

## СПУТНИКОВАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕОРТОГОНАЛЬНОГО ОПИСАНИЯ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

С.О. Крамаров<sup>1</sup>, О.Ю. Митясова<sup>1</sup>, В.В. Храмов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Сургутский государственный университет, научно-образовательный центр,  
Сургут, Россия, e-mail: maooovo@yandex.ru

<sup>2</sup> Южный университет (Институт управления, бизнеса и права),  
Ростов-на-Дону, Россия

**Аннотация:** Рассмотрены теоретические вопросы представления спутниковых снимков на прямоугольных решетках и возможности практического применения такого подхода. Описаны исходные предпосылки, приводящие к целесообразности и необходимости применения в процессе обработки спутниковых изображений шестиугольных и треугольных решеток. Изучены информационные свойства снимков, показаны достоинства и недостатки неортогонального описания пространственной информации. Предложен новый подход к отслеживанию и кодированию контура объекта на черно-белом контрастном изображении, основанный на эвристиках. Показана возможность использования предлагаемого подхода совместно со спутниковыми данными, размещенными в открытом доступе. На конкретном спутниковом изображении, полученном из открытых источников, показан пример использования предлагаемого подхода. На этом же тестовом спутниковом изображении описан процесс формирования информативных признаков для последующего распознавания объекта и построения на их основе специальной матрицы формы. Отмечено, что представление на гексагональной и треугольной решетках допускают как программную реализацию метода, так и использование схемных решений при построении систем технического зрения робототехнических комплексов. Разработаны рекомендации по использованию неортогональных описаний данных. Отмечена возможность применения предлагаемого подхода для отслеживания границ горнопромышленных объектов. Таких, как, например, объекты добычи общераспространенных полезных ископаемых.

**Ключевые слова:** математика на решетках, бинарное изображение, элементарный вектор, информативность признака, система технического зрения, неортогональное описание, спутниковая идентификация, эвристики.

**Благодарность:** Работа выполнена по Госзаданию ХМАО–Югры (Сургутский государственный университет).

**Для цитирования:** Крамаров С.О., Митясова О.Ю., Храмов В.В. Спутниковая идентификация объектов земной поверхности с использованием неортогонального описания исходных данных // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 4. – С. 154–166. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_4\_0\_154.

---

## Satellite-based identification of land objects using nonorthogonal representation of source data

S.O. Kramarov<sup>1</sup>, O.Yu. Mityasova<sup>1</sup>, V.V. Khramov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Surgut State University, Scientific and Educational Center, Surgut, Russia,  
e-mail: maovo@yandex.ru

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

---

**Abstract:** The article discusses theory of satellite image representation on non-rectangular lattice and feasibility of this approach. The background of the expediency and essentiality of hexagonal and triangular lattices in satellite image processing is presented. The information capacities of images are examined, and the advantages/disadvantages of nonorthogonal representation of spatial information are demonstrated. A new approach is proposed to detection and coding of an object form in a black-and-white contrast image based on heuristics. It is possible to use the proposed approach together with the satellite data in open access. A case-study of the approach application to a specific satellite image is presented. The same image is used to describe formation of informative attributes for the further identification of objects and construction of the object form matrix. The hexagonal and triangular lattice representations allow software implementation and circuit designing in computer vision engineering for robotics. The recommendations on using the nonorthogonal data representation are given. This approach is also applicable to tracing boundaries of mine objects, for instance, in common mineral mining.

**Key words:** mathematics of lattices, binary image, elementary vector, information capacity of attribute, computer vision, nonorthogonal description, satellite-based identification, heuristics.

**Acknowledgements:** The study was performed under state contract between the Khanty-Mansi Autonomous Area–Yugra and the Surgut State University

**For citation:** Kramarov S. O., Mityasova O. Yu., Khramov V. V. Satellite-based identification of land objects using nonorthogonal representation of source data. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(4):154-166. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_4\_0\_154.

---

### Введение

Развитие информационных технологий, моделей и методов интеллектуального анализа данных как для реальных, так и для виртуальных изображений, основанных на семантических особенностях исследуемых систем, явлений или процессов, позволяет применять эффективные способы их идентификации (в том числе и неортогональные – треугольные и гексагональные растры), что в итоге позволяет обеспечивать необходимую обоснованность принимаемых решений, включая методы интеллектуально-адаптивного управления [1 – 2].

Рассмотрим некоторые особенности подходов интеллектуального анализа данных (ИАД), допускающих визуализацию и когнитивную обработку информации

и когнитивную обработку информационных объектов (ИО) на неортогональных решетках.

ИАД дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) может быть основан на изучении контуров объектов изображений, которые зачастую являются областями высокой концентрации информации о реальных объектах, т.к. они слабо зависят от цвета и яркости изображения, устойчивы к смене типов контролируемых датчиков, почти не зависят от погоды, времени года и суток при проведении съемок.

Данные анализа, основанные на оптических методах геолокации объектов при ДЗЗ играют особую роль в прогнозировании горно-геологических усло-

вий, в особенности при сопоставлении карт геодинамических зон (и зон древних разломов) с планами горных работ [3], что часто позволяет сделать вывод о приуроченности вывалов и других горно-геологических осложнений к вертикальной проекции локальных зон повышенной трещиноватости, причем около 90% вывалов расположено в пределах таких зон и зачастую связано с их пересечениями (узлами).

