

УДК 004.42:528.8

DOI: 10.47148/1609-364X-2020-4-2-11

**Б.А. Новаковский, А.В. Кудрявцев, А.Л. Энтин****Программное обеспечение для геоинформационной обработки данных воздушного лазерного сканирования**

В работе рассмотрено программное обеспечение (ПО), позволяющее выполнять обработку данных воздушного лазерного сканирования (ВЛС) для целей геоинформационного картографирования. Перечень программ включает проприетарные MicroStation и модуль TerraScan, GlobalMapper, ArcGIS, ERDAS Imagine, LAStools, а также свободно распространяемые программы с открытым исходным кодом SAGA, WhiteboxTools и PDAL.io. Рассмотрены возможности импорта-экспорта, двумерной и трехмерной визуализации данных, редактирования облаков точек и создания на их основе производных наборов данных. Выполнено тестирование производительности ПО на примере задачи интерполяции высот точек лазерных отражений. В результате были определены преимущества и недостатки рассмотренных программ по отношению к различным решаемым задачам.

**Ключевые слова:** воздушное лазерное сканирование, программное обеспечение, геоинформационное картографирование, вычислительная эффективность.

**Б.А. Novakovsky, A.V. Kudryavtsev, A.L. Entin****Software for GIS-processing of airborne lidar data**

The paper considers GIS software which may be utilized for airborne lidar data processing. Software list includes proprietary MicroStation with TerraScan plugin, Global Mapper, ArcGIS, ERDAS Imagine, LAStools, as well as free and open source SAGA, WhiteboxTools, and PDAL.io. Possibilities of import-export, 2D and 3D data visualization, point cloud editing and derivation of GIS datasets are examined for each software. Computational efficiency assessment is performed for the procedure of interpolation point elevation data in different software. As a result, the advantages and disadvantages of the considered programs were identified in relation to various tasks.

**Key words:** airborne laser scanning, software, geoinformation mapping, computational efficiency.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Медведев Е.М., Данилин И.М., Мельников С.Р. Лазерная локация земли и леса : учебное пособие. – Москва ; Красноярск : Геолидар ; Геоскосмос, 2007. – 230 с.
2. LAS Specification v.1.42 – R15 [Electronic resource] // American Society for Photogrammetry & Remote Sensing (ASPRS), 2019. – URL: [http://www.asprs.org/wp-content/uploads/2019/07/LAS\\_1\\_4\\_r15.pdf](http://www.asprs.org/wp-content/uploads/2019/07/LAS_1_4_r15.pdf) (date of access: 04.02.2020).
3. Isenburg M. LASzip: lossless compression of LiDAR data // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 2013. – V. 79, Issue 2. – P. 209-217.
4. TerraScan – Software for LiDAR Data Processing and 3D Vector Data Creation Products - TerraScan [Electronic resource] // Terrasolid : Products – TerraScan. – URL: <http://www.terrasolid.com/products/terrascanpage.php> (date of access: 16.06.2020).
5. MicroStation – ПО САПР для разработки в 3D архитектурных и инженерных проектов [Электронный ресурс] // Bentley Systems : MicroStation. – URL: <https://www.bentley.com/ru/products/brands/microstation> (дата обращения: 05.07.2020).
6. Global Mapper – All-in-One GIS Software [Electronic resource] // Blue Marble Geographics : web site. – URL: <https://www.bluemarblegeo.com/products/global-mapper.php> (date of access: 07.06.2020).
7. About ArcGIS : The mapping and analytics platform [Electronic resource] // Esri : web site. – URL: <https://www.esri.com/ru-ru/arcgis/about-arcgis/overview> (date of access: 20.07.2020).
8. ERDAS IMAGINE [Electronic resource] // Hexagon Geospatial. – URL: <https://www.hexagongeospatial.com/products/power-portfolio/erdas-imagine> (date of access: 12.07.2020).

9. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4 / O. Conrad, B. Bechtel, M. Bock et al. // Geoscientific Model Development. – 2015. – V. 8, Issue 7. – P. 1991-2007. DOI: 10.5194/gmd-8-1991-2015.
10. Lindsay J.B. Whitebox GAT: A case study in geomorphometric analysis // Computers & Geosciences. – 2016. – V. 95. – P. 75-84. DOI: 10.1016/j.cageo.2016.07.003.
11. Lindsay J.B. WhiteboxTools [Electronic resource]. – URL: <https://jblindsay.github.io/ghrg/WhiteboxTools/index.html> (date of access: 15.02.2020).
12. LAStools [Electronic resource] // rapidlasso GmbH. – URL: <https://rapidlasso.com/lastools/> (date of access: 20.07.2020).
13. PDAL – Point Data Abstraction Library [Electronic resource], 2018. – URL: <https://pdal.io/index.html> (date of access: 15.02.2020).
14. Liu X. Airborne LiDAR for DEM generation: Some critical issues // Progress in Physical Geography. – 2008. – V. 32, Issue 1. – P. 31-49.

