

СПУТНИКОВАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ

С.О. Крамаров¹, В.В. Храмов², О.Ю. Митясова³

¹ Сургутский государственный университет, Сургут, Россия, e-mail: maooovo@yandex.ru

² Южный Университет (Институт Управления, Бизнеса и Права), Ростов-на-Дону, Россия

³ Егорлыкский колледж, станица Егорлыкская, Россия

Аннотация: Космический мониторинг горных работ в последние годы становится тем более актуальным. При этом возникает ряд организационных и технических проблем интеллектуальной поддержки процесса автоматизации работ в рамках отрасли, предприятия, отдельных беспилотных, роботизированных средств разработки карьера и погрузочно-транспортного комплекса. Системы технического зрения подвижных роботов в сопряжении со средствами спутниковой идентификации объектов на земной поверхности, особенно на месторождениях, разрабатываемых открытым способом, способны решить эти проблемы при минимальных экономических затратах, если эффективно использовать открытые данные дистанционного зондирования Земли. Рассмотрены результаты исследований по мониторингу и анализу состояния объектов недропользования на примере добычи общераспространенных полезных ископаемых по данным космических снимков. Обоснована необходимость применения нового подхода к анализу данных дистанционного зондирования для исследования карьеров, а также апробированный комплекс методов исследования объектов недропользования. Материалы исследования могут быть полезны также природоохранным, правоохранительным организациям для выявления нарушений границ лицензионных участков объектов недропользования, незаконной добычи полезных ископаемых и контроля рекультивационных мероприятий. Для исследований были использованы архивные снимки высокого разрешения и другие материалы из открытых источников.

Ключевые слова: спутниковый мониторинг, недропользование, идентификация, карьеры, цифровое изображение, полезные ископаемые, анализ данных, границы объектов.

Для цитирования: Крамаров С. О., Храмов В. В., Митясова О. Ю. Спутниковая идентификация объектов добычи полезных ископаемых на месторождениях разрабатываемых открытым способом // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 5. – С. 72–79. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-05-0-72-79.

Satellite identification of mineral deposits under open pit mining

S.O. Kramarov¹, V.V. Khramov², O.Yu. Mityasova³

¹ Surgut State University (SurSU), Surgut, Russia, e-mail: maooovo@yandex.ru

² Southern University (Institute of Management, Business and Law),
Rostov-on-Don, Russia

³ Egorlykskiy College, stanitsa Egorlykskaya, Rostov region, Russia.

Abstract: Satellite monitoring gains an increasing relevancy in mineral mining in recent years for evolutive digitization of economic sector in general and in the mining industry in particular assumes overall automatization and robotization. In this regard, some organizational and technical problems arise in the context of intelligent support of the automatization process within an industry, a mine, individual unmanned robotic facilities and loading/hauling equipment. Computer-vision systems of mobile robot devices in communication with satellite identification of objects on the ground surface, especially in an open pit mine field, can solve these problems at minimum cost in case of efficient usage of free remote sensing data. In the article, the studies of monitoring and analysis of subsoil use objects with the help of satellite data are discussed in terms of regular mineral mining. Substantiation is provided for the new approach application in the analysis of remote sensing data in open pit mine studies, and the tested package of research methods of subsoil use objects is presented. The research results can among other things be useful for conservation organizations and law machinery to show up mining lease trespasses or illegal mineral production as well as to supervise land reclamation. The studies used archival high-resolution images and other free-access sources.

Key words: satellite monitoring, subsoil use, identification, open pit mine, digital image, minerals, data analysis, object boundaries.

For citation: Kramarov S. O., Khramov V. V., Mityasova O. Yu. Satellite identification of mineral deposits under open pit mining. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2019;5:72-79. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-05-0-72-79.

Введение

Россия — одна из крупнейших горнодобывающих стран. Добыча и переработка полезных ископаемых вносит существенный вклад в экономику государства. На территории РФ функционирует ряд предприятий, лидирующих не только в стране, но и в мире [1, 2].

