

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ / ORIGINAL PAPERS

DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-154-161

Отслеживание изменений топологии объектов добычи полезных ископаемых на прямоугольных и гексагональных решетках**Крамаров С. О., Митясова О. Ю.**

Сургутский государственный университет, г. Сургут, Россия;

✉maoovo@yandex.ru

Аннотация: Технологии дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) при реализации геологоразведочных работ во многом определяют их эффективность. Поэтому разработка нового методического обеспечения использования данных ДЗЗ в прогнозировании горно-геологических условий является актуальным направлением. Исследования основываются на анализе оценки информационной, социальной и экономической эффективности применения данных ДЗЗ на месторождениях полезных ископаемых. Отмечена роль применения новых технологий (в том числе дистанционных) в процессе оптимизации начальных стадий геологоразведочного процесса. Показаны возможности использования данных ДЗЗ для оценки общего характера, направленности и масштабов изменения природной среды под влиянием разработки месторождений. Предлагается методика, которую можно использовать в процессе отслеживания изменений топологии объектов при добыче полезных ископаемых. Рассмотрены различия в результатах, получаемых при использовании предлагаемой методики обработки спутниковых изображений на прямоугольном и гексагональном растре. Отмечены преимущества применения шестиугольной решетки для отслеживания границ объектов и формирования признаков. Приведены практические примеры из числа обработанных при помощи предлагаемой методики спутниковых изображений из открытых источников. Результаты, полученные в данном исследовании, позволяют осуществлять интеллектуальный анализ данных спутниковых снимков с последующей идентификацией объектов земной поверхности, интересующих исследователя. Показан пример использования полученных результатов совместно со специализированными программными средствами (такими как картографическая геоинформационная система GIS INTEGRO с возможностями решения геологических задач или зарубежная система ArcGIS) для построения контурных карт территории и получения ее описания на основе топологических отношений и метрической информации.

Ключевые слова: объект, добыча полезных ископаемых, спутниковый снимок, данные дистанционного зондирования Земли, бинарное изображение, код Фримена, топология.

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

Для цитирования: Крамаров С. О., Митясова О. Ю. Отслеживание изменений топологии объектов добычи полезных ископаемых на прямоугольных и гексагональных решетках. *Горные науки и технологии*. 2020;5(2):154-161. DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-154-161.

Tracking Changes in Mining Object Topology on Rectangular and Hexagonal Grids**S. O. Kramarov, O. Yu. Mityasova**

Surgut State University, Surgut, Russia;

✉maoovo@yandex.ru

Abstract: The Earth remote sensing technologies (ERS) in exploration largely determine their effectiveness. Therefore, development of a new methodological support for the use of remote sensing data in predicting mining and geological conditions is a key priority area. The studies are based on the analysis of the assessment of information, social, and economic efficiency of remote sensing data application at mineral deposits. The role of application of new technologies (including remote ones) in the process of optimizing initial exploration stages is noted. The possibilities of using remote sensing data to assess general nature, direction, and extent of environmental changes due to mining activities are shown. A technique is proposed that can be used in the process of tracking changes in the topology of objects in the course of mining. The differences in the results obtained using the proposed technique for processing satellite images on rectangular and hexagonal grids (rasters) are considered. The advantages of using the hexagonal grid for tracking the boundaries of objects and formation of signs are shown.

Practical examples – a number of open source satellite images processed using the proposed method – are presented. The study findings allow applying intelligent analysis of satellite imagery data with the subsequent identification of the earth's surface objects of interest. An example of using the obtained results together with specialized software tools (such as GIS INTEGRO geographic information system capable of solving geological problems, or the foreign ArcGIS system) for constructing contour maps of the territory and obtaining its description based on topological relations and metric information is shown.

Keywords: object, mining, satellite imagery, the Earth remote sensing data, binary image, Freeman code, topology.

Acknowledgement: The study was performed as assigned by KhMAD-Yugra (State Order) (Surgut State University).

For citation: Kramarov S. O., Mityasova O. Yu. Tracking changes in mining object topology on rectangular and hexagonal grids. *Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia)*. 2020;5(2):154-161. (In Russ.). DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-154-161.

Введение

Геологоразведочная отрасль – важнейшая составная часть минерально-сырьевого комплекса, обеспечивающая создание и воспроизводство сырьевой базы для успешной работы и перспективного развития добывающих отраслей. Управление геологическим изучением недр является составной частью управления недропользованием.

