cartography: from the system of "Digital Earth" to the system virtual georeality. *Vestnik SGGA [Vestnik SSGA]*, 2(22), 8–16 [in Russian].
3. Guk, A. P., & Shlyakhova, M. M. (2015). Several aspects of metric realistic 3D models creation remote sensing data. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 4(32), 51–60 [in Russian].
4. Zimin, M. V. (2013). Interim results of implementation of the state contract on building state real estate cadastre base map. *Earth from Space: The Most Effective Solutions*, 16, 20–26.
5. Corbley, K. P. (2006). GeoEye-1 Satellite Coming. *GEOconnexion International Magazine*, P. 50–55. Retrieved from http://www.geoconnexion.com/uploads/geoeye_intv5i8.pdf.
6. Sayt ITTS "SCANEX". (n. d.). Retrieved from <http://new.scanex.ru/data/satellites>.

7. Knizhnikov, Yu. F., Kravtsova, V. I., & Tutubalina, O. V. (2004). *Aerokosmicheskie metody geograficheskikh issledovaniy [Aerospace methods of geographical research]*. Moscow: Akademiya Publ., 336 p. [in Russian].
8. Ris, U. G. (2006). *Osnovy distantsionnogo zondirovaniya [Fundamentals of remote sensing]*. Moscow: Tekhnosfera Publ., 336 p. [in Russian].
9. Zhivichin, A. N. & Sokolov, V. S. (1980). *Deshifrirovaniye fotograficheskikh izobrazheniy [Decoding photographic images]*. Moscow: Nedra Publ., 253 p. [in Russian].
10. Krylov, V. M. (1979). *Deshifrirovaniye aerosnimkov [Interpretation of aerial images]*. Moscow: VIA Publ., 41 p. [in Russian].
11. Bogomolov, L. A. (1976). *Deshifrirovaniye aerokosmosnimkov [Decoding of aerospace images]*. Moscow: Nedra Publ., 145 p. [in Russian].
12. Chandra, A. M., & Gosh, S. K. (2008). *Distantsionnoye zondirovaniye i geograficheskie informatsionnye sistemy [Remote sensing and geographical information system]*. Moscow: Tekhnosfera Publ., 312 p. [in Russian].
13. Baborykin, M. Yu., Zhidilyaeva, E. V., & Pogosyan, A. G. (2014). Interpretation of satellite imagery for the analysis of engineering-geological conditions in the General algorithm surveys at linear objects. *Inzhenernye izyskaniya [Engineering Survey]*, No. 9–10, P. 13–21 [in Russian].
14. Baborykin, M. Yu. (2013). Monitoring of dangerous geological processes at linear objects. *Inzhenernye izyskaniya [Engineering Survey]*, No. 10–11, P. 44–55 [in Russian].
15. Karpik, A. P., Avrunev, E. I., & Varlamov, A. A. (2014). Improvement of methods of quality control of satellite positioning in the creation of geographic information space of territorial education. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos'emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 4/S, 182–186 [in Russian].
16. Guk, A. P., Evstratova, L. G., Khlebnikova, E. P., Altyntsev, M. A., Arbuzov, S. A., Gordienko, A. S., Guk, A. A., & Simonov, D. P. (2013) Development of methods for automated decoding of aerospace images. Decoding signs of images of objects on multispectral space images. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 7, 31–40 [in Russian].
17. Marchukov, V. S., Melkiy, V. A., Igritsov, M. A., Shitikova, M. V., & Dolgoplov, D. E. (1999). The feasibility of technology for automated interpretation of space images for monitoring of land. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos'emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 4, 99–112 [in Russian].
18. Melkiy, V. A., Verkhoturov, A. A., Dolgoplov, D. V., Burykin, A. N., Il'in, V. V., Gal'tsev, A. A., Zaripov, O. M., Novikov, D. G., Belyanina, Ya. P., & Eremenko, I. V. (2015). Environmental monitoring and measures to reduce the level of possible negative impact of pipelines (Sakhalin-2 project) on the environment of Sakhalin island. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos'emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 4, 101–108 [in Russian].
19. Bondur, V. G. (2012). Aerospace monitoring of oil and gas areas and oil and gas facilities. Realities and prospects. In *Aerokosmicheskiy monitoring ob'ektov neftegazovogo kompleksa [Aerospace monitoring of objects of Oil & Gas Complex]* (pp. 15–37). V. G. Bondur (ed.). Moscow: Nauchnyy mir Publ. [in Russian].
20. Ataev, Z. V., & Bratkov, V. V. (2013). Dynamics of residential development of landscapes of the emerging Makhachkala-Caspian agglomeration (based on remote sensing data). *Monitoring. Nauka i tekhnologii [Monitoring. Science and Technology]*, 4, 11–16 [in Russian].
21. Bratkov, V. V., Zaurbekov, Sh. Sh., Klyushin, P. V., & Mar'in, A. N. (2011). Remote sensing of the territory of the North Caucasus. *Zemleustroystvo, kadastr i monitoring zemel' [Land Management, Cadastre and Monitoring of Lands]*, 4(76), 69–80 [in Russian].
22. Khrenov, N. N. (2003). *Osnovy kompleksnoy diagnostiki severnykh truboprovodov. Aerokosmicheskie metody i obrabotka materialov s'emok [Fundamentals of complex diagnostics of*