Мониторинг недропользования — сложная, многокомпонентная иерархическая система, основные функции которой закреплены за Росприроднадзором и Ростехнадзором. Под мониторингом состояния недр (геологической среды) понимается «система регулярных наблюдений, сбора, накопления, обработки и анализа информации, оценки состояния геологической среды и прогноза ее изменений под влиянием естественных природных факторов, пользования недрами и другой антропогенной деятельности» [3].

Мониторинг состояния и оценка масштаба работ по добыче полезных ископаемых могут быть эффективно выполнены с помощью современных технологий

дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и геоинформационных систем [2].

Методы исследований

В основу представленного исследования была положена модифицированная методика выделения границ протяженных объектов на растровых бинарных изображениях, которая ранее была успешно апробирована в ряде опытов по идентификации объектов сельскохозяйственного назначения на цифровых космических снимках [9].

Предлагаемый в данной работе способ идентификации объектов недропользования включает вычисление (целочисленных) координат очередной точки контура на основе знания координат предыдущей точки и «истории движения» по этому контуру. Соответствующие зависимости имеют следующий вид:

$$\begin{aligned}x_{i+1} &= x_i + f\left(\sum_{j=0}^i k_j + a\right); \\ y_{i+1} &= y_i + f\left(2 + \sum_{j=0}^i k_j + a\right)\end{aligned}\quad (1)$$

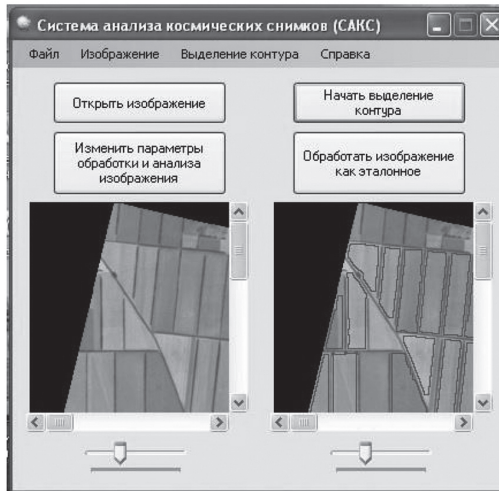


Рис. 1. Работа программного средства АИС «Система анализа космических снимков»
 Fig. 1. The software product «System of Satellite Images Analysis (SSIA)» in working state

где k_j — сумма значений всех восьми пикселей, соседних с j -м пикселем, принадлежащим контуру; a — константа (для прямоугольного растра $a = 3$); i — номер точки контура;

$$f(t) = \begin{cases} 1, & \text{если } \text{mod}8(t) \in \{7, 0, 1\} \\ 0, & \text{если } \text{mod}8(t) \in \{2, 6\} \\ -1, & \text{если } \text{mod}8(t) \in \{3, 4, 5\} \end{cases} \quad (2)$$

Было выдвинуто предположение, что реализованный в [4] механизм [8] можно распространить также и на крупные объекты, имеющие замкнутый контур, в том числе, такие, как многие карьеры.

Материалы анализа

Для работы использовались спутниковые снимки высокого пространствен-

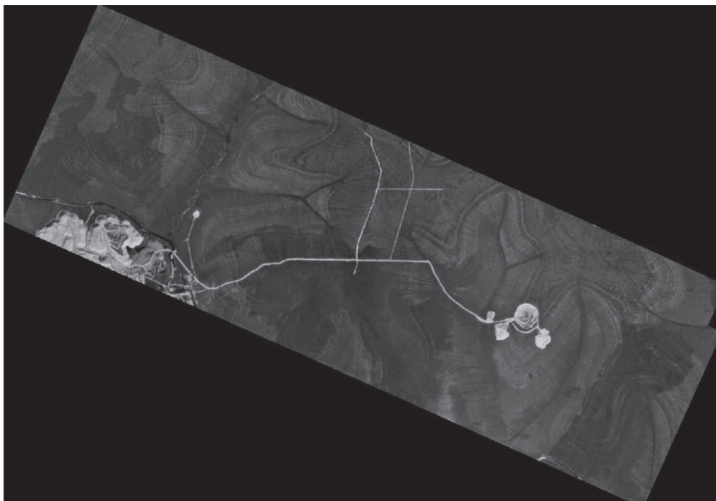


Рис. 2 Результаты обработки снимка района карьера «Удачный» (Якутия)
 (снимок 20160811_031118_0e14)

