

*А. Ю. Чермошенцев<sup>1</sup>, Л. А. Головина<sup>1</sup>, И. М. Ламков<sup>2\*</sup>*

## **Пространственный анализ поверхностных стоков в местах несанкционированного складирования отходов**

<sup>1</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация

<sup>2</sup> Сибирский государственный университет водного транспорта, г. Новосибирск, Российская Федерация

\* e-mail: igor.lamkov@ya.ru

**Аннотация.** В статье обозначена проблема распространения загрязняющих веществ в результате несанкционированного складирования отходов. Традиционные методы дистанционного зондирования не всегда эффективны для выявления свалок мусора на закрытых лесных участках. Представлены результаты исследований территории, расположенной на землях населенных пунктов, с применением материалов космической съемки, фотограмметрической обработки изображений, построения цифровой модели местности. На их основании получены данные о степени наклона местности, и возможной зоне распространения загрязнений от поверхностных стоков, формируемых в местах несанкционированных свалок.

**Ключевые слова:** несанкционированное складирование отходов, цифровая модель местности, поверхностные стоки, земли сельскохозяйственного назначения

*A. Yu. Chermoshentsev<sup>1</sup>, L. A. Golovina<sup>1</sup>, I. M. Lamkov<sup>2\*</sup>*

## **Definition of the characteristics of the unmanned aviation system when carrying out search and rescue operations in wetted areas**

<sup>1</sup> Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

<sup>2</sup> Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk, Russian Federation

\* e-mail: igor.lamkov@ya.ru

**Abstract.** The article identifies the problem of the spread of pollutants as a result of unauthorized waste storage. Traditional remote sensing methods are not always effective for detecting landfills in closed forest areas. The results of studies of the territory located on the lands of settlements using satellite imagery materials, photogrammetric image processing, and building a digital terrain model are presented. Based on them, data were obtained on the degree of slope of the terrain, and the possible zone of contamination from surface runoff formed in places of unauthorized landfills.

**Keywords:** unauthorized storage of waste, digital terrain model, surface runoff, agricultural land

### ***Введение***

Несанкционированные свалки разнообразного мусора – бытового, строительного, отходов сельскохозяйственной деятельности, остаются одной из актуальных проблем в сфере охраны окружающей среды [1, 2]. Они занимают в основном, небольшие по площади участки, но достаточно многочисленны и хао-

тично распределены [3]. Помимо населенных пунктов, являющихся источником формирования такого вида свалок, любой дачный поселок или садовое общество бывают окружены десятками мест складирования отходов. Это явление связано не только с отсутствием организации вывоза мусора с их территории, но и вследствие невысокой экологической культуры населения.

Негативное воздействие несанкционированных свалок на компоненты ландшафта проявляется в виде повреждения растительности: подстилающего травяного покрова, кустарников, деревьев по периферии свалки, наличия стоков с ее территории, захламленности лесных массивов, горения, тления и испарений от свалки, распространение грызунов и насекомых, являющихся переносчиками заболеваний [4, 5].

Серьезной экологической проблемой является то, что образование свалок происходит на границе с зоной жилых построек, в результате есть угроза проникновения загрязненных веществ, уходящих с поверхности свалок в стоки в почвенную среду и подземные воды [6]. Таким образом, за счет физического, химического, биологического загрязнения снижается эстетическая и продуктивная ценность природных и антропогенных комплексов, возрастает вероятность техногенных рисков, что ведет к ухудшению качества жизни населения, которое эти свалки само и организует.

Особое внимание обращает тот факт, что часть несанкционированных свалок размещена в зоне сельскохозяйственных угодий, что является прямой угрозой продуктивности зеленой биомассы.

При весеннем таянии снега несанкционированное складирование отходов способствует попаданию загрязняющих веществ посредством стоков в почвенный покров и поверхностные воды [7], скапливаясь в понижениях рельефа – водоемах, оврагах, промоинах, опушках лесных массивов и делая эту территорию опасной для активного отдыха.

Изучение поверхностных стоков официально используемых полигонов складирования твердых бытовых отходов не вызывает затруднений. Для их мониторинга широко используются космические методы дистанционного зондирования (ДЗ), а также материалы, полученные при аэрофотографировании, в том числе и при съемке с беспилотных воздушных судов (БВС) [8–12]. Благодаря средствам обработки данных и геоинформационным системам (ГИС) можно не только уверенно дешифровать свалки и определять их типы, но и выполнять измерения их морфологических параметров, рассчитывать объем складированного мусора, выделять области предполагаемых загрязнений вследствие стоковых явлений [13, 14]. С использованием материалов ДЗ сверхвысокого пространственного разрешения возможно визуально интерпретировать свалки размером от 10 м<sup>2</sup> с большой степенью вероятности (до 90–95 %) [15].