Наиболее полное и рациональное использование данных ДЗЗ возможно лишь в комплексе с традиционными геологическими, геофизическими и геохимическими исследованиями. В этом направлении необходима разработка четкого технологического процесса синтеза и обработки разнородной, но одинаково важной в геологическом и поисковом отношении информации, где контурный анализ зачастую играет определяющую роль, причем распознавание контура имеет весьма важное значение для идентификации самого объекта. «Оконтуривание» геологических объектов, как правило, связано с большим объемом неавтоматизированных методов, а зачастую осуществляется и вручную. При этом маркшейдерский контроль добычи и вскрытия земной поверхности проводится с целью обеспечения достоверного учета полезных ископаемых и их сопутных компонентов, как извлекаемых, так и оставляемых в недрах, что требует постоянного оперативного и автоматизированного контроля управления.

### **Исходные предпосылки**

Выявление и кодирование контуров ИО в геоинформационных системах (ГИС) традиционно осуществляется на прямоугольных растрах, при этом имеются две стандартные длины элементарных векторов (ЭВ): 1 и  $\sqrt{2}$ . В ряде случаев это может затруднять вычисление вторичных признаков распознавания,

учитывающих форму и длину исследуемого контура. Реализация гексагонального или треугольного растров может быть более перспективна и позволит получать дополнительную информацию об объектах, необходимую для их распознавания. Применение шестиугольного растра, где ЭВ имеют только одну длину (в отличие от прямоугольных растров), должно существенно снижать погрешность, что подробно обсуждено в работах [4, 5]. В работе [6] было показано, что дискретное представление кривых на гексагональных растрах передает форму и приближает размеры объекта к реальным в 80–85% случаях.

Наиболее информативной в связи с этим может стать реализация гексагонального или треугольного растров, для которых имеется только одна стандартная длина ЭВ, из которых и формируется контур исследуемого объекта. В этом случае реализуется шесть (или три) возможных направлений ЭВ, а выражение для вычисления очередного кода Фримана ЭВ на таких решетках имеет следующий вид [2]:

$$\gamma(i+1) = \text{mod } 6 (\gamma(i) + k + \alpha), \quad (1)$$

где  $\alpha = 2$ ;  $k$  — количество соседних пикселей, потенциально принадлежащих объекту;  $\gamma(i)$  — текущий обрабатываемый пиксель.

*Примечание:* Граничным считается пиксель, имеющий общие стороны у образовавших его фигур. При этом, хотя сторон у треугольника три, номера ЭВ совпадают с гексагональным вариантом. Например, если в одной точке контура номера возможных ЭВ будут нечетными, то в любой соседней, соответственно, четными, и наоборот.

Преобразования изображений [7] на традиционных ортогональных решетках, такие как фильтрация, нормализация, бинаризация, используются для извлечения необходимой информации при

идентификации объектов и уточнения их характеристик [8, 9]. Методика предварительной обработки исходного изображения объекта в виде векторной модели, с использованием интегральных признаков формы контура объекта путем сопоставления интегральных признаков формы контура, вычисленных по соответствующим формулам, для каждого из находящихся на изображении объектов земной поверхности, нами была ранее подробно рассмотрена и запатентована [2]. В других методах обработки изображений, представленных на гексагональных решетках, также используются аналогичные преобразования [7, 8], включая методы формирования единого геоинформационного пространства, основанные на нечеткой триангуляции [10]. На реальных и виртуальных изображениях может присутствовать так называемый технологический шум, поэтому стали применяться различные методы фильтрации. При этом операция свертки становится более эффективной при переходе в частотную область за счет различных преобразований Фурье, которые преобразуют изображения из пространственной области в область спектра [8].

### **Состояние проблемы**

Преобразование Фурье используется во многих областях науки — в физике, теории чисел, комбинаторике, обработке сигналов, теории вероятностей, статистике, криптографии, акустике, океанологии, оптике, геометрии и многих других [10–12]. Известны исследования некоторых вариантов двумерного быстрого преобразования Фурье, т.н. 2-D FFT [13–15], пригодных для использования в системах обработки видеоданных на гексагональных решетках. Так, Нель [13] получал двумерное преобразование Уолша в не ортогональных осях. В дальнейших исследованиях вы-

яснилось, что алгоритм 2-D FFT нуждается в дополнительной интерполяции, а быстрый дискретный алгоритм преобразования Фурье может быть представлен на основе подхода Кули-Туки в параметрах гексагональной решетки [14, 15].

### **Примеры реализации предлагаемого подхода**

Нами была проведена обработка современных спутниковых снимков ДЗЗ одного и того же объекта добычи полезных ископаемых открытым способом, полученных на различных географических территориях. В качестве такого примера приведем характеристики песчаного карьера Попова Гора (Матыра), геоданные которого (54.965516425089, 38.828378401611) были взяты нами из открытых спутниковых данных с использованием программы Google Earth.