Fig. 2 The processing results of «Udachniy» («Successful») quarry area (Yakutia)
 (image 20160811_031118_0e14)

Таблица 1

Примеры результатов обработки некоторых снимков
Examples of the results of some images processing

Идентификатор снимка	Область охвата	Время съемки	Идентифицировано объектов	Комментарий
20160811_031118_0e14	Район карьера «Удачный» (Якутия)	11.08.2016	17	К основному контуру присоединилась контрастная область, по яркости схожая с самим карьером
20160916_031310_0e16	Карьер «Удачный» (Якутия)	16.09.2016	8	При обработке данных снимков использованы настройки [4]
20170919_032313_0f52		19.09.2017	>20	
20171018_074704_1033	Карьер (Лебединский ГОК, Белгородская обл.)	18.10.2017	>20	Были идентифицированы два карьера, которые можно видеть на снимке

ного разрешения из каталога «Совзонд» 2016–2017 гг. В данном каталоге представлены снимки, полученные от различных космических аппаратов и их группировок.

Снимки были обработаны при помощи разработанного авторами программного средства АИС «Система анализа космических снимков» [4], которое позволяет анализировать растровые изображения, преобразовывать их к виду, позволяющему производить идентификацию, и реализует, собственно, алгоритм идентификации протяженных объектов [8]. Пример его работы представлен на рис. 1.

Кроме того, изображения прошли предварительную обработку, заключающуюся в повышении контрастности.

Результаты

В результате предварительной обработки по методикам, описанным и использованным в [4, 12], были получены приемлемые для идентификации изображения (например, рис. 2), а также числовые характеристики (признаки распознавания в соответствии с [11]) для объектов, идентифицированных на цифровых изображениях (табл. 1 и 2).

Обсуждение результатов

Как видно, карьеры были успешно идентифицированы. Однако, помимо самих карьеров, на снимке были обнаружены и другие объекты, имеющие замкнутый контур. Некоторые из них могут быть реальными объектами, некоторые являются областями со схожей спектральной яркостью. Есть и такие, которые появляются в результате приведения исходного снимка к бинарному виду (например, методами, использованными в [4]) и последующей фильтрации и морфологической обработки (рис. 3).



Рис. 3. Пример приведения исходного снимка к бинарному виду (снимок 20160811_031118_0e14)

Fig. 3. The example of source image transformation to a two-graded view (image 20160811_031118_0e14)

Таблица 2

Числовые характеристики (коэффициенты формы) для идентифицированных границ карьеров на спутниковых снимках

Numeric characteristics (or form coefficients) for the quarries boundaries identified on satellite images

Снимок	Признаки формы контура (по методике [4])							
	Ф1	Ф2	Ф3	Ф4	Ф5	Ф6	Ф7	Ф8
20160811_031118_0e14	0,6601	0,6483	0,6605	0,6486	1,5148	1,5140	1,5426	1,5418
20160916_031310_0e16	0,9213	0,9596	0,9360	0,9749	1,0854	1,0684	1,0421	1,0258
20170919_032313_of52	0,9891	1,0026	0,9822	0,9956	1,0110	1,0181	0,9974	1,0044
20171018_074704_1033	1,8836	1,9003	1,8607	1,8770	0,5309	0,5374	0,5263	0,5327
20171018_074704_1033	1,1205	1,1345	1,1167	1,1304	0,8925	0,8957	0,8815	0,8846

Для каждого из объектов, полученных в результате обработки изображений, информация о которых указана в табл. 1, сохраняется информация о контуре, включая уникальные характеристики (табл. 2), необходимые для дальнейшего распознавания (рис. 4).

