

## **ПОДБОР ПАРАМЕТРОВ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЛЕСНЫХ МАССИВОВ В РАЙОНЕ РАЗМЕЩЕНИЯ НЕФТЕПРОВОДОВ**

***Карина Юрьевна Вовк***

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, обучающийся, тел. (961)226-91-46, e-mail: boringlife32@gmail.com

***Мария Михайловна Шляхова***

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования, тел. (960)779-62-25, e-mail: plazma\_space@mail.ru

***Валерия Вячеславовна Дедкова***

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, аспирант, тел. (383)361-08-66, e-mail: v.v.dedkova@sgugit.ru

В статье рассмотрен вопрос необходимости проведения мониторинга нефтяных трубопроводов с использованием данных дистанционного зондирования. Приведена классификация космических снимков по пространственному разрешению, наглядно продемонстрированы различия между ними. Обосновано использование снимков сверхвысокого разрешения, так как данный вид пространственного разрешения позволяет наиболее детально наблюдать изменения экологического состояния поверхности Земли. Представлен перечень космических аппаратов, обладающих вышеперечисленными возможностями. Кроме того, отдельно выделено направление использования радиолокационной съемки в целях мониторинга за нефтегазовой промышленностью.

**Ключевые слова:** мониторинг, лесные массивы, магистральные нефтепроводы, пространственное разрешение, космические снимки, радиолокационная съемка

## **SELECTION OF SPACE IMAGES PARAMETERS FOR MONITORING WOODLANDS IN THE AREA OF LOCATION OF OIL PIPELINES**

***Karina Y. Vovk***

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Student, phone: (961)226-91-46, e-mail: boringlife32@gmail.com

***Maria M. Shlyakhova***

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Photogrammetry and Remote Sensing, phone: (960)779-62-25, e-mail: plazma\_space@mail.ru

***Valeriya V. Dedkova***

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D. Student, Department of Photogrammetry and Remote Sensing, phone: (383)361-08-66, e-mail: v.v.dedkova@sgugit.ru

The article discusses why it is necessary to monitor oil pipelines using remote sensing data. The classification of space images according to spatial resolution is given, the differences between

them are clearly demonstrated. The use of ultra-high resolution images has been substantiated, since this type of spatial resolution allows the most detailed observation of the ecological state of the Earth's surface. A list of spacecraft with the above capabilities is presented. In addition, the direction of using radar surveys for monitoring the oil and gas industry is highlighted separately.

**Keywords:** monitoring, woodlands, main oil pipelines, spatial resolution, satellite images, radar imagery

### *Введение*

Несмотря на то, что добыча нефти в Российской Федерации за период с января по август 2020 года снизилась на 7,3 % по сравнению с аналогичным периодом в 2019 г. и составила 346,075 млн т., проблема загрязнения окружающей среды в результате деятельности нефтяной отрасли остается крайне актуальной [1].

Добыча, транспортировка, переработка и утилизация сырья провоцирует выброс вредных веществ, которые оседают в почве, в водоемах и в воздухе. Помимо этого, нефть является продуктом длительного распада и очень быстро покрывает поверхность почв плотным слоем нефтяной пленки, которая препятствует доступу воздуха и света.

Как известно, полезные ископаемые добывают как на поверхности земли, так и в ее недрах, используя при этом разные способы. На сегодняшний день различают два основных способа добычи нефти по принципу физического воздействия: фонтанный и механизированный. При использовании последнего во время толчков происходит оседание грунта, а отходы попадают вглубь почвы.

Кроме того, неизбежны аварии на нефтепроводах, общая протяженность которых на территории Российской Федерации составляет более 1 млн километров. Как следствие, возможны взрывы и пожары, что также негативно влияет на окружающую среду, преобразуя естественные природные комплексы в токсичные. Поэтому важно обеспечить надежность работы трубопроводных систем путем своевременного техобслуживания, ремонта и постоянного мониторинга.

Целью данной работы является исследование параметров космических снимков, подходящих для мониторинга нефтепроводов.

### *Методы и материалы*

Для мониторинга экологического состояния территорий, где расположены объекты нефтегазового производства, активно используют данные дистанционного зондирования. С помощью таких данных становится возможным не только выявлять нефтяные загрязнения, но и предупреждать их появление [2].