## REFERENCES

1. Medvedev E.M., Danilin I.M., Melnikov S.R. Laser location of land and forest: a training manual. Moscow ; Krasnoyarsk : Geolidar ; Geokosmos, 2007. 230 p.
2. LAS Specification v.1.42 – R15 [Electronic resource] // American Society for Photogrammetry & Remote Sensing (ASPRS), 2019. URL: [http://www.asprs.org/wp-content/uploads/2019/07/LAS\\_1\\_4\\_r15.pdf](http://www.asprs.org/wp-content/uploads/2019/07/LAS_1_4_r15.pdf) (date of access: 04.02.2020).
3. Isenburg M. LASzip: lossless compression of LiDAR data // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. 2013. V. 79, Issue 2. P. 209-217.
4. TerraScan – Software for LiDAR Data Processing and 3D Vector Data Creation Products - TerraScan [Electronic resource] // Terrasolid : Products – TerraScan. URL: <http://www.terrasolid.com/products/terrascanpage.php> (date of access: 16.06.2020).
5. MicroStation : CAD Software for development of 3D architecture and engineering projects [Electronic resource] // Bentley Systems : MicroStation. URL: <https://www.bentley.com/ru/products/brands/microstation> (date of access: 05.07.2020).
6. Global Mapper – All-in-One GIS Software [Electronic resource] // Blue Marble Geographics : web site. URL: <https://www.bluemarblegeo.com/products/global-mapper.php> (date of access: 07.06.2020).
7. About ArcGIS : The mapping and analytics platform [Electronic resource] // Esri : web site. – URL: <https://www.esri.com/ru-ru/arcgis/about-arcgis/overview> (date of access: 20.07.2020).
8. ERDAS IMAGINE [Electronic resource] // Hexagon Geospatial. URL: <https://www.hexagongeospatial.com/products/power-portfolio/erdas-imagene> (date of access: 12.07.2020).
9. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4 / O. Conrad, B. Bechtel, M. Bock et al. // Geoscientific Model Development. 2015. V. 8, Issue 7. P. 1991-2007. DOI: 10.5194/gmd-8-1991-2015.
10. Lindsay J.B. Whitebox GAT: A case study in geomorphometric analysis // Computers & Geosciences. 2016. V. 95. P. 75-84. DOI: 10.1016/j.cageo.2016.07.003.
11. Lindsay J.B. WhiteboxTools [Electronic resource]. URL: <https://jblindsay.github.io/ghrg/WhiteboxTools/index.html> (date of access: 15.02.2020).
12. LAStools [Electronic resource] // rapidlasso GmbH. URL: <https://rapidlasso.com/lastools/> (date of access: 20.07.2020).
13. PDAL – Point Data Abstraction Library [Electronic resource], 2018. URL: <https://pdal.io/index.html> (date of access: 15.02.2020).
14. Liu X. Airborne LiDAR for DEM generation: Some critical issues // Progress in Physical Geography. 2008. V. 32, Issue 1. P. 31-49.

**Новаковский Богуслав Августович**, доктор географических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (МГУ имени М.В. Ломоносова). Российская Федерация, 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, МГУ имени М.В. Ломоносова, Географический факультет. E-mail: [dcaph@mail.ru](mailto:dcaph@mail.ru).

*Novakovsky Boguslav Avgustovich, professor, D.Sc. in Cartography, Federal State Budget Educational Institution of Higher Education M.V. Lomonosov Moscow State University (Lomonosov MSU). Russian Federation, 119991, Moscow, GSP-1, Leninskiye Gory, MSU, Faculty of Geography. E-mail: [dcaph@mail.ru](mailto:dcaph@mail.ru).*

**Кудрявцев Александр Владимирович**, магистрант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (МГУ имени М.В. Ломоносова). Российская Федерация, 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, МГУ имени М.В. Ломоносова, Географический факультет. E-mail: all.sasa24@ya.ru.

***Kudryavtsev Alexander Vladimirovich**, Federal State Budget Educational Institution of Higher Education M.V. Lomonosov Moscow State University (Lomonosov MSU). Russian Federation, 119991, Moscow, GSP-1, Leninskiye Gory, MSU, Faculty of Geography. E-mail: all.sasa24@ya.ru.*

**Энтин Андрей Львович**, кандидат географических наук, инженер Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (МГУ имени М.В. Ломоносова). Российская Федерация, 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, МГУ имени М.В. Ломоносова, Географический факультет. E-mail: aentin@geogr.msu.ru.

***Entin Andrey Lvovich**, PhD in Cartography, Federal State Budget Educational Institution of Higher Education M.V. Lomonosov Moscow State University (Lomonosov MSU). Russian Federation, 119991, Moscow, GSP-1, Leninskiye Gory, MSU, Faculty of Geography. E-mail: aentin@geogr.msu.ru.*

***Е.О. Кречетникова, В.В. Кречетников, И.Е. Титов, В.К. Кузнецов***  
**Геоинформационная система для проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия на радиоактивно загрязненной территории Тульского НИИ сельского хозяйства**

Для радиоактивно загрязненной территории Тульского НИИ сельского хозяйства разработан ГИС-проект для проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия с использованием обобщенной за 16-летний период информации о содержании  $^{137}\text{Cs}$  в почве. Для создания ГИС-проекта разработаны: электронные карты размещения сельскохозяйственных территорий; структуры севооборотов; распределения значений удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  на сельскохозяйственных угодьях; агрохимических показателей почв сельскохозяйственных территорий (содержание гумуса, калия, фосфора, кислотности); типов почвы; рельефа. Созданный ГИС-проект и соответствующие базы данных будут использованы для сбора, хранения и анализа результатов обследования с целью проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия.

**Ключевые слова:** ГИС-проект, адаптивно-ландшафтное земледелие, сельскохозяйственные территории, радиационная безопасность.