Стандартные отклонения рассчитывались отдельно для каждого признака объекта по совокупности данных с современных снимков. Для признаков распознавания более низкое стандартное отклонение означало, что вероятность «узнавания» распознаваемого объекта — выше.

Результаты вычислений приведены в табл. 1. Как видно из табл. 1, на всех исследованных объектах, полученных из одного открытого снимка ДЗЗ, число признаков, характеризующих форму объекта, на гексагональной решетке практически вдвое превышает аналогичный параметр для прямоугольного раstra.

Более детальные исследования были проведены нами для уточнения особенностей применения кода Фримена [16] на гексагональной решетке для автоматизированного распознавания контура объекта.

На рис. 1 показаны ЭВ по Фримену для гексагонального раstra, где при-

Таблица 1

**Сравнение признаков распознавания объекта при использовании прямоугольного и гексагонального растров**  
**Comparison of attributes in object identification using rectangular and hexagonal raster images**

Показатели	Основной карьер	Прилегающий карьер 1	Прилегающий карьер 2
<b>Прямоугольный растр</b>			
Минимальное значение стандартного отклонения	0,1426	0,4631	0,0456
Максимальное значение стандартного отклонения	0,4538	0,5508	0,2998
Число признаков	8	8	8
<b>Гексагональный растр</b>			
Минимальное значение стандартного отклонения	0,0036	0,0012	0,0001
Максимальное значение стандартного отклонения	0,1609	0,2314	0,1794
Число признаков	15	15	15

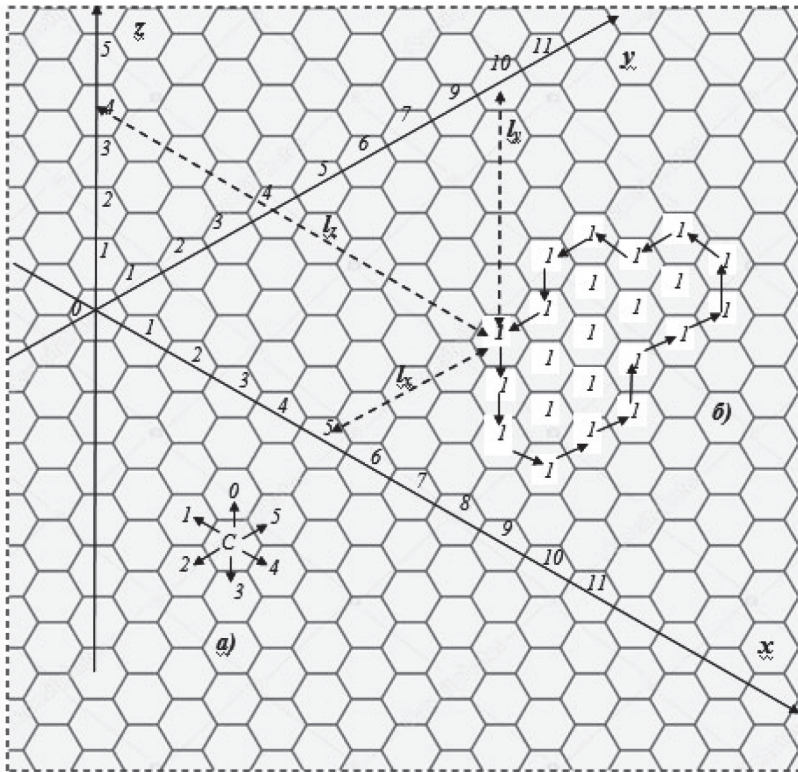


Рис. 1. Особенности использования гексагональной решетки: возможные варианты ЭВ (а); пример выделения контура объекта (б)

Fig. 1. Use of hexagonal lattice: (a) alternatives; (b) example of object form detection

веден также пример выделения контура объекта, когда определяются координаты  $x$ ,  $y$ ,  $z$  для каждой точки, принадлежащей контуру. Для реализации данного метода определим точки начала обхода контура, в качестве которых, как правило, используются крайние:  $\{\min x(\min y(\min z))\}$ . Таким образом выбирается точка контура, имеющая минимальное значение  $z$ . Если таких одинаковых точек несколько, то выбирается та из них, которая имеет минимальное значение  $y$ , если и таких несколько, то выбирается та из них, которая имеет минимальное значение  $x$ .

Затем выполняется обход относительно этих начальных точек внешнего контура объекта, в результате чего получается параметрическое представление контура

$$\{x(s), y(s), z(s)\}, s = \overline{1, S},$$

где  $S$  — длина контура в пикселях [6].

Иными словами, осуществляется описание всех точек по порядку, начиная с первой. Сначала для каждого пикселя сохраняются значения координат  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . Далее отдельно для  $x$ ,  $y$ ,  $z$  строится двумерный график, по оси  $x$  которого располагается порядковый номер точки контура, а по оси  $y$  — значение координаты. Подобный график позволяет наглядно

Таблица 2

**Реализация метода**

**Implementation of coordinate control method**

Коды Фримена		Количество соседних к данному пикселю объекта $k$	Координаты точек контура		
$\gamma_i$	$\gamma_{i+1}$		$L_x$	$L_y$	$L_z$
2	3	4	4	5	9
3	3	4	3	6	9
3	4	3	2	7	9
4	5	3	2	8	10
5	5	4	3	8	11
5	0	3	4	8	12
0	5	5	5	7	12
5	5	4	6	7	13
5	0	3	7	7	14
0	1	3	8	6	14
1	2	3	8	5	13
2	1	5	7	5	12
1	2	3	7	4	11
2	3	3	6	4	10
3	2	5	5	5	10
2	3	3	4	5	9

отобразить изменения значений координат контура.