Общей целью геологоразведочных работ является научно обоснованное, планомерное и экономически эффективное обеспечение добывающей промышленности разведанными запасами полезных ископаемых, изучение способов их полной, комплексной и экономически рациональной выемки в процессе эксплуатации месторождений с учетом охраны окружающей среды. Геологическая служба, геологические организации также оказывают услуги по изучению недр при строительстве и эксплуатации подземных сооружений, для нужд сельского хозяйства. Инженерно-геологическое изучение отдельных районов, территорий также необходимо для подготовки подземного захоронения вредных веществ и отходов производства, сброса сточных вод и решения других вопросов.

Разведка месторождений полезных ископаемых [3, 5, 10, 12] относится к сложным и комплексным задачам, для эффективного решения которых специалисту требуется максимально возможный объем актуальной информации об исследуемом объекте или участке [11].

Геологическое картографирование, включающее изучение элементов ландшафта, различных образований, недр, можно считать фундаментом любой геологоразведочной программы. Этот процесс дает возможность получить информацию о физических процессах формирования и изменения земной коры. А с помощью данных дистанционного зондирования в сочетании с информацией из других источников исследователи получают доступ к такой важной информации, как, например, сведения о составе и видоизменении пород, литологии, топографии поверхности, геоморфологии [11].

В настоящее время многовариантная система видов и способов получения и отображения геологической информации, среди которой информация из космоса занимает одно из ведущих мест, открывает возможность дальнейшей оптимизации начальных стадий геологоразведочного процесса. Внедрение материалов аэрокосмических съемок в теорию и практику геологии привело к совершенствованию методов региональных геологических исследований, а также к повышению качества карт геологического содержания.

Цели и задачи

В России имеется потенциал для применения космических технологий [18] в геологоразведке [3, 5, 10, 12, 17]. Развитие технологий, используемых горнопромышленными предприятиями [26], и новых геологических методов [17], в том числе дистанционных, позволяет в корот-

кие сроки и по максимально большим территориям дать оценку перспектив обнаружения месторождений. Разведка из космоса позволяет значительно оптимизировать процессы поиска полезных ископаемых. Применение методов ДЗЗ [6, 14] позволяет уменьшить стоимость геологоразведочных работ в результате проведения комплексных исследований обширных территорий, которые довольно часто недоступны для традиционных методов геологоразведки по тем или иным причинам [13]. Однако, несмотря на это, требуется государственная и инвестиционная поддержка (рис. 1).

На государственном уровне разрабатываются стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации. Поставлена цель создания «условий для устойчивого обеспечения минеральным сырьем социально-экономического развития и поддержания достаточного уровня экономической и энергетической безопасности Российской Федерации» [23, 25]. В России на геологоразведку в бюджете 2016 г. было выделено в целом около 35 млрд руб. В 2018 г. на проведение геологоразведочных работ на углеводородное сырье было направлено 14,3 млрд руб. бюджетных средств, на твердые полезные ископаемые – 5,8 млрд руб.