***E.O. Krechetnikova, V.V. Krechetnikov, I.E. Titov, V.K. Kuznetsov***  
**Geoinformation system for designing adaptive landscape farming systems on the radioactively contaminated territory of the Tula research institute of agriculture**

GIS project was developed for the radioactively contaminated territory of the Tulsii NII. It was created in order to project the adaptive landscape agricultures. It was based on the information on the concentrations of  $^{137}\text{Cs}$  radionuclide in soil, compiled over 16 years. Electronic maps have been developed to create a GIS project and included the location of agricultural lands; crop rotation systems; distribution of specific activity values for artificial  $^{137}\text{Cs}$  radionuclide in agricultural lands; agrochemical indexes (the humus content, potassium content, contribution of phosphorus, the acidity), soil types, relief. The created GIS project and the corresponding data bases will be used to collect, store and analyse the results of the survey in order to project the adaptive landscape agricultures.

**Key words:** GIS project, adaptive landscape agriculture, agricultural lands, radiation safety.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кирюшин В.И. Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирование агроландшафтов : монография. – М. : Колос, 2011. – 443 с.
2. Кузнецов В.К. Научные основы и системы мероприятий по реабилитации радиоактивно загрязненных сельскохозяйственных территорий в адаптивно-ландшафтном земледелии : автореф. дис. ... докт. биол. наук : 03.01.01. – Обнинск, 2014. – 50 с.
3. Титов И.Е., Панов А.В., Кречетников В.В., Шубина О.А., Микаилова Р.А. Прикладные ГИС для поддержки радиационно-экологического мониторинга в регионах размещения ядерно- и радиационно-опасных объектов // Геоинформатика. – 2019. – № 2. – С. 12-16.
4. Выполнение работ по подготовке комплексных радиологических паспортов 18 сельскохозяйственных предприятий Климовского района Брянской области; сводного радиологического паспорта сельскохозяйственных предприятий Плавского района Тульской области; сводных радиологических паспортов сельскохозяйственных предприятий для Гордеевского, Злынковского, Климовского, Клинцовского, Красногорского и Новозыбковского районов Брянской области : отчет о НИР (итоговый) : 235-307 / Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии ; рук. Н.И. Санжарова ; исполн.: О.А. Шубина [и др.]. – Обнинск, 2015. – 1248 с.

## REFERENCES

1. Kiryushin V.I. Theory of adaptive landscape agriculture and design of agricultural landscapes : monograph. Moscow : Kolos, 2011. 443 p.
2. Kuznetsov V.K. Scientific bases and systems of measures for rehabilitation of radioactively polluted agricultural territories in adaptive landscape agriculture : autoref. dis. ... Doct. Biol. Sciences : 03.01.01. Obninsk, 2014. 50 p.
3. Titov I.E., Panov A.V., Krechetnikov V.V., Shubina O.A., Mikailova R.A. Applied GIS for supporting radioecological monitoring in the vicinity of nuclear and radiation hazardous facilities // Geoinformatika. 2019. No. 2. P. 12-16.
4. Preparation of complex radiological passports of 18 agricultural enterprises of the Klimovsky district of the Bryansk region; consolidated radiological passport of agricultural enterprises of the Plavsky district of the Tula region; consolidated radiological passports of agricultural enterprises for Gordeevsky, Zlynkovsky, Klimovsky, Klintsovsky, Krasnogorsky and novozybkovsky districts of the Bryansk region : research report (final) : 235-307 / All-Russian research Institute of radiology and Agroecology ; ruk. N.I. Sanzharova ; performed by O.A. Shubina [et al.]. Obninsk, 2015. 1248 p.

**Кречетникова Евгения Олеговна**, младший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии» (ФГБНУ ВНИИРАЭ). Россия, 249032, Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км. E-mail: evg.krechet@yandex.ru.

*Krechetnikova Evgeniya Olegovna, junior researcher, Russian Institute of Radiology and Agroecology (RIRAE). 109 km, Kievskoe shosse, Obninsk, Kaluga region, 249032, Russia. E-mail: evg.krechet@yandex.ru.*

**Кречетников Виктор Владимирович**, научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии» (ФГБНУ ВНИИРАЭ). Россия, 249032, Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км. E-mail: viktor.krechetnikov@mail.ru.

*Krechetnikov Viktor Vladimirovich, research scientist, Russian Institute of Radiology and Agroecology (RIRAE). 109 km, Kievskoe shosse, Obninsk, Kaluga region, 249032, Russia. E-mail: viktor.krechetnikov@mail.ru.*

**Титов Игорь Евгеньевич**, научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии» (ФГБНУ ВНИИРАЭ). Россия, 249032, Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км. E-mail: titan13\_08@mail.ru.

*Titov Igor Evgenevich, research scientist, Russian Institute of Radiology and Agroecology (RIRAE). 109 km, Kievskoe shosse, Obninsk, Kaluga region, 249032, Russia. E-mail: titan13\_08@mail.ru.*

**Кузнецов Владимир Константинович**, доктор биологических наук, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии» (ФГБНУ ВНИИРАЭ). Россия, 249032, Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км. E-mail: vkuzn@yandex.ru.