Мониторинг представляет собой комплекс мер по слежению за состоянием территорий, отдельных объектов или явлений, выявлению изменений, прогнозированию развития явлений и выработке рекомендаций по устранению нежелательных процессов. Несомненно, при организации мониторинга определенного класса объектов необходимо учитывать такие факторы, как периодичность, гене-

рализация, детальность, точность определения пространственных координат, а также спектральный диапазон и количество спектральных каналов снимка [3].

Для обнаружения нефтяных загрязнений, помимо очевидных черных пятен на поверхности, наблюдают за изменениями электромагнитного излучения на снимках [4]:

- в местах прорыва трубопровода возникают тепловые контрасты;
- из-за разности коэффициентов спектральных яркостей появляются контрасты между аномальными областями загрязнений и общим фоном снимка (чем выше детальность съемки, тем более мелкие загрязнения получается обнаружить);
- нефтяные загрязнения на траве и открытой почве изменяют яркостные характеристики в дифференциальных спектральных диапазонах.

Регистрировать вышеперечисленные факторы позволяют современные мультиспектральные космические снимки, которые различаются по пространственному разрешению (рис. 1) [5].

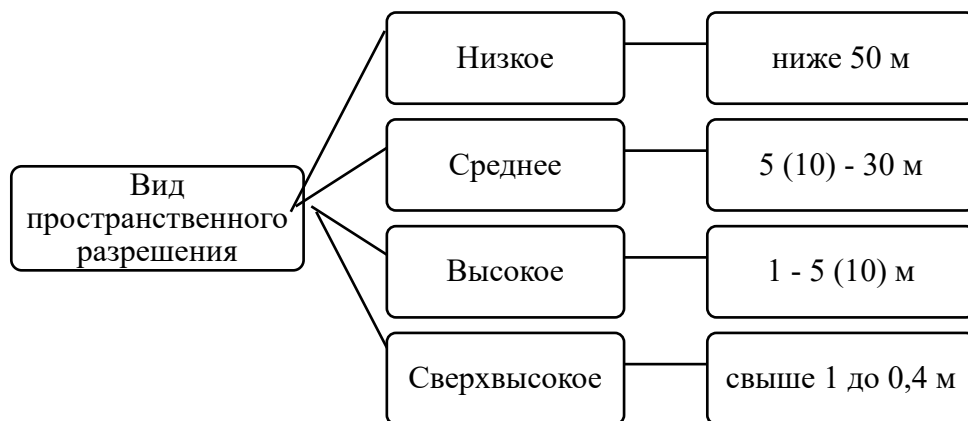


Рис. 1. Классификация космических снимков по пространственному разрешению

На рис. 2 показано наглядное отличие разрешений снимков одной и той же территории [6].

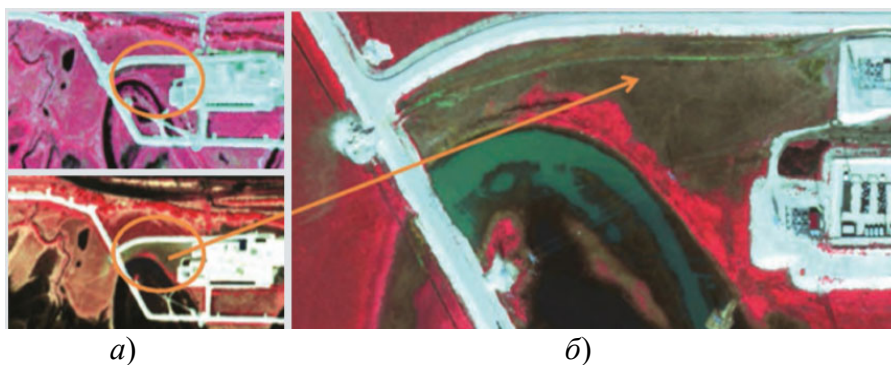


Рис. 2. Пример выявления нефтезагрязненного участка на снимках с различным пространственным разрешением:

а) среднее разрешение (5 м); б) сверхвысокое разрешение (0,5 м)

Как было упомянуто ранее, для мониторинга последствий деятельности нефтедобывающей отрасли наилучшим решением будет использование снимков сверхвысокого разрешения для наиболее детального наблюдения за состоянием окружающей среды [7]. Рассмотрим спутники, обладающие такими характеристиками (табл. 1) [8–12, 13].

