

УДК 528.8:621.644

DOI: 10.33764/2411-1759-2020-25-3-151-159

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА

*Даниил Валентинович Долгополов*

АО «СпейсИнфо Геоматикс», 127490, Россия, г. Москва, ул. Декабристов, 51, кандидат технических наук, технический директор, тел. (905)714-13-77, e-mail: daniil.dolgopolov@gmail.com

В статье рассматриваются основные подходы к использованию материалов аэрокосмической съемки при формировании геоинформационного пространства территорий строительства и эксплуатации трубопроводного транспорта. Одной из основных проблем при наполнении корпоративных геоинформационных систем трубопроводного транспорта является определить состав данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), необходимый и достаточный для решения производственных задач подразделений, а также требования к периодичности их обновления. Цель настоящей работы – выделить базовые потребности в использовании данных ДЗЗ при формировании геоинформационного пространства трубопроводного транспорта и определить требования к материалам ДЗЗ для их удовлетворения. Отдельно в статье рассматривается возможность использования материалов ДЗЗ как источника информации при актуализации векторных пространственных данных, приводятся результаты анализа возможностей дешифрирования объектов трубопроводного транспорта и инфраструктуры по материалам аэрокосмической съемки разного пространственного разрешения.

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование, аэрокосмическая съемка, геоинформационное пространство, магистральные трубопроводы, объекты трубопроводного транспорта.

### *Введение*

Изучение территории прохождения магистральных трубопроводов (МТ), оценка современного состояния природно-технической среды в настоящее время уже не могут осуществляться традиционными методами, поскольку масштабы и темпы изменения природной среды в зонах строительства и эксплуатации трубопроводной системы настолько велики, что охватить подробным наземным изучением столь протяженные территории в единый момент времени не представляется возможным [1–4].

Данные дистанционного зондирования Земли (ДДЗЗ), полученные с космических носителей, позволяют организовать информационное обеспечение для оперативного эффективного мониторинга протяженных зон, через которые проходят магистральные трубопроводы [5–7].

Данные дистанционного зондирования должны использоваться в корпоративных ГИС трубопроводного транспорта в качестве объективного, постоянно пополняемого источника информации о местоположении объектов,

а также как возможный источник актуализации векторных пространственных данных [8–10]. Целью настоящего исследования было определить базовые потребности в материалах дистанционного зондирования Земли, которые возникают при формировании геоинформационного пространства трубопроводного транспорта, в том числе, при создании корпоративных геоинформационных систем, а также сформировать требования к этим материалам.

### *Результаты исследований*

ДДЗЗ могут быть использованы при решении широкого круга задач производственных подразделений по различным направлениям деятельности, в том числе в рамках технической эксплуатации, проектирования, капитального строительства и реконструкции, обеспечения безопасности, управления собственностью, земельно-имущественными отношениями и т. д.

Территория, обеспечиваемая материалами дистанционного зондирования Земли, должна включать линейную часть трубопроводов, площадные объекты, а также соответ-

ствующие зоны интересов: охранные зоны, зоны минимально допустимых расстояний, иные буферные зоны в зависимости от конкретных прикладных задач, реализуемых в рамках корпоративных ГИС. Помимо этого, данными дистанционного зондирования могут обеспечиваться другие территории, в том числе зоны проектируемых и строящихся объектов [11, 12].

При выполнении различных видов дистанционных наблюдений природно-технической среды аэрокосмическими средствами излучение объектов регистрируется с использованием различных методов и различной по принципу работы съемочной аппаратуры (рис. 1).