Для приведенного на рис. 1, б примера параметрическое описание можно представить в виде табл. 2 и рис. 2. Анализ табл. 2 и рис. 2 позволяет по-

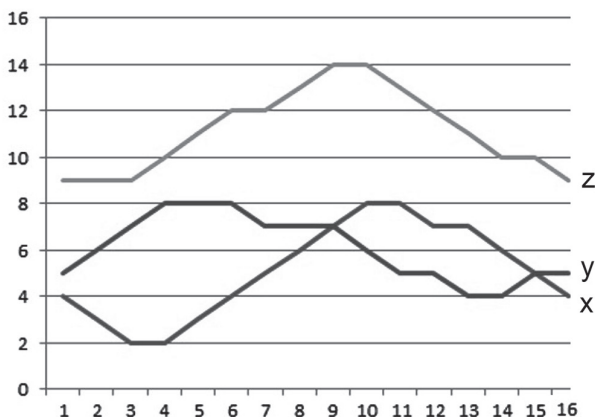


Рис. 2. Параметрическое описание контура

Fig. 2. Parametric representation of object form

Таблица 3

**Управления по координатам**  
**Coordinate controls**

Код Фримена	1-й реверсивный счетчик (x)		2-й реверсивный счетчик (y)		3-й реверсивный счетчик (z)	
	+	-	+	-	+	-
0	0	0	1	0	1	0
1	1	0	0	1	0	0
2	1	0	0	0	1	0
3	0	0	0	1	0	1
4	0	1	1	0	0	0
5	0	1	0	0	0	1

строить функциональную схему способа, реализующего предлагаемый метод.

Зафиксируем, как изменяются все три координаты при получении по формуле (1) очередного кода Фримена и соответствующего элементарного вектора (табл. 3).

Первоначально в таблицу заносятся значения  $\{\min x(\min y(\min z))\}$ , затем в процессе отслеживания контура при помощи (1) вычисляются следующие значения координат. Эти последовательные координаты точек также записываются (например, во временную память). При этом на каждом шаге контролируется зависимость  $z = x+y$ . Процедура заканчивается, если контур замыкается, то есть в счетчиках (вершинах стеков) оказываются  $\{\min x(\min y(\min z))\}$ . Процедура также заканчивается при выходе контура на границу изображения (снимка). При успешном прохождении вдоль контура его координаты уже могут быть зафиксированы различными способами (то есть записаны либо непосредственно в память компьютера, либо в отдельный файл, либо в специальную базу данных, могут использоваться и другие варианты фиксации данных).

Следует отметить, что приведенные выше рассуждения могут реализовываться программно, как это было подробно описано в [7].

### Формирование признаков

Итак, в памяти вычислительного устройства, например, в соответствующих стеках, сохранены зависимости  $(x_i, y_i, z_i)$ , обеспечивающие параметрическое описание этого контура (рис. 2):

$$\begin{cases} x = x(s); \\ y = y(s); \\ z = z(s), \end{cases} \quad (2)$$

где  $s = h \cdot i$ ;  $h = \text{const}$  для гексагональной решетки, обычно принимается за 1.

Коэффициенты ортогонального разложения можно вычислить по формуле:

$$A_i = \int_c^d f(x)\varphi_i(x)\rho(x)dx \quad (3)$$

где  $f(x)$  — функция параметрического описания контура;  $\varphi_i(x)$  — ортогональная функция;  $\rho(x)$  — нормировочная функция (вес).

$$\begin{aligned} A_0 &= \sqrt{2m}Y_0; \\ A_1 &= \sqrt{4m}2\left(Y_0 - \frac{3}{2}Y_1\right); \\ A_2 &= 3\sqrt{6m}\left(Y_0 - 4Y_1 + \frac{10}{3}Y_1\right); \end{aligned} \quad (4)$$

и т.д.

Такой способ вычислений приближается по эффективности к БПФ, что обеспечивает минимальное «время получения очередного коэффициента разложения и фактически определяется временем вычисления одного старшего интеграла».

Для повышения информативности признаков воспользуемся так называемыми «зеркальными» к (2) функциями, которые, соответственно, будут иметь вид

$$\begin{aligned} \bar{x}(s) &= x(S-s), \bar{y}(s) = y(S-s), \\ \bar{z}(s) &= z(S-s) \end{aligned}$$

позволяющий подробнее учесть особенности контура.