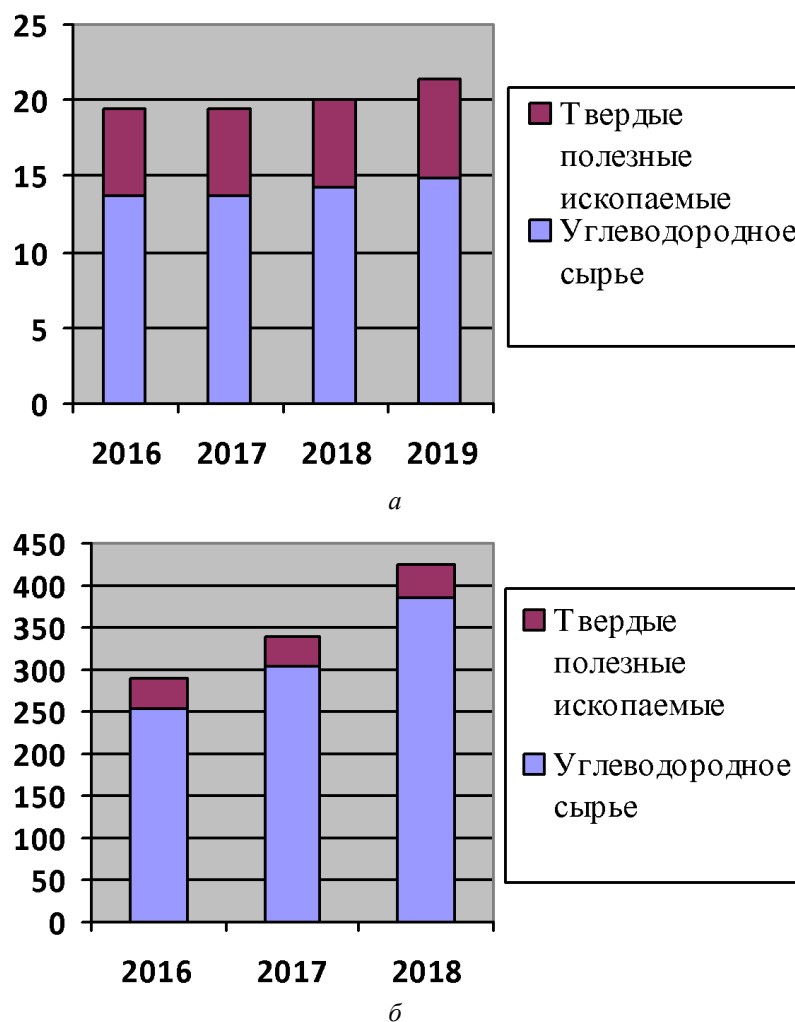


Рис. 1. Финансирование работ по геологической разведке:

a – затраты федерального бюджета, млрд руб.; *б* – затраты из внебюджетных источников, млрд руб.

Fig. 1. Exploration funding:

a – federal budget funding, bln rubles; *b* – extrabudgetary funding, bln rubles.



Рис. 2. Исходный снимок из открытых источников (Ставропольский край, Красногвардейский район)

Fig. 2. Original image from open sources (Stavropol Territory, Krasnogvardeisky district)

Данные дистанционного зондирования играют особую роль в прогнозировании горно-геологических условий. Сопоставление карт геодинамических зон (и зон древних разломов) с планами горных работ позволяет сделать вывод о приуроченности вывалов и других горно-геологических осложнений к вертикальной проекции локальных зон повышенной трещиноватости. Установлено, что около 90 % вывалов расположено в пределах таких зон, причем 70 % приурочено к их пересечениям (узлам).

На основе различного рода прогнозных решений может быть оценен не только экономический ущерб от изъятия территории месторождения из обращения, но и ожидаемая рентабельность его разработки.

Наиболее полное и рациональное использование данных ДЗЗ возможно лишь в комплексе с традиционными геологическими, геофизическими и геохимическими исследо-

ваниями. В этом направлении необходима разработка четкого технологического процесса синтеза и обработки разнородной, но одинаково важной в геологическом и поисковом отношении информации.

Целью исследования является оценка возможности использования методики для отслеживания границ объектов на изображениях, получаемых с космических аппаратов, для обработки данных дистанционного зондирования в прогнозировании горно-геологических условий.

Методы и ход исследования

Рассмотрим практический пример реализации разработанного подхода. Для этой цели выберем доступные данные из открытых источников. На рис. 2 представлен пример снимка, обработанный при помощи предлагаемой методики [1].

Сохраненный снимок был загружен в специальные программы, в которых реализована методика [1, 20] (рис. 3).