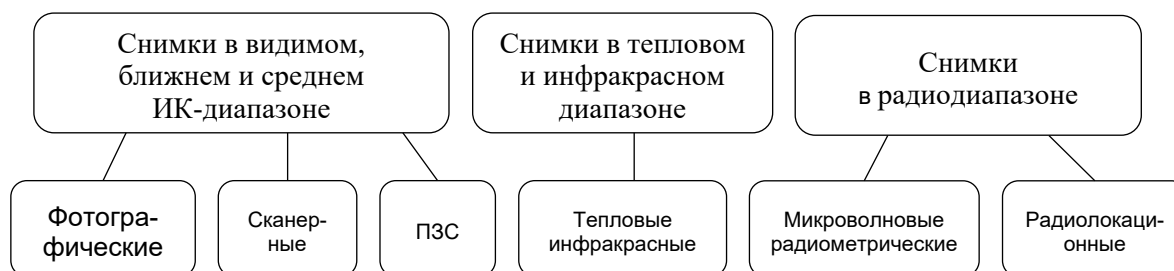


Рис. 1. Классификация дистанционных методов по технологии получения информации

Возможности использования результатов мониторинга зависят, главным образом, от спектрального диапазона съемки, который отображает физическую сущность характеристик объектов, зафиксированных на снимках, и от технологии получения этих снимков, определяющей их качество, изобразительные и измерительные свойства [13]. Возможный состав данных дистанционного зондирования по типам съемки, диапазонам и пространственному разрешению приведен на рис. 2.

Основным источником информации для решения наибольшего числа задач являются аэрокосмические изображения, получаемые в оптическом диапазоне длин волн. В то же время для решения отдельных задач могут быть востребованы данные космической радиолокационной съемки (задачи определения динамики поверхности Земли, объектов МТ в зонах сложных природно-климатических условий), тепловой съемки, материалы воздушного лазерного сканирования (задачи построения цифровой модели рельефа (ЦМР) и последующего анализа его изменения) [14–18].

Качество аэрокосмической информации видимого диапазона напрямую зависит от охвата территории, пространственного и временного разрешения съемочных систем, последнее определяется повторяемостью съемок территории, обеспечивая данными, необходимыми для решения задач картографи-

рования динамики состояния природно-технической среды [19–21]. Состав данных ДЗЗ предполагает три основных массива данных, которые условно можно разбить на уровни в зависимости от пространственного разрешения материалов ДЗЗ.

I уровень. Обзорное покрытие космической съемкой среднего разрешения (5–30 м) на территорию/регион деятельности компании. Для создания покрытия первого уровня могут быть использованы, например, данные Landsat и Sentinel, являющиеся наиболее доступными.

II уровень. Базовое покрытие космической съемкой высокого разрешения (1–5 м) линейной части и прилегающих территорий объектов инфраструктуры МТ с заданной степенью актуальности и пространственного разрешения в соответствии с потребностями пользователей.

III уровень. Детальные материалы дистанционного зондирования сверхвысокого разрешения (< 1 м), полученных с различного типа носителя (космическая съемка, аэросъемка, съемка с БПЛА), выполняемых по запросам подразделений компании на существующие, строящиеся и проектируемые объекты, получаемые в рамках существующих бизнес-процессов: капитального строительства, реконструкции, эксплуатации, мониторинга трубопроводных систем, мероприятий по обеспечению промышленной и экологической безопасности и т. д.