Обозначим

$$f_1(s) = x(s); f_2(s) = y(s); f_3(s) = z(s);$$

$$f_4(s) = \bar{x}(s); f_5(s) = \bar{y}(s); f_6(s) = \bar{z}(s)$$

Образует систему признаков идентификации объектов. Каждое из сочетаний  $f_1 - f_6$  представляет собой отдельный признак объекта. Для удобства все эти сочетания можно представить в виде матрицы, имеющей вид:

$$\Phi = \begin{bmatrix} \Phi_{11} & \Phi_{12} & \dots & \Phi_{16} \\ \Phi_{21} & \Phi_{22} & \dots & \Phi_{26} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Phi_{61} & \Phi_{62} & \dots & \Phi_{66} \end{bmatrix},$$

где

$$\Phi_{ij} = \frac{\int_0^{\infty} f_i(s)e^{-ps} ds}{\int_0^{\infty} f_j(s)e^{-ps} ds}. \quad (5)$$

Так как  $\Phi_{ij} = \Phi_{ij}^{-1}$ ,  $\Phi_{ii} \equiv 1$ , то и информативность этой матрицы не изменится, если мы опустим часть ее элементов. Окончательно в качестве признаков будем иметь:

$$\Phi = \begin{bmatrix} 1 & \Phi_{12} & \dots & \Phi_{16} \\ 0 & 1 & \dots & \Phi_{26} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Эту и подобную матрицу будем называть матрицей формы.

### Вычислительный эксперимент по определению признаков формы объекта

В постоянно пополняемой открытой базе космических снимков в сети Интернет можно найти как «свежие» снимки территории, так и архивные. Наличие подобной информации позволяет проводить как ретроспективный анализ, так и получать информацию для отслеживания топологии объектов земной поверхности. В том числе можно отслеживать появление или изменение границ объектов добычи общераспространенных полезных ископаемых.

Следует отметить, что гексагональный растр дает реальную возможность для интерпретации и использования открытых данных. Рассмотрим пример реализации разработанного нами подхода. Для этой цели используем данные из открытых источников (рис. 3).

Загруженный снимок был обработан при помощи описанного выше способа. Предварительно, исходный снимок был преобразован к двухградационному виду (объект-фон). Затем программным путем преобразованное бинарное изображение было перенесено на шестиугольную сетку и обработано с исполь-

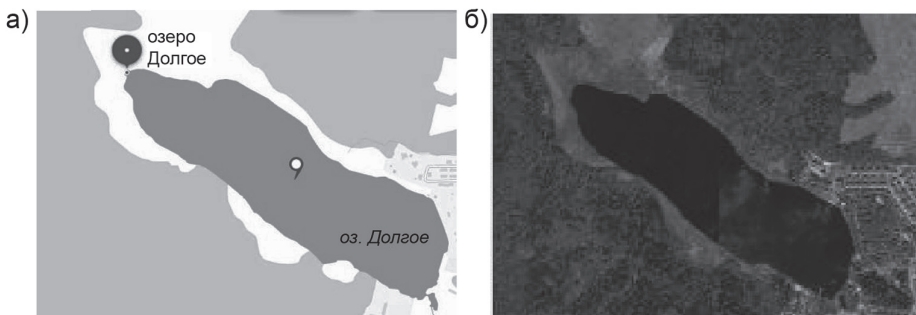


Рис. 3. Исходные данные (озеро Долгое, Московская обл., Дмитровский городской округ 56.072366 37.317225): фрагмент карты (а); соответствующий спутниковый снимок (б)

Fig. 3. Source data (Lake Dolgoye, Moscow Region, Dmitrov district 56.072366 37.317225): (a) fragment of the map; (b) related satellite image



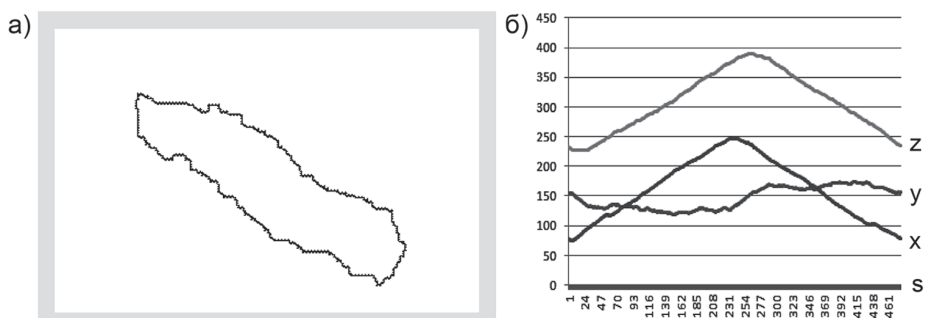


Рис. 4. Полученные результаты: результат формирования контура по (1) (а); параметрическое представление контура (б)

Fig. 4. Results of (a) object form detection by (1); (b) parametric representation of object form

зованием эвристики (1). На рис. 4 показаны результаты обработки.

Как уже было сказано выше, записанные координаты контура  $x$ ,  $y$ ,  $z$  могут быть представлены в виде массивов чисел, на основе которых строятся графики, наглядно отображающие изменения координат, т.е. параметрическое описание объекта.

Далее используем зависимость (5) и массивы со значениями координат для формирования признаков контура объекта. Для удобства получаемые числовые значения представляем в виде таблицы, при этом малоинформативные значения ниже главной диагонали отбрасываются, и формируется матрица формы согласно матрице формы (6).