Иное дело обстоит с несанкционированными свалками. Как правило, они формируются в лесополосах, околках, на опушках леса под кронами деревьев недалеко от автодорог и населенных пунктов и практически не видны на изображениях. Распознать такие участки можно по некоторым ярким признакам, в

частности, содержащиеся в свалках материалы бытового мусора (упаковочные материалы, полиэтиленовые пакеты, пленка и др.) дают резкое повышение яркости на изображениях - белые, светло-желтые, ярко-голубые оттенки из-за высокого коэффициента отражения. Исключение составляют изображения, полученные ранней весной, когда листва деревьев не закрывает исследуемые объекты. Косвенным признаком несанкционированных свалок, который нередко является определяющим, является наличие к ним подъездных путей (полевых дорог, тропинок), резко обрывающихся в лесных массивах [16, 17]. При отсутствии или частичной визуализации морфометрические параметры свалок по изображениям определить затруднительно. Единственным объективным параметром остается изучение поверхностных стоков, позволяющих прогнозировать зоны загрязнения в зависимости от рельефа местности, которые могут быть определены по цифровой модели местности (ЦММ).

### *Методы и материалы*

Объектом исследования является территории Толмачевского сельсовета в районе населенного пункта Красномайский, включающая сельскохозяйственные угодья, лесозащитную полосу Западно-Сибирской железной дороги на участке 3 307–3 312 км, вблизи которой располагаются садовые некоммерческие товарищества «Путеец», «Весна», «Локомотив», «Семья», «Надежда». Главным источником водоснабжения последних являются подземные воды трещиноватой зоны палеозойских пород, а также поверхностные водные объекты, представленные локальными водотоками (ручьями, прудами, болотами). Питание данных водоемов осуществляется в основном талыми снеговыми (85 %), дождевыми (12 %) и грунтовыми (3 %) водами.

Защитная лесная полоса предназначена для защиты железнодорожного полотна от снежных, пыльных и песчаных заносов, закрепляет осыпающиеся откосы, препятствует проникновению безнадзорного скота.

Для моделирования рельефа исследуемой территории в качестве исходных данных использовалась стереопара космических снимков со спутника Ресурс-П №1 съемочной аппаратурой СППИ «Сангур-1У». Выполнение стереосъемки в стандартном режиме данной съемочной системой осуществляется на одном витке с отклонением аппарата по тангажу [18]. Однако вследствие недостаточного покрытия исследуемой территории этим режимом съемки, который выполняется на заказ, производился подбор «случайных стереопар», получаемых с разных витков орбиты, описанный в [19]. Поиск снимков осуществлялось через геопортала Роскосмоса [20]. В результате подобрана пара перекрывающихся снимков, расположение которых показано на рис. 1.

Характеристики полученных снимков приведены в табл. 1.