Ограничения, принятые при исследовании, и обобщение его результатов; предложения по практическому применению

Методика, примененная в исследовании, предоставляет возможность работы с растровыми изображениями, а точ-

ность метода идентификации границ зависит от качества исходного изображения, пространственного, спектрального, временного разрешения снимка [6]. Кроме того, время обработки также будет различаться. Применение методики выделения замкнутых контуров [9] позволяет идентифицировать границы карьеров.

Соответственно, по разновременным снимкам можно отслеживать их развитие, что на практике необходимо при осуществлении экологического мониторинга [7], социологических и экономических исследований [8].

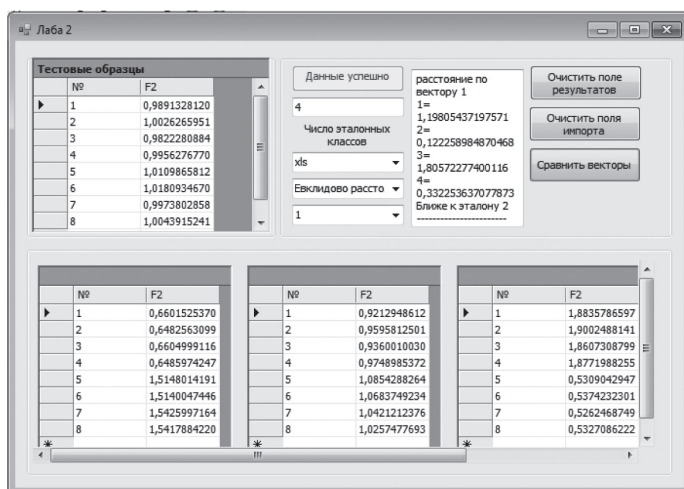


Рис. 4. Пример результатов распознавания (в качестве тестового использован снимок 20170919_032313_of52)

Fig. 4. The example of recognition results (20170919_032313_of52 is used as test image)

Существуют способы вычисления параметров карьерного поля, запасов полезных ископаемых. В рамках данного исследования по полученным значениям ширины и глубины карьеров по поверхности и с использованием зависимостей [1] был осуществлен расчет глубины карьеров, снимки которых были обработаны. Выявлены расхождения между полученными нами значениями и значениями, указанными в доступных источниках [9]. Возможная причина этого в том, что используемые в [1] формулы применимы только для приблизительных расчетов. В перспективе, использование данных, полученных со спутниковых снимков, дает возможность выявить отклонения от заявленных организациями показателей, т.к. в предлагаемой нами методике влияние «человеческого фактора» сводится к минимуму.

Геоинформационные технологии, используемые при дешифрировании данных дистанционного зондирования, позволяют построить карты геологического содержания с повышенной глубиной картирования и более детального отображения на геологических картах отдельных элементов геодинамики. А на основе подобных данных можно сформировать базу знаний, как это уже было предложено в [8] и было использовано для исследования объектов сельскохозяйственного назначения и лесного хозяйства [12].

Предложения по направлению будущих исследований

Прямоугольный растр, принятый в ходе анализа изображений карьеров в данном исследовании, естественен для цифровых изображений (каждый пиксель, по факту, является элементом квадратной или прямоугольной матрицы) и может вносить определенную погрешность в процессе анализа изображений посредством алгоритма, реализованного в [4]. Дальнейшие исследования пред-

полагается направить на использование возможностей применения треугольной и гексагональной (шестиугольной) сеток [12]. Уже имеются наработки в данном направлении для применения в процессе идентификации объектов сельскохозяйственного назначения. Представляется, что подобная методика может быть применена в случае идентификации мест разработки полезных ископаемых.