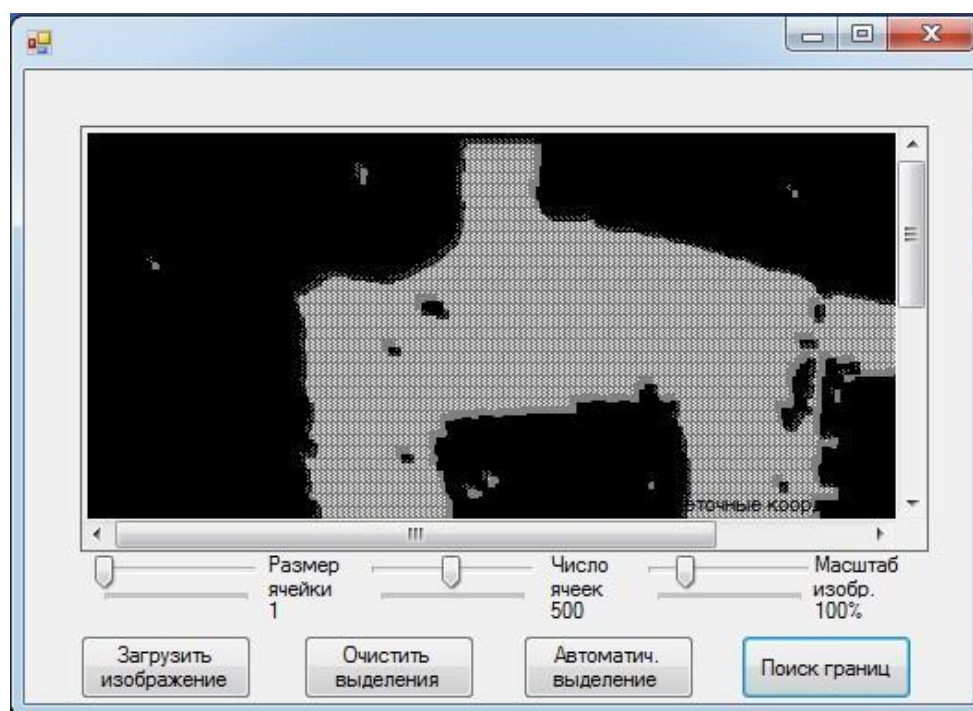


Рис. 3. Преобразованный к двухградационному (бинарному) виду исходный снимок, перенесенный на гексагональную сетку

Fig. 3. Original image converted to a two-gradation (binary) form, transferred to hexagonal grid

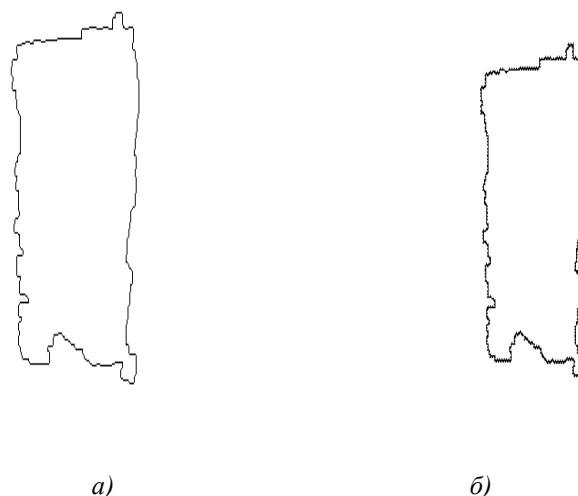


Рис. 4. Результаты отслеживания контура объекта:
a – на прямоугольной сетке; *б* – на шестиугольной сетке

Fig. 4. Object contour tracking results:
a – on rectangular grid; *b* – on hexagonal grid

Согласно предлагаемой методике [1, 20] отслеживаются контуры объектов с использованием цепного кода Фримена по связности 6 (для гексагонального растра [7, 19, 22]) или по связности 4 (для прямоугольного растра [1, 20, 21]). Далее определяются координаты x , y (на шестиугольной решетке определяется также координата $z = x + y$) для каждой точки,

принадлежащей контуру, и выделяются точки начала обхода контуров, в качестве которых используются крайние. На Рис. 4 показаны полученные на прямоугольной и шестиугольной сетках результаты отслеживания контура объекта, запечатленного на тестовом изображении.

Результаты

Топологические [4] характеристики протяженных (например, полигональных) объектов «могут быть представлены в виде графов покрытий и смежности. Граф покрытия гомоморфен контурной карте соответствующей местности. Ребра графа – границы районов, узлы – точки смыкания районов. Степень вершины такого графа – число районов, которые в ней смыкаются. Граф смежности — это как бы вывернутый на изнанку граф покрытия. В нем районы отображаются узлами (вершинами), а пара смыкающихся районов – ребрами» [2].

Рассмотренные в предыдущем разделе результаты позволяют использовать интел-

лектуальный анализ данных ДЗЗ [16]. Результаты исследования также могут быть использованы совместно со специальными программными средствами (например, ArcGIS или [15]) для построения карт (в том числе и контурных) соответствующей территории и получения топологических моделей (рис. 5).

Топологические модели используют, когда решение задачи предполагает наличие информации о топологических отношениях. С помощью подобной модели можно достаточно полно описать моделируемую территорию, используя как топологические отношения, так и метрическую информацию.