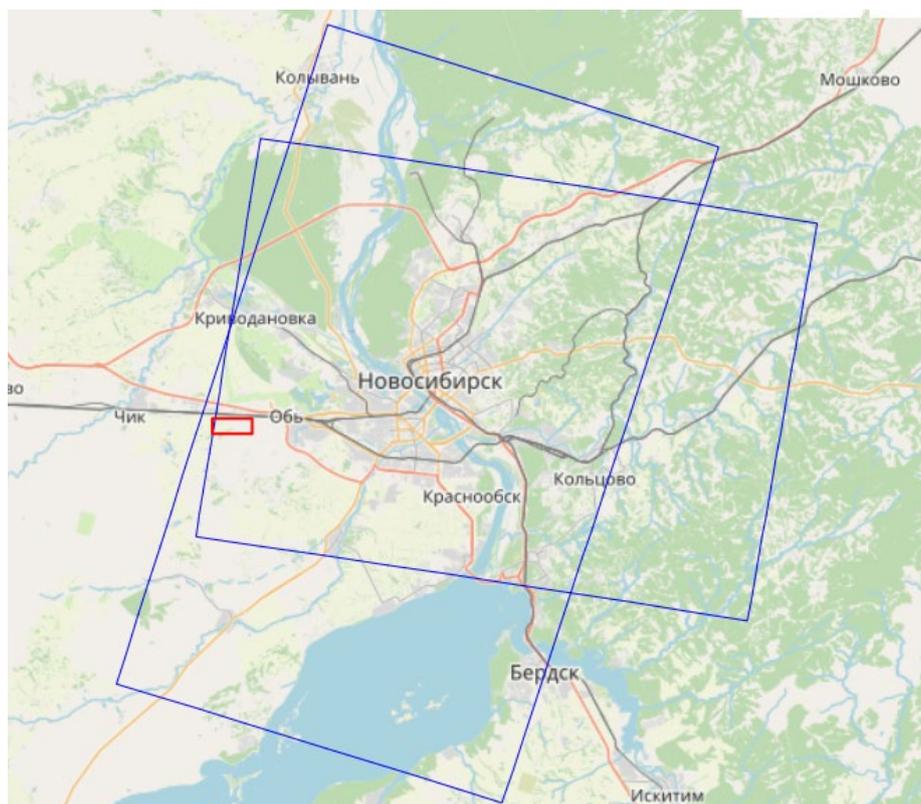


Рис. 1. Схема расположения границ стереопары снимков и области интереса

Таблица 1

Характеристики стереопары снимков Ресурс-П

Параметр	Снимок 1	Снимок 2
Идентификатор снимка	RP1.GTNL1.9534.3.0.2020-07-08.L0	RP1.GTNL1.9319.3.0.2020-06-24.L0
Уровень обработки	L1 – нетрансформированный с RPC	L1 – нетрансформированный с RPC
Вид продукции	панхроматический	панхроматический
Система координат	EPSG:4326	EPSG:4326
Спектральный диапазон, мкм	0,58–0,80	0,58–0,80
Номер витка	9 534	9 319
Облачность, %	1	17
Пространственное разрешение, м	0,9	1,1
Угол визирования, °	29,3	43,2
Азимут визирования, °	197,9	189,6
Высота Солнца, °	54,4	52,1

Учитывая, что конечным продуктом является цифровая модель, используются только панхроматические каналы. Угол конвергенции, как основной критерий пригодности применения стереопары для последующей обработки с целью создания ЦММ, рассчитан по метаданным из табл. 1 и составил 0,48°.

Метаданные, поставляемые со снимками, включали коэффициенты рациональных полиномов RPC, применения которых обеспечивает создание ориентированных стереопар с точностью определения координат в пределах 3–5 пикселей [21].

Обработка материалов космической съемки выполнена в программном продукте Agisoft Metashape 2.0.2. Для ускорения процесса обработки использована облачная технология Agisoft Cloud, представляющая конфигурацию вычислительной машины, табл. 2.

Таблица 2

Конфигурация вычислительной машины Agisoft Cloud

Параметр	Значение
Центральный процессор	32 vCPU (2.7 GHz Intel Xeon E5 2686 v4)
Графический адаптер	2 x NVIDIA Tesla M60
Оперативная память, Гб	240

Процедура обработки включала следующие этапы:

- загрузка снимков, в ходе которой происходит автоматическое считывание метаданных снимка (для этого необходимо активировать функцию «Загружать RPC данные для спутниковых снимков из вспомогательных TXT файлов» в диалоговом окне «Инструменты»);
- ориентирование стереопары снимков в автоматическом режиме;
- построение цифровой модели местности на основании карт глубины.

### Результаты

На рис. 2 показан результат ориентирования стереопары снимков.



Рис. 2. Расположение камер во время съемки

На рис. 3 показан результат создания цифровой модели местности в виде светотеневой отмывки рельефа.