Каждое значение в полученной таблице, не равное 1 или 0, является инфор-

мативным признаком идентификации объекта.

Для тестового объекта (рис. 3) матрица формы представлена в табл. 4.

Полученные матрицы формы на основе  $\Phi$ -признаков могут использоваться в процессе распознавания объектов на спутниковых изображениях [12]. Сформированные значения признаков сравниваются со значениями, вычисляемыми по эталонным представлениям контура исследуемого объекта, что позволяет дать оценку степени отклонения границ. В условиях деятельности по добыче полезных ископаемых повышается вероятность обвалов, оползней [17], разломов, что влияет на экологическое состояние окружающей месторождение местности и может быть отслежено по спутниковым изображениям (в том числе и с по-

Таблица 4

**Матрица формы объекта на основе  $\Phi$ -признаков идентификации**  
**Object form matrix based on  $\Phi$ -attributes of identification**

	1	2	3	4	5	6
1	1	0,503953	1,984312	0,335086	2,984312	0,664914
2	0	1	1,503953	0,522761	1,912922	0,343298
3	0	0	1	2,912922	0,656702	1,522761
4	0	0	0	1	0,532627	2,021764
5	0	0	0	0	1	0,354151
6	0	0	0	0	0	1

мощью предлагаемого в данной работе способа).

Следует отметить, что матрицы Ф-признаков, полученные при анализе параметрических представлений контуров на шестиугольном растре, позволяют повысить качество результатов процесса идентификации, если сравнивать их с аналогичными результатами на прямоугольном растре, как это было показано выше.

Предлагаемый в работе подход направлен в основном на получение новой, позволяющей автоматизировать обработку информации о протяженных объектах, имеющих замкнутый контур, а конкретный метод распознавания и описания объекта должен выбираться исходя из конкретного снимка и его особенностей. Авторы работы не ограничивают себя гиперспектральными снимками, поэтому, когда в спектральных снимках космических снимках одни частоты подчеркивают видимость одних объектов (например, дороги, трубопроводы и пр.), то другие частоты более эффективно использовать для описания других объектов (водные объекты, реки и др.) Результирующее бинарное изображение (при необходимости) может подчеркивать или исключать тот или иной частотный диапазон.

Совместное использование информации о полученных границах и информации из дополнительных источников в результате обработки снимков с помощью описанной выше методики позволяет получать сведения о том, какие именно породы располагаются в отслеженных на снимке границах, а также

о характеристиках карьерных полей и другие сведения, например, расширяет возможности по идентификации пожаров на горных предприятиях. Кроме того, предлагаемая методика направлена на использование и обработку любых, в том числе и открытых спутниковых растровых изображений в различных диапазонах длин электромагнитных волн (не только в видимом, но и, например, NIR-диапазоне), что существенно снижает себестоимость этих работ.

Идеи, рассмотренные в настоящей работе, авторы планируют использовать в дальнейших исследованиях для горнодобывающей промышленности [18, 19], чтобы отслеживать границы объектов добычи, в том числе и для общераспространенных полезных ископаемых.

### **Выводы**

В работе были рассмотрены вопросы возможного представления объектов горнодобывающей промышленности, а также процессов исследования их свойств путем обработки открытых спутниковых данных ДЗЗ с использованием гексагональных или треугольных растров (решеток) в реальном или виртуальном семантическом пространстве. Результаты, полученные в данном исследовании, позволяют осуществлять интеллектуальный анализ данных спутниковых снимков с последующей идентификацией интересующих исследователей объектов земной поверхности. Результаты исследования позволяют получать дополнительную информацию об объектах добычи общераспространенных полезных ископаемых.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Темкин И. О., Клебанов Д. А., Дерябин С. А., Конов И. С., Построение интеллектуальной геоинформационной системы горного предприятия с использованием методов прогнозной аналитики // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 3. — С. 114–125. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-3-0-114-125.

2. Акперов И. Г., Крамаров С. О., Храмов В. В., Митясова О. Ю., Повх В. И. Патент РФ № 2640331, 27.12.2017. Способ идентификации протяженных объектов земной поверхности. 2017. Бюл. 36.

3. Farahbakhsh E., Chandra R., Olierook H. K. H., Scalzo R., Clark C., Reddy S. M., Muller R. D. Computer vision-based framework for extracting geological lineaments from optical remote sensing data // International Journal of Remote Sensing. 2020. Vol. 41. No 5. Pp. 1760–1787. DOI: 10.1080/01431161.2019.1674462.

4. Майоров В. Д., Храмов В. В. Эвристические способы контурного кодирования моделей информационных объектов в системе технического зрения робота // Вестник РГУПС. — 2014. — № 1. — С. 62–69.

5. Freeman H. On the digital-computer classification of geometric line pattern / Proceedings of the National Electronics Conference. 1962. No 18. Pp. 312–324.

6. Гинзбург М. М., Путятин Е. П. Сравнительный анализ прямоугольной и гексагональной решеток для дискретизации кривых // Бионика интеллекта. — 2012. — № 2(79). — С. 13–18.