*Kuznetsov Vladimir Konstantinovich, Doctor of Biological Sciences, chief researcher, Russian Institute of Radiology and Agroecology (RIRAE). 109 km, Kievskoe shosse, Obninsk, Kaluga region.*

***М.Р. Вагизов, С.Ю. Степанов, Я.А. Петров, А.Ю. Сидоренко***  
**Методика дешифрирования и инвентаризации лесных насаждений средствами ГИС AutoCad Map**

В статье авторов рассматривается предлагаемая методика инвентаризации древесных растений при помощи инструментов геоинформационных систем. В задачи исследования входило подеревная инвентаризация насаждений в городе, данная задача представляет практический интерес в рамках управления и развития хозяйственной деятельности в урбанизированной территории. Для проведения подеревного дешифрирования авторами была проведена работа создания тематических слоев на каждую из идентифицированных пород. В статье описывается поэтапная методика для формализации признаков насаждений в рамках рассматриваемой системы и возможного перехода от классической таксации древостоев к частично автоматизированным методам дешифрирования насаждений на уровне отдельно рассматриваемых древесных пород в интересах садово-паркового хозяйства. В статье указываются необходимые характеристики для создания базы данных признаков насаждений средствами ГИС Autocad Map.

**Ключевые слова:** ГИС, инвентаризация насаждений, дистанционные методы, дешифрирование древесных растений.

***M.R. Vagizov, S.Y. Stepanov, Y.A. Petrov, A.Y. Sidorenko***  
**Method of decryption and inventory of forest plantations by means of GIS AutoCad Map**

The authors' article discusses the proposed methodology for the inventory of woody plants using the tools of geographic information systems. The tasks of the study included a tree inventory of plantations in the city, this task is of practical interest in the management and development of economic activities in an urbanized territory. To conduct sub-river decryption, the authors carried out work on creating thematic layers for each of the identified trees. The article describes a step-by-step methodology for formalizing the features of plantations within the framework of the system under consideration and the possible transition from classical taxation of woodlands to partially automated methods for decrypting plantations at the level of separately considered tree species for the benefit of garden and park farming. The article indicates the necessary characteristics for creating a database of plantings features using the Autocad Map GIS.

**Key words:** GIS, plant inventory, remote methods, decryption of woody plants.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Vagizov M.R., Ustyugov V.A., Kvochkin D.O. Determination of the forest inventory indicators according to the photographs of the unmanned aerial vehicles // Ecology, Environment and Conservation. – 2017. – V. 23, Issue 1. – P. 582-586.
2. Истомина Е.П., Степанов С.Ю., Петров Я.А., Сидоренко А.Ю. Концептуальная модель обработки данных дистанционного зондирования земли в интересах управления территориями // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. – 2020. – № 1 (37). – С. 195-205.
3. Степанов С.Ю., Петров Я.А., Сидоренко А.Ю. Геопространственный региональный анализ фотосинтетически активной биомассы по данным дистанционного зондирования земли // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. – 2020. – № 1 (37). – С. 186-194.
4. Вагизов М.Р. О концепции цифровой таксации лесов // Вопросы развития современной науки и практики в период становления цифровой экономики : мат-лы Международной научно-практической конференции / сост. и отв. ред.: В.М. Гедьо, О.А. Полянская, С.В. Терещенко, А.В. Калугина. – 2018. – С. 25-28.
5. Кравченкова И.С., Хабаров С.П., Кривицкий С.В. Разработка экспертной системы определителя древесных и кустарниковых пород по листьям // Цифровые технологии в лесном

секторе : мат-лы Всероссийской научно-технической конференции. Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова ; Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2020. – С. 83-86.

6. Жернова А.П., Вагизов М.Р. Разработка методики автоматизированного дешифрирования Ели европейской (*Picea abies*) с использованием геоинформационных технологий и машинного обучения // Информационные системы и технологии: теория и практика : сб. науч. тр. – Вып. 12 / отв. ред. А.М. Заяц. – Санкт-Петербург : СПбГЛТУ, 2020. – 138 с. – С. 52-56.

## REFERENCES

1. Vagizov M.R., Ustyugov V.A., Kvochkin D.O. Determination of the forest inventory indicators according to the photographs of the unmanned aerial vehicles // Ecology, Environment and Conservation. 2017. V. 23, Issue 1. P. 582-586.
2. Istomin E.P., Stepanov S.Yu., Petrov Ya.A., Sidorenko A.Yu. The conceptual model for processing Earth remote sensing data in the interests of territorial management // Information technologies and systems: management, economics, transport, law. 2020. No. 1 (37). P. 195-205.
3. Stepanov S.Yu., Petrov Ya.A., Sidorenko A.Yu. Geospatial Regional Analysis of Photosynthetically Active Biomass Based on Remote Sensing Data // Information technologies and systems: management, economics, transport, law. 2020. No. 1 (37). P. 186-194.
4. Vagizov M.R. On the concept of digital forest inventory // Questions of the development of modern science and practice during the formation of the digital economy : Materials of the International Scientific-Practical Conference / comp. and responsible ed.: V.M. Guyot, O.A. Polyanskaya, S.V. Tereshchenko, A.V. Kalugin. 2018. P. 25-28.
5. Kravchenkova I.S., Khabarov S.P., Krivitskiy S.V. Development of an expert system for the identification of tree and shrub species by leaves // Digital technologies in the forestry sector : Materials of the All-Russian Scientific and Technical Conference. Saint-Petersburg State Forest Technical University ; Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. 2020. P. 83-86.
6. Zhernova A.P., Vagizov M.R. Development of a technique for automated decoding of European Spruce (*Picea abies*) using geoinformation technologies and machine learning // Information systems and technologies: theory and practice: collection of proceedings. Issue 12 / responsible ed. A.M. Zayats. St. Petersburg : SPbGLTU, 2020. 138 p. P. 52-56.