В настоящее время в работе по добыче полезных ископаемых все чаще применяется техника, оснащенная навигационными GPS-приборами, при помощи которых можно определять, в том числе и высоту над уровнем моря. Использование данных со спутников, с которыми обменивается данными GPS-прибор, позволит получить достаточно точные значения глубины карьера [1–3]. А уже точные значения параметров карьерного поля позволят вычислить объемы добытых полезных ископаемых за конкретный период времени. Данная задача становится еще одним направлением будущих исследований.

Заключение

Полученные результаты хорошо согласуются с результатами исследований [4], что позволяет наметить новые перспективы развития методов спутниковой навигации роботизированного оборудования и спутникового мониторинга открытых горных разработок [1].

Внедрение материалов аэрокосмических съемок в теорию и практику геологических исследований приводит к совершенствованию методов региональных геологических исследований, а также к повышению качества карт геологического содержания. Развитие новых геологических методов, в том числе дистанционных, позволяет в короткие сроки и по максимально большим территориям дать оценку перспектив обнаружения новых месторождений.

Однако наиболее полное и рациональное использование данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ)

возможно лишь в комплексе с традиционными геологическими, геофизическими и геохимическими исследованиями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Rosmining*. Горнодобывающий ресурс России. Самые крупные карьеры России. URL: <http://www.mining-portal.ru/publish/samyie-krupnyie-kareryi-rossii/> (дата обращения 20.12.2018).
2. Скрипчинский А. В., Аникеева А. С., Роман А. Н. Методологические аспекты космического мониторинга недропользования общераспространенных полезных ископаемых в Ставропольском крае // Наука. Инновации. Технологии. — 2016. — № 3. — С. 177–194.
3. Трубецкой К. Н., Рылъникова М. В. Состояние и перспективы развития открытых горных работ в XXI веке // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — № S45-1. — С. 21–32.
4. Митясова О. Ю., Акперов И. Г., Крамаров С. О., Храмов В. В. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017615097. Система анализа космических снимков (САКС). 2017. Бюл. № 5.
5. Sowmya D. R., P. Deepa Shenoy, Venugopal K. R. Remote sensing satellite image processing techniques for image classification: a comprehensive survey // International Journal of Computer Applications, 2017, Vol. 161, No 11, pp. 24–37.
6. Kekovali K., Kalafat D. Detecting of mining-quarrying activities in Turkey using satellite imagery and its correlation with daytime to nighttime ratio analysis // Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 2014, No 42(1), pp. 227–232.
7. Haoteng Zhao, Yong Ma, Fu Chen, Jianbo Liu, Liyuan Jiang, Wutao Yao, Jin Yang. Monitoring quarry area with landsat long time-series for socioeconomic study // Remote Sensing, 2018, 10(4), 517.
8. Акперов И. Г., Крамаров С. О., Храмов В. В., Митясова О. Ю., Повх В. И. Патент на изобретение RUS 2640331. Способ идентификации протяженных объектов земной поверхности. 11.12.2015 URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35057862> (дата обращения 20.12.2018).
9. Чаадаев А. С., Зырянов И. В., Бондаренко И. Ф. Состояние и перспективы развития горнообогатительных технологий на алмазодобывающих предприятиях АК «АЛРОСА» (ПАО) // Горная промышленность. — 2017. — № 2 (132). — С. 6.
10. Bradley D., Roth G. Adaptive thresholding using the integral image // Journal of Graphics Tools, 2007, Issue 2, Vol. 12, pp. 13–21.
11. Salim P. M., Jais M. A. M., Sahriman N., Samad A. M., Abbas M. A., Maarof I., Tarmizi N. M. Monitoring quarry areas using remote sensing techniques / IEEE 13th International Colloquium on Signal Processing and its Applications, CSPA 2017. Conference proceedings. New York, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2017, pp. 323–328. URL: <https://doi.org/10.1109/CSPA.2017.8064974> (дата обращения 20.12.2018).
12. Kramarov S., Temkin I., Khramov V. The principles of formation of united geo-informational space based on fuzzy triangulation // Procedia Computer Science, 2017, No 120, pp. 835–843, URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=3548897> (дата обращения 20.12.2018). **WAS**