7. Визильтер Ю. В., Желтов С. Ю., Бондаренко А. В., Ососков М. В., Моржин А. В. Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения: Курс лекций и практических занятий. — М.: Физматкнига, 2010. — 672 с.

8. Крамаров С. О., Косенок С. М., Храмов В. В. Intellectual analysis of object contours. Technical vision of robots / 2nd World Conference on Robotics and Artificial Intelligence. 2019. Osaka. P. 24.

9. Фурман Я. А., Кревецкий А. В., Передреьев А. К., Роженцов А. А., Хафизов Р. Г., Егوشина И. Л., Леухин А. Н. Введение в контурный анализ: приложение к обработке изображений и сигналов. — М.: Физматлит, 2002. — 592 с.

10. Kramarov S. O., Khramov V. V., Temkin I. O. The principles of formation of united geoinformational space based on fuzzy triangulation // Procedia Computer Science. 2017. Vol. 120. Pp. 835–843.

11. Singhal A., Goen A., Mohapatra T. T. Design and implementation of fast fourier transform (FFT) using VHDL code // International Journal of Emerging Research in Management & Technology. 2017. Vol. 6. No 8. Pp. 268–272. DOI: 10.23956/ijermt.v6i8.150.

12. Falsaperla S., Hammer C., Langer H. Advantages and pitfalls of pattern recognition selected cases in geophysics. Amsterdam: Elsevier, 2020, 330 p.

13. Nel A. L. Hexagonal image processing / COMSIG 1989 Proceedings. Southern African Conference on Communications and Signal Processing. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). 1989. Pp. 109–113.

14. Ehrhardt J. C. Hexagonal fast fourier transform with rectangular output // IEEE Transactions on Signal Processing. 1993. Vol. 41. No 3. Pp. 1469–1472. DOI: 10.1109/78.205759.

15. Mersereau R. M. A two-dimensional FFT for hexagonally sampled data // Digital signal processing. London: Academic Press, 1980. pp. 93–101.

16. Борисоглебский Д. А., Чепин Е. В. Усовершенствованный подход к задаче векторизации контуров на изображениях // Прикладная информатика. — 2013. — № 2 (44). — С. 89–93.

17. Yu Wang, Xiaofei Wang, Junfan Jian Remote sensing landslide recognition based on convolutional neural network // Mathematical Problems in Engineering. 2019. No 1. Pp. 1–12. DOI 10.1155/2019/8389368.

18. Каплунов Д. Р., Мельник В. В., Рыльникова М. В. Комплексное освоение недр. — Тула: ТулГУ, 2016. — 333 с.

19. Кузнецов Ю. Н., Стадник Д. А., Стадник Н. М., Волкова Ю. В. Теоретические основы формирования и реализации адресноориентированной информационной базы для автоматизированного проектирования технологической системы шахты // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2016. — № 1. — С. 77–87. **ГИАЭ**.

## REFERENCES

1. Temkin I. O., Klebanov D. A., Deryabin S. A., Konov I. S. Construction of intelligent geo-information system for a mine using forecasting analytics techniques. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no 3, pp. 114–125. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-3-0-114-125.
2. Akperov I. G., Kramarov S. O., Khramov V. V., Mityasova O. Yu., Povkh V. I. *Patent RU 2640331*, 27.12.2017.
3. Farahbakhsh E., Chandra R., Olierook H. K. H., Scalzo R., Clark C., Reddy S. M., Mulder R. D. Computer vision-based framework for extracting geological lineaments from optical remote sensing data. *International Journal of Remote Sensing*. 2020. Vol. 41. No 5. Pp. 1760–1787. DOI: 10.1080/01431161.2019.1674462.
4. Mayorov V. D., Khramov V. V. Heuristic ways of contour coding of models of information objects in robot vision. *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya*. 2014, no 1, pp. 62–69. [In Russ].
5. Freeman H. On the digital-computer classification of geometric line pattern. *Proceedings of the National Electronics Conference*. 1962. No 18. Pp. 312–324.
6. Ginzburg M. M., Putyatin E. P. Comparative analysis of rectangular and hexagonal lattices for curve discretization. *Bionika intellekta*. 2012, no 2(79), pp. 13–18. [In Russ].
7. Визильтер Ю. В., Желтов С. Ю., Бондаренко А. В., Ососков М. В., Моржин А. В. *Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения: Курс лекций и практических занятий*, Moscow, Физматкнига, 2010, 672 p.
8. Kramarov S. O., Kosenok S. M., Khramov V. V. Intellectual analysis of object contours. Technical vision of robots. *2nd World Conference on Robotics and Artificial Intelligence*. 2019. Osaka. P. 24.
9. Furman Ya. A., Krevetskiy A. V., Peredreev A. K., Rozhentsov A. A., Khafizov R. G., Egozhina I. L., Leukhin A. N. *Vvedenie v konturnyy analiz: prilozhenie k obrabotke izobrazheniy i signalov* [Introduction to contour analysis; Applications for image and signal processing], Moscow, Fizmatlit, 2002, 592 p.
10. Kramarov S. O., Khramov V. V., Temkin I. O. The principles of formation of united geo-informational space based on fuzzy triangulation. *Procedia Computer Science*. 2017. Vol. 120. Pp. 835–843.
11. Singhal A., Goen A., Mohapatra T. T. Design and implementation of fast fourier transform (FFT) using VHDL code. *International Journal of Emerging Research in Management & Technology*. 2017. Vol. 6. No 8. Pp. 268–272. DOI: 10.23956/ijermt.v6i8.150.
12. Falsaperla S., Hammer C., Langer H. *Advantages and pitfalls of pattern recognition selected cases in geophysics*. Amsterdam: Elsevier, 2020, 330 p.
13. Nel A. L. Hexagonal image processing. *COMSIG 1989 Proceedings. Southern African Conference on Communications and Signal Processing*. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). 1989. Pp. 109–113.
14. Ehrhardt J. C. Hexagonal fast fourier transform with rectangular output. *IEEE Transactions on Signal Processing*. 1993. Vol. 41. No 3. Pp. 1469–1472. DOI: 10.1109/78.205759.
15. Mersereau R. M. *A two-dimensional FFT for hexagonally sampled data. Digital signal processing*. London: Academic Press, 1980. pp. 93–101.
16. Borisoglebskiy D. A., Chepin E. V. Improved approach to the vectorization problem of contours in images. *Applied informatics*. 2013, no 2 (44), pp. 89–93. [In Russ].
17. Yu Wang, Xiaofei Wang, Junfan Jian Remote sensing landslide recognition based on convolutional neural network. *Mathematical Problems in Engineering*. 2019. No 1. Pp. 1–12. DOI 10.1155/2019/8389368.
18. Kaplunov D. R., Mel'nik V. V., Ryl'nikova M. V. *Kompleksnoe osvoenie nedr* [Complex development of mineral resources]. Tula, TulGU, 2016, 333 p.
19. Kuznetsov Yu. N., Stadnik D. A., Stadnik N. M., Volkova Yu. V. Theoretical bases of formation and implementation of targeted-oriented information base for aided design process of mine. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2016, no 1, pp. 77–87. [In Russ].