**Вагизов Марсель Равильевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных систем и технологий, Институт леса и природопользования ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова». 194021, г. Санкт-Петербург, Институтский переулок, д. 5. E-mail: bars-tatarin@yandex.ru.

*Vagizov Marsel Ravilievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information Systems and Technologies, Institute of Forest and Nature Management Federal State Budgetary Educational Establishment of Higher Education «St. Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov». 5 Institutsky lane, St. Petersburg, 194021, Russia. E-mail: bars-tatarin@yandex.ru.*

**Степанов Сергей Юрьевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики, Институт информационных систем и геотехнологий ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет». 192007, г. Санкт-Петербург, Воронежская ул., д. 79. E-mail: stepanov.sergey.y@gmail.com.

*Stepanov Sergey Yuryevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Informatics, Institute of Information Systems and Geotechnologies, Federal State Budgetary Educational Establishment of Higher Education «Russian State Hydrometeorological University». 79 Voronezhskaya ul., St. Petersburg, 192007, Russia. E-mail: stepanov.sergey.y@gmail.com.*

**Петров Ярослав Андреевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики, Институт информационных систем и геотехнологий ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет». 192007, г. Санкт-Петербург, Воронежская ул., д. 79. E-mail: yaroslav.petrov025@gmail.com.

*Petrov Yaroslav Andreevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Informatics, Institute of Information Systems and Geotechnologies, Federal State Budgetary*

*Educational Establishment of Higher Education «Russian State Hydrometeorological University». 79 Voronezhskaya ul., St. Petersburg, 192007, Russia. E-mail: yaroslav.petrov025@gmail.com.*

**Сидоренко Артем Юсупович**, старший преподаватель кафедры прикладной информатики Институт информационных систем и геотехнологий ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет». 192007, г. Санкт-Петербург, Воронежская ул., д. 79. E-mail: sidorenko.ref@gmail.com.

**Sidorenko Artyom Yusupovich**, Senior Lecturer, Department of Applied Informatics Institute of Information Systems and Geotechnologies, Federal State Budgetary Educational Establishment of Higher Education «Russian State Hydrometeorological University». 79 Voronezhskaya ul., St. Petersburg, 192007, Russia. E-mail: sidorenko.ref@gmail.com.



***С.В. Духин, А.А. Баяндурова, Н.А. Духина***  
**Особенности применения геоинформационных систем и технологий для решения производственных задач ОАО «Российские железные дороги»**

В статье рассматривается возможность создания эффективных геоинформационных технологий для улучшения работы ОАО «Российские железные дороги». Потребность в них обусловлена огромными масштабами территорий, занятых инфраструктурой железной дороги, и спецификой рабочей деятельности, которая связана с организацией процесса перевозок. Предлагается руководствоваться пятью принципами при создании единой базы геоданных железных дорог: использование единой координатной основы, уникальность каждого объекта и использование географических координат в качестве первичного ключа, определение обобщенного графа сети железных дорог посредством цифровой модели пути, использование существующих геоинформационных ресурсов, непрерывное обновление и актуализация информации.

**Ключевые слова:** геоинформационные технологии, единая база данных, железная дорога, цифровая модель пути.

***S.V. Duhin, A.A. Bayandurova, N.A. Duhina***

**Features of application of geoinformation systems and technologies for solving production problems of JSC «Russian Railways»**

The article discusses the possibility of creating effective geoinformation technologies to improve the operation of JSC «Russian Railways». The need for them is due to the huge scale of the territories occupied by the railway infrastructure, and the specifics of work activities that are associated with the organization of the transportation process. It is proposed to follow five principles when creating a unified railway GEODATA database: the use of a single coordinate base, the uniqueness of each object and the use of geographical coordinates as the primary key, the definition of a generalized graph of the railway network using a digital path model, the use of existing geoinformation resources, continuous updating and updating of information.

**Key words:** geoinformation technology, single database, the railroad, digital model of the road.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Розенберг И.Н., Духин С.В. Геоинформационные технологии // Железнодорожный транспорт. – 2006. – № 3. – С. 59-63.
2. Розенберг И.Н., Духин С.В. Основные особенности формирования единой геоинформационной базы данных отрасли // Информационные технологии в железнодорожном транспорте – ИНФОТРАНС-2005 : материалы 10-й Междунар. науч.-практич. конф., Санкт-Петербург, 05-08 октября. – СПб. : Изд-во СПбПУ, 2005. – С. 53-54.
3. Розенберг И.Н., Духин С.В. Принципы построения единой геоинформационной базы данных, увязанной с параметрами работы и развития железнодорожной отрасли // ТелеКомТранс-2005 : материалы 3-й Международной науч.-практич. конф., Сочи, 26-29 апреля. – Сочи ; Ростов н/Д : ООО «Диапазон», 2005. – С. 43-47.
4. Розенберг И.Н., Духин С.В., Замышляев А.М., Цуцков Д.В. Новая технология ведения техническо-распорядительных актов станций : учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта. – М. : Изд-во «Маршрут». – 2005. – 304 с.
5. Уманский В.И., Духин С.В., Якушев Д.А. Автоматизация формирования электронных карт для локомотивных устройств безопасности и систем управления движением по данным видеопаспортизации и мобильного лазерного сканирования // Вестник ВНИИЖТ. – 2015. – № 4. – С. 8-11.
6. Духин С.В., Ильин А.В. Геоинформационная база данных земельных участков и объектов недвижимого имущества и планы развития // Безопасность движения поездов : труды Восьмой науч.-практич. конф., Москва, 1-2 ноября 2007 г. : в 2 ч. – М. : МИИТ, 2007. – Ч. 1. – С. VIII-7.
7. Инженерная геодезия и геоинформатика : учебник для вузов / под ред. С.И. Матвеева. – М. : Фонд «Мир», 2012. – 484 с.