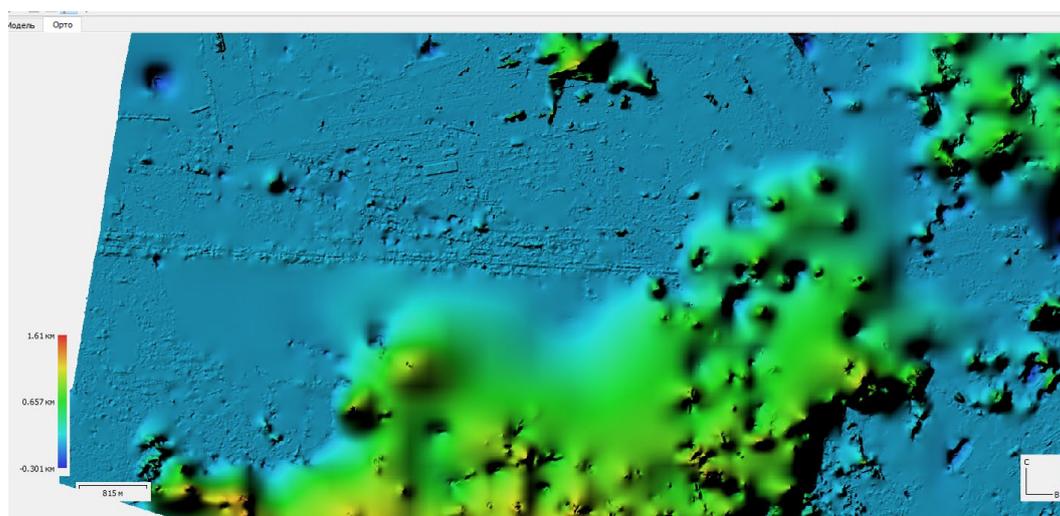


Рис. 3. Цифровая модель местности

Созданная цифровая модель местности позволяет выполнять построение профиля высот. На рис. 4 показано изменение высот на исследуемой территории с севера на юг и с запада на восток.

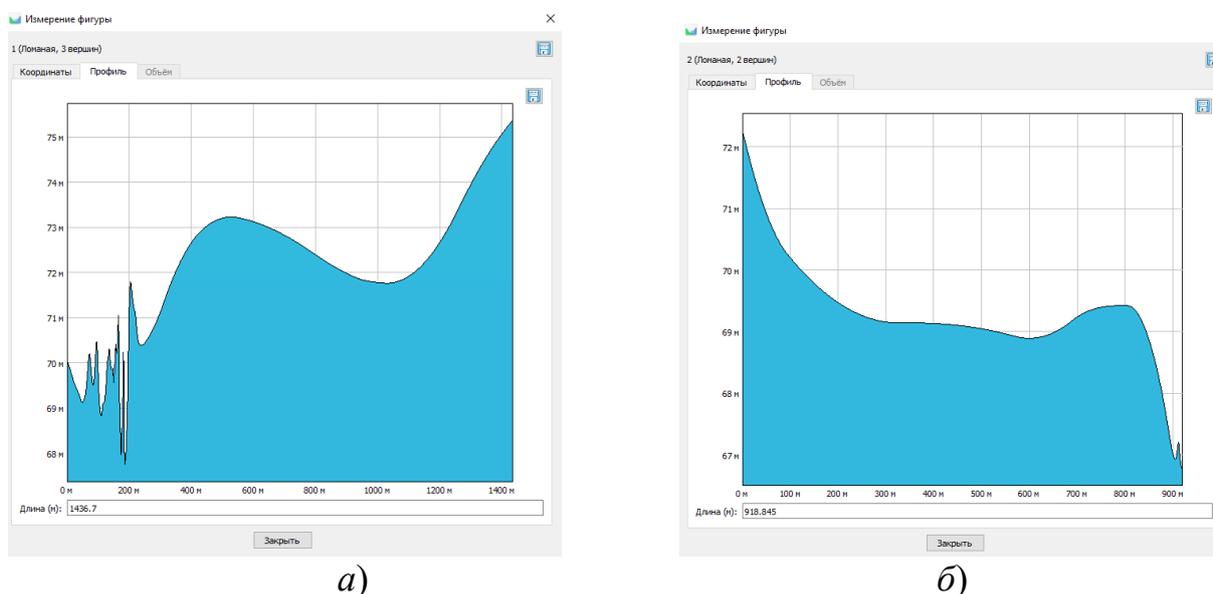


Рис. 4. Построение профиля высот: *а)* с севера на юг; *б)* с запада на восток

Для выполнения пространственного анализа поверхностных стоков в местах несанкционированного складирования отходов выполнено отображение уклонов и экспозиций склонов, позволяющая наглядно продемонстрировать направление поверхностных стоков (рис. 5).