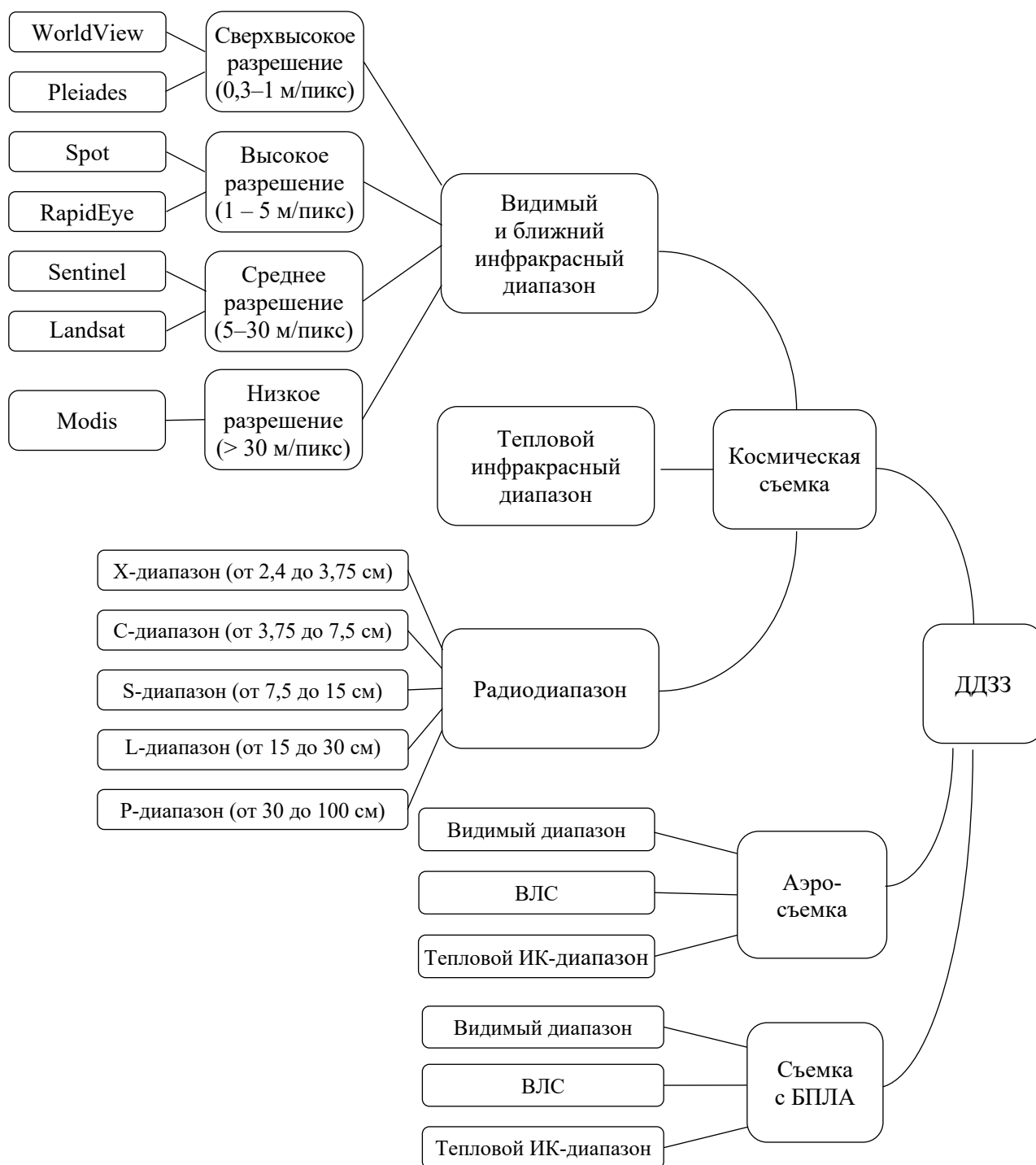


Рис. 2. Возможный состав данных дистанционного зондирования по типам съемки, диапазонам и пространственному разрешению

Перспективным для использования в корпоративных ГИС перечень космических съемочных систем по уровням пространственного разрешения приведен в табл. 1.

Среди базовых потребностей в использовании данных ДЗЗ при формировании геоинформационного пространства трубопро-

водного транспорта можно отметить:

- формирование базовой мультимасштабной пространственной основы;
- обновление единой цифровой картографической основы;
- инвентаризация существующих объектов трубопроводной сети.

Таблица 1

## Съемочные системы по уровням пространственного разрешения

Тип аэрокосмической съемки	Пространственное разрешение, м/пикс	Съемочная система
1. Аэрофотосъемка	0,06	Аэрофотосъемка
2. Космическая съемка сверхвысокого разрешения (0,3–1 м/пикс)	0,31	WorldView 3,4
	0,46	GeoEye
	0,5	Pleiades-1A/1B
	2,5	SPOT 5
3. Космическая съемка высокого разрешения (1–5 м/пикс)	3,5	PlanetScope
	10,0	Sentinel-2A, 2B
4. Космическая съемка среднего разрешения (5–30 м/пикс)	15,0	Landsat 8
	250,0	Terra (Modis)
5. Космическая съемка низкого разрешения (> 30 м/пикс)		

**Формирование  
базовой мультимасштабной  
пространственной основы**

Данные дистанционного зондирования Земли, в первую очередь материалы космической съемки в видимом диапазоне, могут использоваться в геоинформационных системах для пространственной основы в качестве дополнительного к картографическому представлению, объективного, постоянно пополняемого и актуализируемого источника информации о территории местоположения объектов трубопроводного транспорта а также как возможный источник актуализации векторных пространственных данных, в том числе единой цифровой картографической основы.