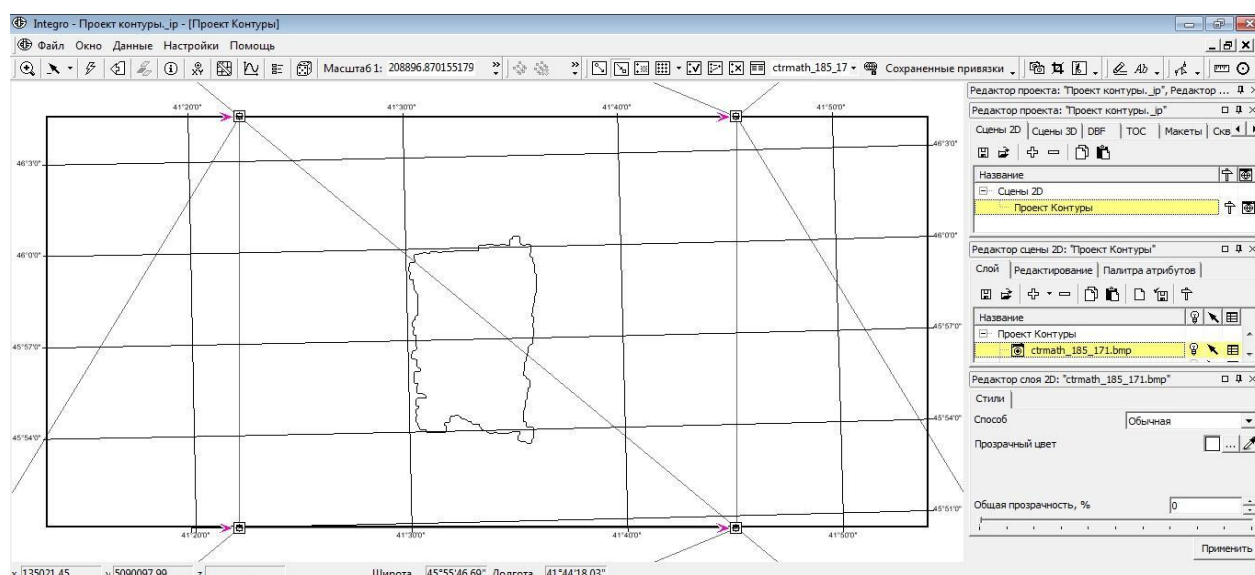


Рис. 5. Использование контурных изображений и [15] для построения карт территории

Fig. 5. Applying contour images and [15] for creating a territory maps

Заключение

Простота предлагаемого метода позволяет еще более полно и рационально использовать данные, получаемые с космических аппаратов. Удешевление геолого-съемочных и поисковых работ (за счет частичной замены дорогостоящих наземных полевых исследований более дешевым камеральным дешифрированием и более рацио-

нальной постановки разведочных и эксплуатационных работ), в свою очередь, вносит вклад в получение экономического эффекта от применения данных ДЗЗ. Многовариантность, возможность применения экспресс-информации и относительная дешевизна дистанционных методов обеспечивают эффективность их применения в соответствии с требованиями любого инвестора.