Northern pipelines. Aerospace methods and processing of survey materials]. Moscow: Gazoylpress Publ., 352 p. [in Russian].

23. Rajesh, H. M. (2004) Application of remote sensing and GIS in mineral resource mapping – An overview. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 99, 83–103.

24. Isaev, A. S., Korovin, G. N., Bartalev, S. A., Ershov, D., Janetos, A., Kasischke, E. S., Shugart, H. H., French, N. H., Orlick, B. E. & Murphy, T. L. (2002). Using remote sensing to assess Russian forest fire carbon emissions. *Climate Change*, 55(1–2), 235–249.

25. Guk, A. P., Prudnikov, V. V., Evstratova, L. G. & Pavlenko, A. V. (2006). Development of methods for operational monitoring and updating maps and plans for satellite imagery with high resolution. *Vestnik SSGA [Vestnik SSGA]*, 11, 177–183 [in Russian].

26. Torsunova, O. F. (2017). Research of possibility of using satellite images to determine the boundaries of zones with special conditions of use of territories. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 22(3), 180–193 [in Russian].

27. Vakhrusheva, A. A. (2017). Technology of positioning in real time. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 22(1), 170–177 [in Russian].

28. Torsunova, O. F. (2018). Use of satellite imagery data very high resolution for resolve the problems of territorial zoning. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 23(2), 219–230 [in Russian].

29. Antipov, I. T., Zyat'kova, L. K. & Khlebnikova, T. A. (2012). Estimation of accuracy of measuring three-dimensional video footage. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos'emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 2/1, 52–57 [in Russian].

30. Guk, A. P., Prudnikov, V. V. & Pavlenko, A. V. (2005). Development of methods for updating maps and plans for high-resolution satellite images. In *Sbornik materialov GEO-Sibir'-2005: T. 5 [Proceedings of GEO-Siberia-2005: Vol. 5]* (pp. 37–42). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].

31. Avrunov, E. I., Chernov, A. V., Dubrovskiy, A. V., Komissarov, A. V. & Pasechnik, E. Yu. (2018). Technological aspects of construction of 3D-Models of engineering structures in cities of the Arctic region of the Russian Federation. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov [Izvestiya of Tomsk Polytechnic University. Engineering of Geo-Resources]*, 329(7), 131–137 [in Russian].

32. Shirokova, T. A. & Chermoshentsev, A. Yu. (2013). Study of the accuracy of the point-of-view of stereo model constructed from ultra-high-resolution satellite images with different magnification. *Vestnik SSGA [Vestnik SSGA]*, 3(23), 47–52 [in Russian].

33. Shirokova, T. A. & Antipov, A. V. (2010). Method of creation of orthophotos with the use of air laser scanning data. *Vestnik SSGA [Vestnik SSGA]*, 2(13), 24–31 [in Russian].

34. OR-75.180.00-KTN-039-08. (2012). Requirements to technological schemes of oil pumping stations, profiles and schemes of the linear part of Open Society Public company "Transneft" oil trunk pipelines]. Moscow: AK "Transneft" Publ., 861 p. [in Russian].

35. GKNP (GNTA)-02-036-02. (2002). Instruction on photogrammetric works for the creation of digital topographic maps and plans. Moscow: CNIIGAiK Publ., 49 p. [in Russian].

36. Kobzeva, E. A. (2010). Creation of topographic plans of scale 1 : 2 000 for the development of urban planning documentation of medium and small settlements. *Geomatika [Geomatic]*, 3(8), 76–79 [in Russian].

37. GKNP-02-033-82. (1982). Instructions for topographic survey at scale 1: 5 000, 1 : 2 000, 1 : 1 000 and 1 : 500]. Moscow: Nedra Publ., 98 p. [in Russian].

Received 29.04.2019

© D. V. Dolgoplov, D. V. Nikonov, A. V. Poluyanov, V. A. Melkiy, 2019