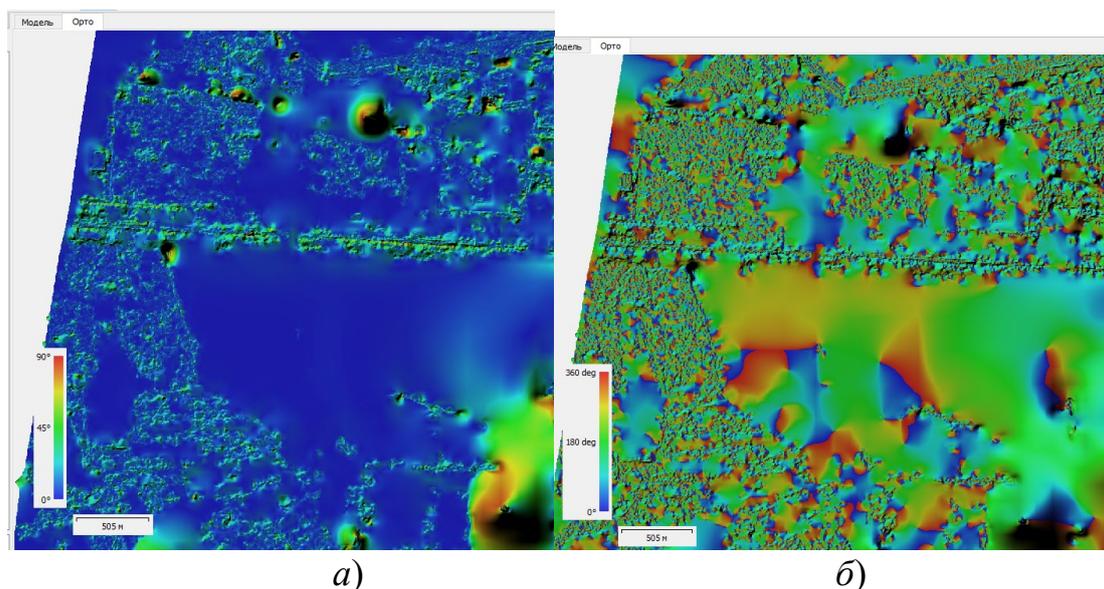


Рис. 5. Отображение уклонов и экспозиций склонов:  
 а) карта уклонов; б) карта экспозиций

### *Обсуждение результатов*

Профили высот, построенные по ЦММ наглядно демонстрируют степень наклона местности, по которому можно предположить возможную зону загрязнения от поверхностных стоков, формируемых на местах несанкционированных свалок. Например, при интенсивном таянии значительных объемов снега, как это было в 2021 году, потоки воды шли по наиболее низким местам – лесополосам, открытым полям сельскохозяйственных угодий, скапливаясь в углублениях и в частности, затапливая проезды под железной дорогой, а также котлованы садовых обществ, предназначенных для сброса излишней поливной воды и отвода талых вод. После схода воды на подтопленных территориях наблюдалось огромное скопление всевозможного мусора.

Моделирование территории и поверхностных стоков с помощью ЦММ даже для выровненной и слабонаклоненной местности позволит выделить неблагоприятные области с продолжительным воздействием загрязняющего фактора, что уменьшит риски целевого использования данных земель.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Романова, Е. М. Экологический мониторинг полигонов и свалок ТБО на примере Ульяновской области / Е. М. Романова, В. Н. Намазова // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2007. – № 2 (5). – С. 58–61.
2. Гулин, К. А. Проблема отходов в России и ее территориальные особенности // Проблемы развития территории. – 2016. – № 4 (84). – С. 7–23.
3. Как ГИС помогают бороться со свалками : сетевое издание «СNews» : [сайт]. – 2024. – URL: [https://www.cnews.ru/articles/kak\\_gis\\_pomogayut\\_borotsya\\_so\\_svalkami](https://www.cnews.ru/articles/kak_gis_pomogayut_borotsya_so_svalkami).
4. Челядинова, Е. Ю., Курбатова, А. И. Современные подходы к проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов твердых коммунальных отходов / Е. Ю. Челядинова, А. И. Курбатова // МНИЖ. – 2018. – № 7 (73). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n>

sovremennye-podhody-k-proektirovaniyu-ekspluatatsii-i-rekultivatsii-poligonov-tverdyh-kommunalnyh-othodov (дата обращения: 26.04.2024).

5. Бровкина, О. В., Скорописов, Д. Ю. Мониторинг свалок твердых бытовых и промышленных отходов (на примере территории Кронштадского района г. Санкт-Петербурга) / О. В. Бровкина, Д. Ю. Скорописов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2012. – Т. 9. – № 1. – С. 153.

6. Черникова, А. А., Дубровский, А. В. Автоматизированное определение несанкционированных свалок по данным дистанционного зондирования / А. А. Черникова, А. В. Дубровский // Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения. – 2023. – № 2. – С. 260–263.