REFERENCES

1. Rosmining. Russian Mining Resource. The biggest Russian quarries, available at: <http://www.mining-portal.ru/publish/samyie-krupnyie-kareryi-rossii/> (accessed 20.12.2018).
2. Skripchinskiy A. V., Anikeeva A. S., Roman A. N. Methodological aspects of space monitoring of subsoil use common minerals in the Stavropol region. *Nauka. Innovatsii. Tekhnologii*. 2016, no 3, pp. 177–194. [In Russ].
3. Trubetskoy K. N., Ryl'nikova M. V. Situation and prospects of open-pit mining development in the XXI century. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015, no S45-1, pp. 21–32. [In Russ].
4. Mityasova O. Yu., Akperov I. G., Kramarov S. O., Khramov V. V. *Certificate of state registration of computer programs No 2017615097*. 2017.

5. Sowmya D.R., P. Deepa Shenoy, Venugopal K.R. Remote sensing satellite image processing techniques for image classification: a comprehensive survey. *International Journal of Computer Applications*, 2017, Vol. 161, No 11, pp. 24–37.

6. Kekovalı K., Kalafat D. Detecting of mining-quarrying activities in Turkey using satellite imagery and its correlation with daytime to nighttime ratio analysis. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 2014, No 42(1), pp. 227–232.

7. Haoteng Zhao, Yong Ma, Fu Chen, Jianbo Liu, Liyuan Jiang, Wutao Yao, Jin Yang. Monitoring quarry area with landsat long time-series for socioeconomic study. *Remote Sensing*, 2018, 10(4), 517.

8. Akperov I. G., Kramarov S. O., Khramov V. V., Mityasova O. Yu., Povkh V. I. Patent RU 2640331. 11.12.2015, available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35057862> (accessed 20.12.2018).

9. Chaadaev A. S., Zyryanov I. V., Bondarenko I. F. Current state and development prospects of processing technologies at diamond mines of ALROSA. *Gornaya promyshlennost'*. 2017, no 2 (132), pp. 6. [In Russ].

10. Bradley D., Roth G. Adaptive thresholding using the integral image. *Journal of Graphics Tools*, 2007, Issue 2, Vol. 12, pp. 13–21.

11. Salim P. M., Jais M. A. M., Sahrman N., Samad A. M., Abbas M. A., Maarof I., Tarmizi N. M. Monitoring quarry areas using remote sensing techniques. *IEEE 13th International Colloquium on Signal Processing and its Applications, CSPA 2017. Conference proceedings*. New York, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2017, pp. 323–328, available at: <https://doi.org/10.1109/CSPA.2017.8064974> (accessed 20.12.2018).

12. Kramarov S., Temkin I., Khramov V. The principles of formation of united geo-informational space based on fuzzy triangulation. *Procedia Computer Science*, 2017, No 120, pp. 835–843, URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=3548897> (accessed 20.12.2018).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Крамаров Сергей Олегович — доктор физико-математических наук, профессор, e-mail: maoovo@yandex.ru,

Сургутский государственный университет,

Храмов Владимир Викторович — кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, e-mail: vxramov@inbox.ru, Южный Университет (Институт Управления, Бизнеса и Права),

Митясова Ольга Юрьевна — преподаватель IT дисциплин, Егорлыкский колледж.

Для контактов: Крамаров С.О., e-mail: maoovo@yandex.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

S.O. Kramarov, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, e-mail: maoovo@yandex.ru, Surgut State University (SurSU), 628412, Surgut, Tyumen region, Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug — YUGRA, Russia,

V.V. Khramov, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Leading Researcher, Southern University (Institute of Management, Business and Law), 344068, Rostov-on-Don, Rostov oblast, Russia, e-mail: vxpamov@inbox.ru,

O.Yu. Mityasova, Lecturer of IT subjects, Egorlykский College, 347660, stanitsa Egorlykская, Rostov region, Russia.

Corresponding author: S.O. Kramarov, e-mail: maoovo@yandex.ru.