Для формирования базовой мультимасштабной пространственной основы могут быть использованы следующие наборы данных ДЗЗ:

- космическая съемка среднего разрешения от 5–30 м – обзорное покрытие космической съемкой, данные должны быть представлены на всю территорию России;

- космическая съемка высокого разрешения (1–5 м) – базовое покрытие космической съемкой линейной части и прилегающих территорий объектов инфраструктуры МТ (не менее 10 км от оси МТ);

- космическая съемка сверхвысокого разрешения (< 1 м), используется для детализации базовой пространственной основы вдоль трассы трубопровода. Должна также

использоваться космическая съемка, выполняемая по запросам подразделений компании на существующие, строящиеся и проектируемые объекты, получаемые в рамках существующих бизнес-процессов компании.

**Обновление единой цифровой  
картографической основы**

Единая цифровая картографическая основа должна поддерживаться в актуальном состоянии, в первую очередь в зоне интересов подразделений компании, в т. ч. на территориях прохождения МТ. Данные космической съемки, наряду с другими методами инструментального дистанционного обследования (цифровая аэрофотосъемка (ЦАФС), воздушное лазерное сканирование (ВЛС) и т. д.), могут являться одним из основных источников обновления единой цифровой картографической основы [22].

В то же время специфика современных данных дистанционного зондирования такова, что для обеспечения задачи обновления единой цифровой картографической основы данных одной съемочной системы недостаточно. Связано это с комплексом причин: данные сверхвысокого разрешения (1 м на пиксель и крупнее) имеют высокую стоимость, небольшой пространственный охват, качество и само наличие данных во многом определяется наличием облачности, временем года съемки и т. д.

Для обновления среднemasштабных и мелкомасштабных карт должна использоваться

космическая съемка среднего разрешения. Для обновления крупномасштабных карт – космическая съемка высокого разрешения.

Для уточнения/детализации базовой картографической основы вдоль коридора трассы могут использоваться данные космической съемки сверхвысокого разрешения (< 1 м), наряду с другими методами инструментального дистанционного обследования (АФС, ВЛС и т. д.).

Ключевые требования к данным ДЗЗ: актуальность, пространственное разрешение, точность материалов ДЗЗ должны соответствовать основным положениям по созданию и обновлению карт по материалам космической съемки.

### **Инвентаризация существующих объектов МТ**

Базы пространственных данных об объектах МТ должны поддерживаться в актуальном

состоянии. Для решения задачи инвентаризации и контроля фактического положения объектов МТ целесообразно использовать данные космической съемки сверхвысокого разрешения (< 1 м), а также материалы АФС и съемки с БПЛА, обеспечивающие необходимую точность и детализацию для корректного распознавания объектов и уточнения их пространственного положения, состояния объектов и окружающей обстановки [23–25].

Учитывая высокую стоимость пространственных данных сверхвысокого разрешения на протяженную территорию, при выборе материалов ДЗЗ следует учитывать возможность получения необходимого результата, так как распознавание объектов трубопроводных сетей связано с разрешением пространственных данных (табл. 2).

В связи с регулярными работами по строительству и реконструкции трубопроводной системы данные работы должны проводиться систематически.

Таблица 2

Возможности дешифрирования объектов трубопроводного транспорта и инфраструктуры по материалам аэрокосмической съемки

Возможность распознавания объектов трубопроводного транспорта на аэрокосмических изображениях			Объекты трубопроводного транспорта и инфраструктуры	Тип геометрии
1,5 м/пикс	0,5 м/пикс	0,1 м/пикс		
Да	Да	Да	Антенно-мачтовые сооружения	полигональная
			Громоотводы	полигональная
			Защитные валы резервуарных парков	линейная
			Здания	полигональная
			КПП СОД	линейная
			Мачты освещения	полигональная
			Мосты	полигональная
			Столбы фермовые	точечная
			Оси дорог, улиц и проездов	линейная
			Оси технологических эстакад	линейная
			Ось МТ	линейная
			Пересечения МТ	точечная
			Пересечения вдоль трассовых проездов	точечная
			Противоэрозионные валы	линейная
			Резервуары крупные	полигональная
			Сооружения	полигональная
			НПС	точечная
Технологическое оборудование контур	полигональная			
Схематический контур площадки	полигональная			