Библиографический список

1. 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):72–79. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-05-0-72-79.
2. Иванов В. А., Смирнов В. А. *Геоинформационные системы, общий курс*. Ставрополь; 2000.
3. Gandhi S. M., Sarkar B. C. *Essentials of Mineral Exploration and Evaluation*. Elsevier, Amsterdam; 2016. 410 p. DOI: 10.1016/C2015-0-04648-2.
4. *Основы топологии* [Электронный ресурс]. Создание и публикация карт, аналитики и данных. Режим доступа: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/latest/manage-data/topologies/topology-basics.htm>. [Дата обращения: 28.01.2020].
5. Haldar S. K. *Mineral Exploration. Principles and Applications*. Elsevier, Amsterdam; 2018. 378 p. DOI: 10.1016/C2017-0-00902-3.
6. Bobrowsky P. T., Marker B. *Encyclopedia of Engineering Geology*. Springer, Cham; 2018. 978 p. DOI: 10.1007/978-3-319-12127-7.
7. Крамаров С. О., Храмов В. В., Митясова О. Ю., Грошев А. Р. Способ контурного кодирования моделей объектов геоинформационного пространства на гексагональных решетках на основе данных ДЗЗ. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: тез. докл. Всерос. конф.* Москва, 11–15 ноября. М.; 2019. С. 40.
8. Middleton L., Sivaswamy J. The FFT in a hexagonal image processing framework. *Proceedings of Image and Vision Computing*; 2001. P. 231–236.
9. Wu H. S. Hexagonal discrete cosine transform for image coding. *Electronics Letters*. 1991;27(9):781–783.
10. Revuelta M. B. *Mineral Resources. From Exploration to Sustainability Assessment*. Springer, Cham; 2019. 653 p. DOI: 10.1007/978-3-319-58760-8.
11. Верховин С. С. Дистанционное зондирование в разведке и других областях. *Золотодобыча*. 2018;4(233):36–39.
12. Roonwal G. S. *Mineral Exploration: Practical Application*. Springer, Singapore; 2018. 298 p. DOI: 10.1007/978-981-10-5604-8.
13. *Геология и горная промышленность* [Электронный ресурс]. ГИС технологии: интеграция геоинформационных систем – Совзонд. Режим доступа: <https://sovzond.ru/industry-solutions/geology-mining>. [Дата обращения: 10.02.2020].
14. Шовенгердт Р. А. *Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений* [пер. с англ.]. М.: Техносфера; 2010. 560 с.
15. *ГИС INTEGR0. Геоинформационные технологии для природопользования* [Электронный ресурс]. отделение Геоинформатики ФГБУ «ВНИГНИ». М.: ВНИГНИ; 2018-2020. Режим доступа: <http://www.gis-integro.ru>. [Дата обращения 24.09.2019].
16. Falsaperla S., Hammer C., Langer H. *Advantages and Pitfalls of Pattern Recognition Selected Cases in Geophysics*. Amsterdam: Elsevier; 2020. 330 p.
17. Marjoribanks R. *Geological Methods in Mineral Exploration and Mining*. Springer, Berlin, Heidelberg; 2010. 248 p. DOI: 10.1007/978-3-540-74375-0.
18. Барталаев С. А., Егоров В. А., Жарко В. О., и др. Спутниковое картографирование растительного покрова России. М.: ИКИ РАН; 2016. 208. с.
19. *Hexagonal Grids*. Red Blob Games from Amit Patel. Режим доступа: <https://www.redblobgames.com/grids/hexagons>. [Дата обращения: 13.02.2020].
20. Крамаров С. О., Грошев А. Р., Каратаев А. С. и др. Возможности автоматизации контурного распознавания и идентификации объектов земной поверхности. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: тез. докл. Всерос. конф.* Москва, 12–16 ноября 2018 г. М.; 2018. С. 414.
21. Храмов В. В., Гвоздев Д. С. *Интеллектуальные информационные системы: учеб. пособие*. В 2 ч. Ч. 2: Интеллектуальный анализ данных. Рост. гос. ун-т путей сообщения. Ростов н/Д; 2012. 134 с.
22. Nagy B. Shortest Paths in Triangular Grids with Neighbourhood Sequences. *Journal of Computing and Information Technology*. 2003;11(2):111–122. DOI: 10.2498/cit.2003.02.04.
23. Панов Р. С. Развитие геологоразведки – залог стабильного экономического развития России. *Аналитический вестник*. 2014;16(534):7–16.
24. Hofmann P., Tiede D. Image segmentation based on hexagonal sampling grids. *South-Eastern European Journal of Earth Observation and Geomatics*. 2014;3(2S):173–177.
25. *Об утверждении Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года* [Электронный ресурс]. Официальный интернет-портал правовой информации. Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201812280093>. [Дата обращения: 14.02.2020].
26. Темкин И. О., Гончаренко А. Н. Проблемы моделирования взаимодействия интеллектуальных агентов на горнопромышленном предприятии. *Научно-технические ведомости СПбГПУ*. 2014;4–2(183):252–259.