7. Сетевое издание «56.ру» : [сайт]. – 2024. – URL: <https://56.ru/text/gorod/2012/03/19/65025351/>.

8. Трубина, Л. К., Гриценко, А. Г. Методика создания комплекса информационных материалов для оценки экологического состояния территорий / Л. К. Трубина, А. Г. Гриценко // Современные проблемы геодезии и оптики. Научно-техн. конф., 16–19 апреля, 2001. – Новосибирск : СГГА, 2001. – С. 244.

9. Абросимов, А. В., Никольский, Д. Б., Шешукова, Л. В. Использование космических снимков и геоинформационных технологий для мониторинга мест складирования отходов / Абросимов, Д. Б. Никольский, Л. В. Шешукова // Геоматика. – 2013. – № 1. – С. 68–74.

10. Тимофеева, С. С., Шешукова, Л. В., Охотин, А. Л. Мониторинг свалок твердых бытовых и промышленных отходов в Иркутском районе по данным космических снимков / С. С. Тимофеева, Л. В. Шешукова, А. Л. Охотин // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2012. – № 9 (68). – С. 76–81.

11. Бровкина, О. В. Автоматическая идентификация свалок по разноспектральным аэрокосмическим данным / О. В. Бровкина // Исследования Земли из космоса. – 2007. – № 6. – С. 22–28.

12. Титова, А. Г., Медведев, А. А. Зонирование контролируемых и неконтролируемых объектов захоронения коммунальных отходов на основе данных дистанционного зондирования сверхвысокого разрешения / А. Г. Титова, А. А. Медведев // Известия вузов. «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2021. – Т. 65. – № 6. – С. 634–646.

13. Акинина, Н. В., Никифоров, М. Б. Алгоритм детектирования несанкционированных свалок мусора на основе анализа данных дистанционного зондирования Земли / Н. В. Акинина, М. Б. Никифоров // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2019. – № 10. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/algoritm-detektirovaniya-nesanktsionirovannyh-svalok-musora-na-osnove-analiza-dannyh-distantsionnogo-zondirovaniya-zemli> (дата обращения: 24.04.2024).

14. Рихтер, А. А. Оценка геометрических параметров областей замусоривания по мультиспектральным космическим изображениям / А. А. Рихтер, М. А. Шахраманьян, М. Л. Казарян, А. Б. Мурынин // Фундаментальные исследования. – 2015, № 2 (13). – С. 2866–2870.

15. Погорелов, А. В. Опыт космического мониторинга свалок на территории Краснодарского края / А. В. Погорелов, С. В. Дулепа, Д. А. Липилин // Геоматика. – 2013. – № 4. – С. 64–72.

16. Козодеров, В. В. Распознавание образов природно-техногенных объектов и оценка их состояния по данным многоспектрального и гиперспектрального аэрокосмического зондирования / В. В. Козодеров, В. В. Борзяк, Е. Д. Дмитриев, В. Д. Егоров // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2009. – В. 6. – Т. 1. – С. 196–205.

17. Рихтер, А. А. Выявление очагов замусоривания по данным космических изображений низкого пространственного разрешения Landsat / А. А. Рихтер, М. Л. Казарян, М. А. Шахраманьян // Информация и космос. – 2016. – № 3. – С. 91–96.

18. Пешкун, А. А. Создание трехмерных моделей местности с использованием материалов съемки космического аппарата типа «Ресурс-П» / А. А. Пешкун // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. – 2016. – Т. 3. – № 1. – С. 28–33.

19. Жарова, Н. Э., Беленов, А. В., Чибуничев, А. Г. Автоматическое создание цифровой модели рельефа по материалам «случайной» стереосъемки группировки космических аппаратов типа «Ресурс-П» / Н. Э. Жарова, А. В. Беленов, А. Г. Чибуничев // Геодезия и картография. – 2017. – Т. 78. – № 10. – С. 55–62.

20. Геопортал Госкорпорации Роскосмос : [сайт]. – 2024. – URL: <https://next.gptl.ru/> (дата обращения: 24.04.2024).

21. Жарова, Н. Э. Критерии выбора «случайных» стереопар космических снимков. Оценка точности продуктов, созданных на основе «случайных» стереопар / Н. Э. Жарова // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2017. – № 6. – С. 59–68.

© А. Ю. Чермошенцев, Л. А. Головина, И. М. Ламков, 2024