Возможность распознавания объектов трубопроводного транспорта на аэрокосмических изображениях			Объекты трубопроводного транспорта и инфраструктуры	Тип геометрии
1,5 м/пикс	0,5 м/пикс	0,1 м/пикс		
Нет			Аншлаги	линейная
			Вантузные тройники	точечная
			Верх/низ отсыпки площадки	линейная
			Водопрпускные трубы (ВПТ)	линейная
			Громоотводы	точечная
			Задвижки больших диаметров	точечная
			Защитные футляры	линейная
			Колодцы отбора давления	точечная
			Мачты освещения	точечная
			Ограждения	линейная
			Опоры ЛЭП (столбы)	точечная
			Опоры ограждения	точечная
			Оси пешеходных дорожек	линейная
			Площадки обслуживания	полигональная
			Покрытия	полигональная
			Покрытия оборудованных переездов через МТ	полигональная
			Резервуары	полигональная
			Технологические эстакады	полигональная
			Технологическое оборудование элементы	полигональная
			Трансформаторы	полигональная
Технологические трубопроводы	линейная			
Нет			Значения километража магистральных задвижек	линейная
			Дорожные знаки и указатели	точечная
			Задвижки небольших диаметров	точечная
			Километровые столбы	точечная
			КИП	точечная
			Монолитные реперы с защитными колодцами	точечная
			Охранные таблички	точечная

### Заключение

В результате исследования были получены следующие основные результаты.

1. Данные ДЗЗ необходимы при формировании геоинформационного пространства трубопроводного транспорта как источник актуальной и объективной информации. В зависимости от пространственного разрешения материалы ДЗЗ можно разделить на три уровня: обзорное покрытие космической съемкой среднего разрешения; базовое покрытие линейной части и прилегающих территорий и детальные материалы дистанционного зондирования.

2. Выявлены базовые потребности в использовании данных ДЗЗ при построении

корпоративных ГИС трубопроводного транспорта и определены требования к материалам аэрокосмической съемки для следующих задач:

- формирование базовой мультимасштабной пространственной основы;
- обновление единой цифровой картографической основы;
- инвентаризация существующих объектов трубопроводной сети.

3. Проведенный анализ показал возможности дешифрирования объектов трубопроводного транспорта и инфраструктуры по материалам аэрокосмической съемки с пространственным разрешением от 1,5 м/пикс и выше (см. табл. 2).