Таблица 1

Перечень космических аппаратов (КА) сверхвысокого пространственного разрешения

Наименование КА	Дата запуска	Разрешение, м	Спектральные диапазоны, мкм
TripleSat Constellation-1, 2, 3; 4	10.07.2015; 16.09.2018	1	Панхроматический: 0,42 – 0,65
		4	Синий: 0,44 – 0,51 Зеленый: 0,51 – 0,59 Красный: 0,60 – 0,67 Ближний ИК 1: 0,76 – 0,91
SuperView-1A, B; -1C, D)	26.12.2016; 09.01 2018;	0,5	Панхроматический: 0,45 – 0,89
		2	Синий: 0,45 – 0,52 Зеленый: 0,52 – 0,59 Красный: 0,63 – 0,69 Ближний ИК: 0,77 – 0,89
WorldView-3	13.08.2014	0,3	Панхроматический: 450 – 800 нм
		1,24	Мультиспектральные: Coastal: 400 – 450 нм Blue: 450 – 510 нм Green: 510 – 580 нм Yellow: 585 – 625 нм Red: 630 – 690 нм Red Edge: 705 – 745 нм Near-IR1: 770 – 895 нм Near-IR2: 860 – 1040 нм
		3,7	SWIR каналы: SWIR-1: 1195 – 1225 нм SWIR-2: 1550 – 1590 нм SWIR-3: 1640 – 1680 нм SWIR-4: 1710 – 1750 нм SWIR-5: 2145 – 2185 нм SWIR-6: 2185 – 2225 нм SWIR-7: 2235 – 2285 нм SWIR-8: 2295 – 2365 нм

Наименование КА	Дата запуска	Разрешение, м	Спектральные диапазоны, мкм
		30	CAVIS каналы: Desert Clouds: 405 – 420 нм Aerosol-1: 459 – 509 нм Green: 525 – 585 нм Aerosol-2: 620 – 670 нм Water-1: 845 – 885 нм Water-2: 897 – 927 нм Water-3: 930 – 965 нм NDVI-SWIR: 1220 – 1252 нм Cirrus: 1350 – 1410 нм Snow: 1620 – 1680 нм Aerosol-3: 2105 – 2245 нм Aerosol-3: 2105 – 2245 нм
GeoEye-1	06.09.2008	0,41	Панхроматический: 0,45 – 0,80
		1,64	Синий: 0,45 – 0,51 Зеленый: 0,51 – 0,58 Красный: 0,65 – 0,69 Ближний ИК: 0,78 – 0,92
KompSat-3; -3A	17.05.2012; 26.03.2015	0,5; 0,4	Панхроматический 0,45 – 0,90
		2,0; 1,6	Синий 0,45 – 0,52 Зеленый 0,52 – 0,60 Красный 0,63 – 0,69 Ближний ИК 0,76 – 0,90

Из таблицы видно, что каждый космический аппарат обладает как панхроматическим каналом, так и зеленым, и красным, которые, как известно, используются для мониторинга леса и для решения задач лесного хозяйства в целом. Кроме того, снимки, полученные WorldView-3 (рис. 3) [6], помимо перечисленных каналов имеют 8 SWIR-каналов и 12 CAVIS-каналов, с помощью которых проводится коррекция за облака, аэрозоли, водяной пар, лед и снег.



Рис. 3. Нефтеперерабатывающее предприятие на космическом снимке WorldView-3 (сверхвысокое разрешение 0,5 м)

Помимо оптико-электронных космических аппаратов для мониторинга за нефтегазовой отраслью также используют радиолокационную съемку. Главным преимуществом такой съемки является тот факт, что она не зависит ни от метеоусловий, ни от уровня освещенности, а значит эти факторы не могут повлиять на качество получаемого изображения.

Являясь разновидностью космической съемки, радиолокационная съемка (РЛС) использует микроволновый диапазон излучения с длинами волн от 1 см до 1 м. Первоначально целью использования первого гражданского радиолокационного спутника со средним пространственным разрешением (20 м) являлся мониторинг морей. Однако спустя несколько полных циклов вокруг Земли стало очевидно, что помимо решения задач на водном пространстве, у этого спутника имеется большой потенциал мониторинга суши [14].