References

1. Kramarov S. O., Hramov V. V., Mityasova O. Yu. Satellite Identification of Mining Objects at Deposits Developed by Open-Cut Method. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2019;(5):72–79. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-05-0-72-79. (In Russ.).
2. Ivanov V.A., Smirnov V.A. *Geoinformation systems, general course*. Stavropol; 2000. (In Russ.).
3. Gandhi S. M., Sarkar B. C. *Essentials of Mineral Exploration and Evaluation*. Elsevier, Amsterdam; 2016. 410 p. DOI: 10.1016/C2015-0-04648-2.
4. *Fundamentals of Topology* [electronic source]. Creation and publication of maps, analytics and data. Available from: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/latest/manage-data/topologies/topology-basics.htm>. [Accessed: 28.01.2020]. (In Russ.).
5. Halder S. K. *Mineral Exploration. Principles and Applications*. Elsevier, Amsterdam; 2018. 378 p. DOI: 10.1016/C2017-0-00902-3.
6. Bobrowsky P. T., Marker B. *Encyclopedia of Engineering Geology*. Springer, Cham; 2018. 978 p. DOI: 10.1007/978-3-319-12127-7.
7. Kramarov S.O., Hramov V.V., Mityasova O. Yu., Groshev A.R. A method for contour coding of geoinformation space object models on hexagonal grids based on remote sensing data. *Modern problems of remote sensing of the earth from space: thesis. doc. Vseros. conf.* Moscow, November 11-15, 2019. Moscow; 2019. P. 40. (In Russ.).
8. Middleton L., Sivaswamy J. The FFT in a hexagonal image processing framework. *Proceedings of Image and Vision Computing*; 2001. P. 231–236.
9. Wu H. S. Hexagonal discrete cosine transform for image coding. *Electronics Letters*. 1991;27(9):781–783.
10. Revuelta M. B. *Mineral Resources. From Exploration to Sustainability Assessment*. Springer, Cham; 2019. 653 p. DOI: 10.1007/978-3-319-58760-8.
11. Verkhovozin S. S. Remote Sensing in Intelligence and Other Areas. *Zolotodobycha*. 2018;4(233):36–39. (In Russ.).
12. Roonwal G. S. *Mineral Exploration: Practical Application*. Springer, Singapore; 2018. 298 p. DOI: 10.1007/978-981-10-5604-8.
13. *Geology and Mining* [electronic source]. GIS technologies: integration of geographic information systems (GIS) – Sovzond. Available from: <https://sovzond.ru/industry-solutions/geology-mining>. [Accessed 10.02.2020]. (In Russ.).
14. Schowengerdt Robert A. *Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing*. 3rd Edition, eBook. Academic Press; 2006. 560 p.
15. *GIS INTEGRO. Geoinformation technologies for nature management* [electronic source]. Geoinformatics Department of FSBI "VNIGNI". Moscow, VNIGNI Publ.; 2018-2020. Available from: <http://www.gis-integro.ru/>. [Accessed 24.09.2019]. (In Russ.).
16. Falsaperla S., Hammer C., Langer H. *Advantages and Pitfalls of Pattern Recognition Selected Cases in Geophysics*. Amsterdam: Elsevier; 2020. 330 p.
17. Marjoribanks R. *Geological Methods in Mineral Exploration and Mining*. Springer, Berlin, Heidelberg; 2010. 248 p. DOI: 10.1007/978-3-540-74375-0.
18. Bartalaev S. A., Egorov V. A., Zharko V. O. et al. Satellite mapping of vegetation cover of Russia. Moscow, IKI RAS Publ.; 2016. 208 p. (In Russ.).
19. *Hexagonal Grids*. Red Blob Games from Amit Patel. Available from: <https://www.redblobgames.com/grids/hexagons/>. [Accessed 13.02.2020].
20. Kramarov S. O., Groshev A. R., Karataev A. S. et al. Possibilities of automation of contour recognition and identification of the earth's surface objects. In: *Modern problems of remote sensing of the earth from space: thesis. doc. Vseros. conf.* Moscow, November 12–16, 2018. Moscow; 2018. p. 414. (In Russ.).
21. Hramov V. V., Gvozdev D. S. *Intelligent information systems*. Textbook. Rostov, Rostov State Transport University Publ.; 2012. 134 p. (In Russ.).
22. Nagy B. Shortest Paths in Triangular Grids with Neighbourhood Sequences. *Journal of Computing and Information Technology*. 2003;11(2):111–122. DOI: 10.2498/cit.2003.02.04.
23. Panov R. S. Development of exploration – the key to stable economic development of Russia. *Analytical Bulletin*. 2014;16(534):7–16. (In Russ.).
24. Hofmann P., Tiede D. Image segmentation based on hexagonal sampling grids. *South-Eastern European Journal of Earth Observation and Geomatics*. 2014;3(2S):173–177.
25. *On the approval of Development Strategy for Mineral Resources Base of the Russian Federation up to 2035*. Official Internet portal of legal information. Available from: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201812280093>. [Accessed 14.02.2020]. (In Russ.).
26. Temkin I. O., Goncharenko A. N. Problems of modeling the interaction of intelligent agents at a mining enterprise. *St. Petersburg State Polytechnical University Journal*. 2014;4–2(183):252–259. (In Russ.).