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аэрокосмический мониторинг объектов нефтегазового комплекса / под ред. В. Г. Бондура. – М. : Научный мир, 2012. – 560 с.
2. Бондур В. Г. Аэрокосмические методы и технологии мониторинга нефтегазоносных территорий и объектов нефтегазового комплекса // Исследование Земли из космоса. – 2010. – № 6. – С. 3–17.
3. Хренов Н. Н. Основы комплексной диагностики северных трубопроводов. Аэрокосмические методы и обработка материалов съемок. – М. : Газойл-пресс, 2003. – 352 с.
4. Лисин Ю. В., Александров А. А. Мониторинг магистральных нефтепроводов в сложных геологических условиях // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2013. – № 2 (10). – С. 22–27.
5. Лисин Ю. В. Создание системы координатно-временного обеспечения магистральных нефтепроводов // Изв. вузов. Машиностроение. – 2013. – № 2. – С. 73–79.
6. Balogun L. F., Matori A. N., Lawal D. U. Geovisualization of Subsurface Pipelines: A 3D Approach // Modern Appl. Sci. – 2011. – Vol. 5. – № 4. – P. 158–165.
7. Assistant Design System of Urban Underground Pipeline Based on 3D Virtual City / J. He, Y. Zou, Y. Ma, G. Chen // Procedia Environmental Sciences – 2011. – Vol. 11. – P. 1352–1358.
8. Карпик А. П., Лисицкий Д. В. Электронное геопространство – сущность и концептуальные основы // Геодезия и картография. – 2009. – № 5. – С. 41–44
9. Аврунев Е. И., Карпик А. П., Мелкий В. А. Принципы формирования единого геопространства территорий [Электронный ресурс] // Проблемы геологии и освоения недр. Труды XXIII Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 120-летию со дня рождения академика К.И. Сатпаева, 120-летию со дня рождения профессора К. В. Радугина : в 2-х т. – 2019. – Т. 1. – С. 428–429. – Режим доступа: conference\_tpu-2019-C11\_V1.pdf.
10. Возможности визуального дешифрирования магистральных трубопроводов и объектов инфраструктуры по спутниковым изображениям высокого и сверхвысокого пространственного разрешения / Д. В. Долгополов, Д. В. Никонов, А. В. Полуянова, В. А. Мелкий // Вестник СГУГиТ. – 2019. – Т. 24, № 3. – С. 65–81.
11. Марахтанов В. П., Топчиев А. Г. Технология геотехнического мониторинга магистральных газопроводов на территории криолитозоны Западной Сибири // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 9. – С. 131–136.
12. Корсей С. Г., Дьякова Н. Б. ГИС-технологии в трубопроводном транспорте // ArcReview. – 2002. – № 2 (21). – С. 17–18.
13. Мониторинг природной среды аэрокосмическими средствами : учеб. пособие для студентов вузов / В. А. Малинников, А. Ф. Стеценко, А. Е. Алтынов, С. М. Попов. – М. : МИИГАиК, 2008. – 145 с.
14. Авиационное тепловизионное зондирование геологической среды / К. М. Каримов, В. Л. Онегов, С. Н. Кокутин, В. Н. Соколов, Л. К. Каримова, В. Ф. Васев // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2009. – № 5. – С. 24–31.
15. Дистанционное тепловизионное зондирование Земли при решении геологических задач / К. М. Каримов, В. Л. Онегов, С. Н. Кокутин, В. Н. Соколов, В. Ф. Васев // Георесурсы. – 2009. – № 1 (29) – С. 38–42.
16. Ковалевский Н. П., Томшина Т. В. Возможности мониторинга потенциально опасных участков магистрального углеводородного трубопровода на основе космических данных дистанционного зондирования Земли // Космонавтика и ракетостроение. – 2015. – № 5 (84). – С. 136–140.
17. Баборыкин М. Ю. Мониторинг опасных геологических процессов на линейных объектах // Инженерные изыскания. – 2013. – № 10–11. – С. 44–55.
18. Баборыкин М. Ю., Жидиляева Е. В., Погосян А. Г. Факторы геологической опасности при проектировании и эксплуатации трубопроводов и их мониторинг // Газовая промышленность. – 2015. – № 11 (730). – С. 40–46.
19. Савиных В. П., Кучко А. С., Стеценко А. Ф. Аэрокосмическая фотосъемка : учеб. для вузов. – М. : Картгеоцентр-Геодезиздат, 1997. – 378 с.
20. Дворкин Б. А., Дудкин С. А. Новейшие и перспективные спутники дистанционного зондирования Земли // Геоматика. – 2013. – № 2 (19). – С. 18–38.
21. Избранные проблемы и перспективные вопросы землеустройства, кадастров и развития территорий – 2017 : коллективная монография / В. В. Абросимов, Е. И. Аврунев, О. М. Антонова и др. / Отв. ред. А. П. Сизов. – М. : Русайнс, 2018. – 262 с.
22. Рыльский И. А. Лазерное сканирование и космическая съемка – соревнование или парт-

нерство // Геоматика. – 2016. – № 1 (30). – С. 10–18.

23. Zirnig W., Hausamann D., Schreier G. High-Resolution Remote Sensing Used to Monitor Natural Gas Pipelines // *Earth Observation Magazine*. – 2002. – No. 11. – P. 12–17.

24. Monitoring of gas pipelines – a civil UAV application / D. Hausamann, W. Zirnig, G. Schreier,

P. Strobl // *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*. – 2005. – Vol. 77, No. 5. – P. 352–360. <https://doi.org/10.1108/00022660510617077>.