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Крамаров Сергей Олегович*<sup>1</sup> – д-р физ.-мат. наук, профессор, главный научный сотрудник, e-mail: maoovo@yandex.ru,  
*Митясова Ольга Юрьевна*<sup>1</sup> – участник временного научного коллектива,  
*Храмов Владимир Викторович* – канд. техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, e-mail: vxramov@inbox.ru,  
Южный университет (Институт управления, бизнеса и права),  
<sup>1</sup> Сургутский государственный университет, научно-образовательный центр.  
**Для контактов:** Крамаров С.О., e-mail: maoovo@yandex.ru.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*S.O. Kramarov*<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Phys. Mathem.), Professor, Chief Researcher, e-mail: maoovo@yandex.ru,  
*O.Yu. Mityasova*<sup>1</sup>, Member of the Temporary Research Team,  
*V.V. Khramov*, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, Leading Researcher, e-mail: vxramov@inbox.ru,  
Southern University (Institute of Management, Business and Law), Rostov-on-Don, 344068, Russia,  
<sup>1</sup> Surgut State University (SurSU), Scientific and Educational Center, 628412, Surgut, Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug–Ugra, Russia.  
**Corresponding author:** S.O. Kramarov, e-mail: maoovo@yandex.ru.

Получена редакцией 13.05.2020; получена после рецензии 30.10.2020; принята к печати 10.03.2021.  
Received by the editors 13.05.2020; received after the review 30.10.2020; accepted for printing 10.03.2021.



---

## ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

---

### СНИЖЕНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ НА УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ (2020, № 6, СБ 23, 44 с.)

*Корнев А.В., Мешков А.А., Коршунов Г.И., Кабанов Е.И., Еремеева А.М., Панькин А.Н.*

Рассмотрены современные методические подходы к обоснованию и выбору противопылевых мероприятий при ведении очистных и подготовительных работ на угольных шахтах; представлены рекомендации по устранению и снижению влияния факторов, отрицательно воздействующих на эффективность мероприятий по борьбе с пылью и пылевую обстановку в целом на рабочих местах в высокопроизводительных забоях угольных шахт; приведены результаты анализа условий труда подземного персонала шахт по химическому фактору и рекомендованы способы снижения концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны, обусловленной работой дизелевозов; предложен метод оценки профессиональных рисков, позволяющий повысить эффективность экспертной оценки при выборе мероприятий по управлению рисками.

### REDUCING OCCUPATIONAL RISKS AT COAL MINING ENTERPRISES

*Kornev A.V., Meshkov A.A., Korshunov G.I., Kabanov E.I., Eremeeva A.M., Pan'kin A.N.*

Modern methodological approaches to the justification and selection of anti-dust measures in the conduct of cleaning and preparatory work at coal mines are considered; recommendations are presented to eliminate and reduce the influence of factors that negatively affect the effectiveness of dust control measures and the dust situation in general at workplaces in high-performance coal mine faces; the results of the analysis of working conditions of underground personnel mines according to the chemical factor and the recommended ways of reducing the concentration of harmful substances in the air of the working area due to locomotives; a method for the assessment of occupational risks, which allows to increase the efficiency of the expert assessment of risk management activities.