Наиболее распространенными спектральными диапазонами радиолокационной съемки являются X-, C-, L-диапазоны (табл. 2).

Таблица 2

Спутниковые системы радиолокационной съемки сверхвысокого разрешения

Диапазон	Частота, ГГц	Длина волны, см	Спутниковые системы	Пространственное разрешение, м
X	5,2–10,9	2,75–5,77	Asnaro-2	≤ 1
			Cosmo-SkyMed 1-4	≤ 1 – 100
			ICEYE-X 1-4	≤ 1 – 40
	9.65		TerraSAR-X/TanDEM-X	
C	3,9–6,2	3,8–7,6	Sentinel-1 A, B	5 – 40
			Kompsat-5	3
		5,6	RADARSAT-2	1 – 20
			GaoFen-3	1 – 500
L	0,39–1,55	19,3–76,9	ALOS-2 / PALSAR-2	3 – 100

Исследования территорий лесных массивов по данным радиолокационной съемки в основном проводятся с использованием C и L длин волн [15]. Несмотря на то, что X-диапазон имеет высокое пространственное разрешение (до 1 м) и возможность обнаружения миллиметровых смещений земной поверхности, данные радиолокационного зондирования растительного покрова в таком диапазоне получаются зашумленными. Это связано с использованием длины волны около 3 см, отражательной способностью листьев деревьев и луговых растений, а также временной изменчивостью их в вегетационный сезон.

Сейчас транспортировка нефти происходит различными способами, но именно трубопровод по-прежнему является наиболее выгодным и безопасным вариантом [4]. В настоящий момент существует два вида трубопроводов, различающиеся по протяженности и спектру решаемых задач: промысловые и магистральные. В Российской Федерации создана целая сеть магистральных нефтепроводов, ветви которой проходят по территории большинства субъектов

нашей страны. Вследствие этого необходимо осуществлять постоянный контроль их исправности и целостности.

В своей статье [16] автор указывает две основные причины возникновения аварий на нефтепроводах: внутренние (коррозия) и внешние (механические повреждения). Если первые устраняют, используя специальное оборудование, то другие необходимо контролировать дистанционно.

Чтобы обеспечить сохранность трубопроводов, выделяют зоны отвода (50 м) и охранные зоны (до 500 м) (рис.4) [4].

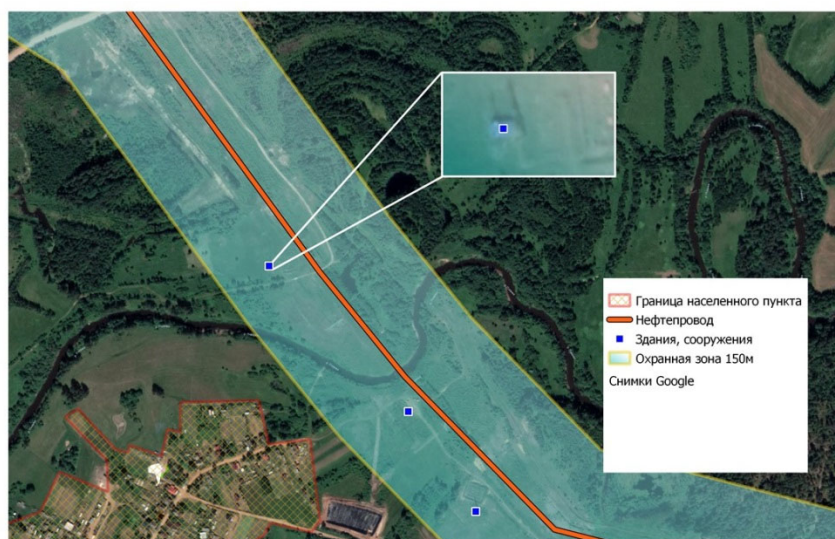


Рис. 4. Пример проведения мониторинга состояния охранной зоны вдоль нефтепровода

В зонах отвода трубопровода запрещена деятельность, связанная с вмешательством в окружающую среду (несанкционированная вырубка леса, добыча полезных ископаемых, строительство и т.д.). Деревья нередко становятся внешней силой, воздействующей на целостность трубопроводов, поэтому периодически проводят плановую вырубку леса.