25. Оценка точности 3D-моделей, построенных с использованием беспилотных авиационных систем / Е. И. Аврунев, Х. К. Ямбаев, О. А. Оприцова, А. В. Чернов, Д. В. Гоголев // *Вестник СГУГиТ*. – 2018. – Т. 23, № 3. – С. 211–228.

Получено 20.03.2020

© Д. В. Долгополов, 2020

## USE OF EARTH REMOTE SENSING DATA FOR FORMATION OF GEODATA SPACE OF PIPELINE TRANSPORT

*Daniil V. Dolgoplov*

JSC "SpacInfo Geomatics", 51, Dekabristov St., Moscow, 127490, Russia, Ph. D., Technical Director, phone: (905)714-13-77, e-mail: daniil.dolgoplov@gmail.com

The article considers the main approaches to the use of aerospace survey materials in the formation of geoinformation space of territories of construction and operation of pipeline transport. An important problem when filling corporate geoinformation systems for pipeline transport is the task of determining the composition of remote sensing Data, as well as the requirements for the frequency of their updating. The purpose of this work is to identify the basic needs for using remote sensing data in the formation of the geoinformation space of pipeline transport and to determine the requirements for remote sensing materials to meet them. The article also considers the possibility of using remote sensing materials as a source of information when updating vector spatial data, and provides the results of analyzing the possibilities of decrypting pipeline transport and infrastructure objects based on aerospace survey materials of different spatial resolutions.

**Key words:** remote sensing, aerospace surveying, geo-information space, main pipelines, objects of pipeline transport.

### REFERENCES

1. Bondur, V. G. (Ed.). (2012). *Aerokosmicheskiy monitoring ob"ektov neftegazovogo kompleksa [Aerospace monitoring of Oil and Gas complex]*. Moscow: Scientific World Publ., 560 p. [in Russian].
2. Bondur, V. G. (2010). Aerospace monitoring of oil and gas areas and oil and gas facilities. *Issledovanie Zemli iz kosmosa [Exploring the Earth from Space]*, 6, 3–17 [in Russian].
3. 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: Gazoyl-press Publ., 352 p. [in Russian].
4. Lisin, Yu. V., & Aleksandrov, A. A. (2013). Monitoring of Main Oil Pipelines in Difficult Geological Conditions. *Nauka i tekhnologii truboprovodnogo transporta nefti i nefteproduktov [Science and Technology of Pipeline Transport of Oil and Oil Products]*, 2(10), 22–27 [in Russian].
5. Lisin, Yu. V. (2013). Creation of a System for Coordinate and Time Support of Main Oil Pipelines. *Izvestiya vuzov. Mashinostroenie [Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building]*, 2, 69–75 [in Russian].
6. Balogun, L. F., Matori, A. N., & Lawal, D. U. (2011). Geovisualization of Subsurface Pipelines: A 3D Approach. *Modern Applied Science*, 5(4), 158–165.
7. He, J., Zou1, Y., Ma, Y., & Chen, G. (2011). Assistant Design System of Urban Underground Pipeline Based on 3D Virtual City. *Procedia Environmental Sciences*, 11, 1352–1358.
8. Karpik, A. P., & Lisitskiy, D. V. (2009). Electronic geospace – essence and conceptual framework. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 5, 41–44 [in Russian].