## REFERENCES

1. Rosenberg I.N., Dukhin S.V. Geoinformation technologies // Railway transport. 2006. No. 3. P. 59-63.
2. Rosenberg I.N., Dukhin S.V. Main features of forming a unified geoinformation database of the industry // Information technologies in railway transport – Infotrans-2005 : Tenth scientific and practical conference, Saint Petersburg, October 5-8, 2005. St.-Petersburg : SPbPU Press, 2005. P. 53-54.
3. Rosenberg I.N., Dukhin S.V. Principles of a common GIS database that is linked to performance and the development of the railway industry // Telekomtrans-2005 : 3-rd International scientific-practical conference, Sochi, April 26-29. Sochi ; Rostov n/D : LTD «Diapazon», 2005. P. 43-47.
4. Rosenberg I.N., Dukhin S.V., Zamyshlyayev A.M., Cuckow D.V. New technology of technical-administrative acts stations : Textbook for higher education institutions of railway transport. Moscow : Publishing House «Route», 2005. 304 p.
5. Umansky V.I., Dukhin S.V., Yakushev D.A. Automation of formation of electronic maps for locomotive safety devices and traffic control systems based on video data and mobile laser scanning // Bulletin of VNIIZHT. Moscow, 2015. No. 4. P. 8-11.
6. Dukhin S.V., Ilyin A.V. Geoinformation database of land plots and real estate objects of JSC «Russian Railways»: state and development plans // Traffic Safety of trains : Proceedings The eighth scientific-practical conference, Moscow, November 1-2, 2001. Part 1. P. VIII-7.
7. Engineering geodesy and Geoinformatics : Textbook for universities / Ed. by S.I. Matveev. Moscow : The Mir Foundation, 2012. 484 p.

**Духин Степан Владимирович**, кандидат технических наук, руководитель Научно-технического комплекса геоинформационных систем и спутниковых технологий Научно-исследовательского и проектно-конструкторского института информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте (НИИАС). Россия, 109029, Москва, Нижегородская ул., 27 стр. 1, АО «НИИАС». E-mail: s.duhin@vniias.ru.

*Dukhin Stepan Vladimirovich, Candidate of Technical Sciences, Head of Department of Geoinformation systems and satellite technologies, Research and Design Institute for Information Technology, Signalling and Telecommunications in Railway Transportation (JSC «NIIAS»). 27, bldg. 1 Nizhegorodskaya str., Moscow, 109029, Russia, JSC «NIIAS». E-mail: s.duhin@vniias.ru.*

**Баяндурова Александра Александровна**, аспирант, старший преподаватель кафедры «Геодезия, геоинформатика и навигация» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет транспорта» (ФГАОУ ВО РУТ (МИИТ)). Россия, 127994, Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9, РУТ (МИИТ), Институт пути, строительства и сооружений. E-mail: alexandra.bayandurova@mail.ru.

*Bayandurova Alexandra Alexandrovna, graduate, senior lecturer of the Department of Geodesy, Geoinformatics and navigation of the Federal state Autonomous educational institution of higher education «Russian University of transport» (RUT (MIIT)). 9b9 Obrazcova Ulitsa, Moscow, 127994, Russia, RUT (MIIT), Institute of roads, construction and structures. E-mail: alexandra.bayandurova@mail.ru.*

**Духина Наталья Александровна**, аспирант кафедры «Геодезия, геоинформатика и навигация» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет транспорта» (ФГАОУ ВО РУТ (МИИТ)). Россия, 127994, Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9, РУТ (МИИТ), Институт пути, строительства и сооружений. E-mail: duhin.s@yandex.ru.

*Dukhina Natalia Aleksandrovna, graduate of the Department of Geodesy, Geoinformatics and navigation of the Federal state Autonomous educational institution of higher education «Russian University of transport» (RUT (MIIT)). 9b9 Obrazcova Ulitsa, Moscow, 127994, Russia, RUT (MIIT), Institute of roads, construction and structures. E-mail: duhin.s@yandex.ru.*

***И.С. Файзуллин, А.В. Серегин, А.В. Волков, Т.И. Файзуллин***

**К оценке протяженности по латерали участков наличия углеводородов по данным сейсмической локации нефти и газа (СЛОНГ)**