### *Заключение*

Так как нефть является продуктом длительного распада и препятствует доступу воздуха и света в почву, мониторинг является неотъемлемой частью контроля за такими трубопроводами. С этой целью активно используют данные дистанционного зондирования, а именно – космические снимки сверхвысокого разрешения. Их преимуществом является не только повышенная детальность изображения, но и наличие дифференциальных спектральных диапазонов. Помимо оптико-электронных космических аппаратов также используют радиолокационную съемку, которую можно выполнять вне зависимости от погодных условий. Таким образом, одной из основных причин необходимости регулярно



проводить мониторинг состояния нефтепроводов является сохранение экологического благополучия местности, по которой они проходят.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России (тема «Разработка теории и технологических решений контроля состояния защитных сооружений при перекачке нефтепродуктов методами активного дистанционного зондирования», № 0807-2020-0002).*

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алифирова Е. Добыча нефти в России за 8 месяцев 2020 г. [Электронный ресурс] // Neftegaz.RU. URL: <https://neftegaz.ru/news/dobycha/628892-dobycha-nefti-v-rossii-za-8-mesyatsev-2020-g-snizilas-na-7-gaza-na-9/>.
2. Дедкова В.В., Шляхова М.М. Мониторинг технического состояния магистральных трубопроводов методами дистанционного зондирования / Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли: материалы VII Междунар. науч. конф. Красноярск, 29 сентября – 2 октября 2020. – С. 316–319.
3. Гук А. П. Фотограмметрия и дистанционное зондирование : учебник. Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – 248 с.
4. Мониторинг состояния трубопроводов по космической съемке [Электронный ресурс] // Иннотер. Геопространственное агентство. URL: <https://innoter.com/articles/monitoring-sostoyaniya-truboprovodov-po-kosmicheskoy-semke/>.
5. Гук А. П., Шляхова М. М. Аэрокосмические съемки : учеб. пособие. Новосибирск : СГУГиТ, 2019. – 105 с.
6. Космический мониторинг и геоинформационные системы в нефтегазовой отрасли [Электронный ресурс] // Совзонд. URL: [https://sovzond.ru/files/brochure\\_OilGas.pdf](https://sovzond.ru/files/brochure_OilGas.pdf).
7. Космические снимки сверхвысокого разрешения [Электронный ресурс] // Иннотер. Геопространственное агентство. URL: <https://innoter.com/articles/kosmicheskie-snimki-sverkhvysokogo-razresheniya/>.
8. DMC 3 (Triplesat). SSTL-S1 1, 2, 3, 4 [Electronic Resource] // Gunter's Space Page. URL: [https://space.skyrocket.de/doc\\_sdat/uk-dmc-3.htm](https://space.skyrocket.de/doc_sdat/uk-dmc-3.htm).
9. GeoEye-1 Satellite Sensor [Electronic Resource] // Satellite Imaging corporation. URL: <https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/geoeye-1/>.
10. КОМPSAT-3 [Электронный ресурс] // Журнал «Все о космосе». URL: <https://aboutsacejournal.net/2019/03/18/kompsat-3/>.
11. SuperView 1 [Electronic Resource] // Earth Observing System. URL: <https://eos.com/superview-1/>.
12. WorldView-3. Above + Beyond [Electronic Resource] // Digital Globe. URL: <http://worldview3.digitalglobe.com/> (дата обращения: 26.10.2020).
13. Космические съемочные системы сверхвысокого разрешения [Электронный ресурс] // Иннотер. Геопространственное агентство. URL: [https://innoter.com/articles/kosmicheskie-semochnye-sistemy-sverkhvysokogo-razresheniya/?sphrase\\_id=3539](https://innoter.com/articles/kosmicheskie-semochnye-sistemy-sverkhvysokogo-razresheniya/?sphrase_id=3539).
14. Нефтегазовая отрасль и использование радиолокационной съемки [Электронный ресурс] // Иннотер. Геопространственное агентство. URL: <https://innoter.com/articles/ispolzovanie-radiolokatsionnoy-semki-v-neftegazovoy-otrasli/>.
15. Печеркин А. И., Алимбаев М. И. Обзор причин аварий на магистральных нефтепроводах [Электронный ресурс] // Актуальные научные исследования в современном мире. 2020. № 5. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42977258&>.
16. Разакова М. Г. Радиолокационные методы дистанционного зондирования лесных массивов // Проблемы информатики. 2018. № 2. С. 16 – 23.