9. Avrunev, E. I., Karpik, A. P., & Melkiy, V. A. (2019). Principles of forming unified geospatial area. In: *Problems of geology and subsoil development*. In *Sbornik Trudov XXIII Mezhdunarodnogo simpoziuma imeni akademika M. A. Usova studentov i molodykh uchenykh, posvyashchennogo 120-letiyu so dnya rozhdeniya akademika K. I. Satpaeva, 120-letiyu so dnya rozhdeniya professora K. V. Radugina: T. 1. Problemy geologii i osvoeniya nedr [Proceedings of XXIII International Symposium named after academician M. A. Usov, students and young scientists, dedicated to the 120th anniversary of the birth of academician K. I. Satpayev, the 120th anniversary of the birth of Professor K. V. Radugin: Vol. 1. Problems of Geology and Subsoil Development]* (pp. 428-429). Retrieved from conference\_tpu-2019-C11\_V1.pdf [in Russian].
10. Dolgoplov, D. V., Nikonov, D. V., Poluyanov, A. V., & Melkiy, V. A. (2019). Possibilities of visual interpretation of trunk pipelines and infrastructure facilities using satellite images of high and ultra-high spatial resolution. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 24(3), 65–81 [in Russian].
11. Marakhtanov, V. P., & Topchiev, A. G. (2016). Technology for geotechnical monitoring of main gas pipelines on the territory the permafrost zone of Western Siberia. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya [Advances in Current Natural Sciences]*, 9, 131–136 [in Russian].
12. Korsev, S. G., & Dyakova, N. B. (2002). GIS technologies in Pipeline transport. *ArcReview*, 2(21), 17–18 [in Russian].
13. Malinnikov, V. A., Stetsenko, A. F., Altynov, A. E., & Popov, S. M. (2008). *Monitoring prirodnoy sredy aerokosmicheskimi sredstvami [Monitoring of the natural environment by aerospace means]*. Moscow: MIIGAiK Publ., 145 p. [in Russian].
14. Karimov, K. M., Onegov, V. L., Kokutin, S. N., Sokolov, V. N., Karimova, L. K., & Vasev, V. F. (2009). Aerial thermal image sensing of geological environment. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy [Geology, Geophysics, and Development of Oil and Gas Fields]*, 5, 24–31 [in Russian].
15. Karimov, K. M., Onegov, V. L., Kokutin, S. N., Sokolov, V. N., & Vasev, V. F. (2009). Remote thermal image sensing of the earth in geological exploration. *Georesursy [Georesources]*, 1(29), 38–42 [in Russian].
16. Kovalevsky, N. P., & Tomshina, T. V. (2015). Possibilities of Monitoring Potentially Dangerous Sites of the Major Transmission Hydrocarbon Pipeline on the Basis of Space-Based Earth Observation Data. *Kosmonavtika i raketostroenie [Cosmonautics and Rocket Engineering]*, 5(84), 136–140 [in Russian].
17. Baborykin, M. Yu. (2013). Monitoring of hazardous geological processes at linear objects. *Inzhenernye izyskaniya [Engineering Survey]*, No 10-11, 44–55 [in Russian].
18. Baborykin, M. Yu., Zhidilyaeva, E. V., & Pogosyan, A. G. (2015). Factors of geological hazard in the design and operation of pipelines and their monitoring. *Gazovaya promyshlennost' [Gas Industry]*, 11(730), 40–46 [in Russian].
19. Savinykh, V. P., Kuchko, A. S., & Stetsenko, A. F. (1997). *Aerokosmicheskaya fotos'emka [Aerospace photography]*. Moscow: Kartgeotsentr-Geodezizdat Publ., 378 p. [in Russian].
20. Dvorkin, B. A., & Dudkin, S. A. (2013). The newest and most promising remote sensing satellites of the Earth. *Geomatika [Geomatics]*, 2(19), 18–38 [in Russian].
21. Abrosimov, V. V., Avrunev, E. I., & Antonova, O. M. (2018). *Izbrannye problemy i perspektivnye voprosy zemleustroystva, kadaстров i razvitiya territoriy – 2017 [Selected problems and perspective issues of land management, cadastre and development of territories – 2017]*. A.P. Sizov (Ed.). Moscow: Rusayns Publ., 262 p. [in Russian].
22. Ryl'skiy, I. A. (2016). Laser scanning and space photography-competition or partnership. *Geomatika [Geomatics]*, 1(30), 10–18 [in Russian].
23. Zirrig, W., Hausamann, D., & Schreier, G. (2002). High-Resolution Remote Sensing Used to Monitor Natural Gas Pipe-lines. *Earth Observation Magazine*, 11, 12–17.
24. Hausamann, D., Zirrig, W., Schreier, G. & Strobl, P. (2005). Monitoring of gas pipelines – a civil UAV application. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 77(5), 352–360.
25. Avrunev, E. I., Yambaev, H. K., Opritova, O. A., Chernov, A. V., & Gogolev, D. V. (2018). Assessment of the accuracy of 3D models built using unmanned aircraft systems. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 23(2), 211–228 [in Russian].

Received 20.03.2020

© D. V. Dolgoplov, 2020