В методе сейсмической локации нефти и газа (СЛОНГ), предназначенном для прогноза нефтегазоперспективности объектов по данным сейсморазведки МОГТ-2Д, протяженность по латерали выделяемых участков наличия УВ определяется при статистической обработке всех графиков распределения по глубине энергии колебаний. Однако в этом случае результаты обработки зависят от используемой кратности накоплений колебаний. Поэтому для определения протяженности по латерали участков наличия УВ предлагается использовать другой подход, основанный на обработке микросейсм, регистрируемых при работах МОГТ-2Д, по методике, предложенной Г.В. Ведерниковым, Е.А. Хагоевым и Т.И. Чичининой. В результате применения этой методики было установлено, что все нефтегазовые месторождения сопровождаются аномалиями в поле микросейсм по энергетическим и спектральным характеристикам колебаний. Не останавливаясь на возможности решения обратной задачи, отметим только, что согласно этому положению наличие месторождения должно приводить к возникновению аномалий в поле микросейсм и, в частности, к увеличению энергии колебаний. Следовательно, если каким-либо образом установлен факт наличия месторождения, то следует ожидать появления участка с повышенной энергией колебаний, по которому можно оценить протяженность месторождения по латерали. Факт наличия месторождения может быть установлен по результатам проведения обработки того же профиля МОГТ-2Д по технологии СЛОНГ. В случае получения положительного значения СЛОНГ, на соответствующем участке профиля должен появиться участок с повышенной энергией колебаний микросейсм, что и приведет к решению поставленной задачи.

**Ключевые слова:** локация, микросейсм, протяженность, аномалии.

***I.S. Fayzullin, A.V. Seregin, A.V. Volkov, T.I. Fayzullin***

**Estimation of the length of the lateral sections of the presence of hydrocarbons according to the seismic location of oil and gas (SLONG)**

In the method of seismic location of oil and gas (SLONG), intended for predicting the oil and gas prospects of objects based on the data of seismic exploration method CDP-2D, the length of the laterally allocated sections of the presence of hydrocarbons is determined by statistical processing of all graphs of the energy distribution by depth of micro tremors. However, in this case, the results of processing depend on the repetition factor of impulse accumulations of fluctuations used. Therefore it is proposed to use a different approach to determine the length of the lateral sections of the presence of HC based on the processing of micro tremors recorded during CDP-2D, according to the method proposed by G.V. Vedernikov, E.A. Khagoev and T.I. Chichinina. As a result of applying this technique, it was found that all oil and gas fields are accompanied by anomalies in the micro tremors field in terms of energy and spectral characteristics of vibrations. Not stopping on the possibility of solving the inverse problem, we only note that according to this provision, the presence of a deposit should lead to anomalies in the micro tremors field and, in particular, to an increase in the energy oscillation. Therefore, if the presence of a deposit is established in any way, then we should expect the appearance of a section with an increased energy oscillation, which can be used to estimate the length of the deposit laterally. The fact of the presence of a deposit can be established by the results of processing the same CDP-2D profile using SLONG technology. If a positive SLONG result is obtained, a section with an increased energy of micro tremors should appear on the corresponding section of the profile, which will lead to the solution of the problem.

**Key words:** Location, microtremors, length, anomaly.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Файзуллин И.С., Серегин А.В., Волков А.В., Файзуллин Т.И. Прогноз нефтегазоперспективности объектов при региональных сейсмических исследованиях по эмиссионным волнам // Геоинформатика. – 2018. – № 3. – С. 106-110.

2. Ведерников Г.В., Хогоев Е.А. Прогноз залежей УВ по характеристикам микросейсм при сейсморазведочных работах МОГТ // ГЕО-Сибирь-2007 : сборник материалов III Международного научного конгресса. – Новосибирск : СГГА, 2007. – Т. 5. – С. 179-183.
3. Хогоев Е.А., Чичинина Т.И., Ведерников Г.В. Шум углеводородов, или метод анализа микросейсм по обычным данным сейсморазведки 2D/3D // Геомодель-2015 : тезисы докладов 17-й научно-практической конференции по вопросам геологоразведки и разработки месторождений нефти и газа Россия, г. Геленджик, 7-10 сентября 2015 г. – URL: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201413966>.
4. Chichinina T.I., Hoguev E.A., Reyes-Pimentel A. Microtremor Analysis in Seismic Reflection Data for Identification of Oil and Gas Reservoirs // Conference Proceedings, 76th EAGE Conference and Exhibition, Amsterdam, Jun 2014. V. 2014. P. 1-5. – URL: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20141562>.

#### REFERENCES

1. Fayzullin I.S., Seregin A.V., Volkov A.V., Fayzullin T.I. Forecast of oil and gas prospects of objects in regional seismic studies on emission waves // Geoinformatika. 2018. No. 3. P. 106-110.
2. Vedernikov G.V., Hoguev E.A. Forecast of hydrocarbon deposits based on microseismic characteristics during seismic survey operations // GeoSiberia-2007 : International Exhibition and Scientific Congress : Collection of materials. V. 5. P. 179-183.
3. Hoguev E.A., Chichinina T.I., Vedernikov G.V. Hydrocarbon Microtremors: A Method of Microseismic Analysis with Conventional Seismic Data 2D/3D // Geomodel 2015 : Conference Proceedings, 17th science and applied research conference on oil and gas geological exploration and development, Russia, Gelendzhik, Sep. 2015. V. 2015. P. 1-5. URL: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201413966>.
4. Chichinina T.I., Hoguev E.A., Reyes-Pimentel A. Microtremor Analysis in Seismic Reflection Data for Identification of Oil and Gas Reservoirs // Conference Proceedings, 76th EAGE Conference and Exhibition, Amsterdam, Jun 2014. V. 2014. P. 1-5. URL: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20141562>.

**Файзуллин Ирик Султанович**, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий сектором отделения геофизических исследований ФГБУ «ВНИГНИ». 117105, г. Москва, Варшавское ш., д. 8. E-mail: [slbo-slong@mail.ru](mailto:slbo-slong@mail.ru).

*Fayzullin Irik Sultanovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor, head of sector, FSBI «All-Russian Research Geological Oil Institute», geophysical research division. 8, Varshavskoye sh., Moscow, 117105, Russia. E-mail: [slbo-slong@mail.ru](mailto:slbo-slong@mail.ru).*

**СерEGIN Александр Владимирович**, старший научный сотрудник отделения геофизических исследований ФГБУ «ВНИГНИ». 117105, г. Москва, Варшавское ш., д. 8. E-mail: [alexandr.sereg@mail.ru](mailto:alexandr.sereg@mail.ru).

*Seregin Aleksandr Vladimirovich, senior research worker, FSBI «All-Russian Research Geological Oil Institute», geophysical research division. 8, Varshavskoye sh., Moscow, 117105, Russia. E-mail: [alexandr.sereg@mail.ru](mailto:alexandr.sereg@mail.ru).*

**Волков Антон Владимирович**, старший научный сотрудник отделения геофизических исследований ФГБУ «ВНИГНИ». 117105, г. Москва, Варшавское ш., д. 8. E-mail: [antonal@yandex.ru](mailto:antonal@yandex.ru)

*Volkov Anton Vladimirovich, senior research worker, FSBI «All-Russian Research Geological Oil Institute», geophysical research division. 8, Varshavskoye sh., Moscow, 117105, Russia. E-mail: [antonal@yandex.ru](mailto:antonal@yandex.ru).*

**Файзуллин Тимур Иркинович**, научный сотрудник отделения геофизических исследований ФГБУ «ВНИГНИ». 117105, г. Москва, Варшавское ш., д. 8. E-mail: [fatimur@yandex.ru](mailto:fatimur@yandex.ru).

*Fayzullin Timur Irkinovich, research worker, FSBI «All-Russian Research Geological Oil Institute», geophysical research division. 8, Varshavskoye sh., Moscow, 117105, Russia. E-mail: [fatimur@yandex.ru](mailto:fatimur@yandex.ru).*

***В.А. Спиридонов, Н.Н. Пиманова, М.Я. Финкельштейн***  
**Технология построения плотностной 3D-модели земной коры в ГИС INTEGR0**

Работа посвящена построению трехмерной плотностной модели территории, которая бы не противоречила информации, полученной другими методами (бурением, сейсморазведкой и др.). Приводится обобщенная схема построения такой модели, описываются ее этапы и способы согласования с результатами других методов. Технология, описанная в работе, базируется на инструментари, входящем в программный комплекс ГИС INTEGR0 (ФГБУ «ВНИГНИ»). Статья проиллюстрирована примерами применения технологии при построении плотностных моделей различных частей Волго-Уральской НПП.

**Ключевые слова:** плотностное моделирование, плотностная 3D-модель, обратная задача гравиразведки, ГИС ИНТЕГРО.

***V.A. Spiridonov, N.N. Pimanova, M.Ya. Finkelstein***  
**Technology for constructing a 3D density model of the earth's crust in the INTEGR0 GIS**

The work is devoted to the construction of a three-dimensional density model of the territory, which would not contradict the information obtained by other methods (drilling, seismic, etc.). A generalized scheme for constructing such a model is given, its stages and ways of matching with the results of other methods are described. The technology described in the work is based on the tools included in the GIS INTEGR0 software package (FSBI «VNIGNI»). The article is illustrated with examples of the technology application in the construction of density models for various parts of the Volga-Ural oil and gas province.

**Key words:** density modeling, 3D density model, inverse problem of gravity exploration, GIS INTEGR0.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас «Опорные геолого-геофизические профили России». Глубинные сейсмические разрезы по профилям ГСЗ, отработанным в период с 1972 по 1995 год. – Электронное издание. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2013. – 94 с. – URL: <http://www.vsegei.ru/ru/info/seismic/>.
2. Глазнев В.Н. Комплексные геофизические модели литосферы Фенноскандии. – Апатиты : КаэМ, 2003. – 252 с.
3. Глазнев В.Н., Минц М.Н., Муравина О.М. Плотностное моделирование земной коры центральной части Восточно-Европейской платформы // Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле. – 2016. – № 1 (29). – С. 53-63.
4. Дружинин В.С., Мартышко П.С., Начапкин Н.И., Осипов В.Ю. Строение верхней части литосферы и нефтегазоносность недр Уральского региона. – Екатеринбург : ИГФ УрО РАН, 2014. – 226 с.
5. Застрожнова О.И., Кротова-Путинцева А.Е., Лукьянова Н.В., Кириков В.П. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Серия Центрально-Европейская. Лист О-37 – Ярославль. Объяснительная записка. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2016. – 408 с.
6. Карсаков Л.П., Чжао Чуньцин, Горошко М.В. и др. Тектоника, глубинное строение, металлогения области сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского поясов. Объяснительная записка к Тектонической карте масштаба 1:1 500 000. – Владивосток ; Хабаровск : ДВО РАН, 2005. – 264 с.
7. Кобрунов А.И., Варфоломеев В.А. Об одном методе  $\varepsilon$ -эквивалентных перераспределений и его использовании при интерпретации гравитационных полей // Физика Земли. – 1981. – № 10. – С. 25-44.
8. Мартышко П.С., Ладовский И.В., Колмогорова В.В., Цидаев А.Г., Бызов Д.Д. Применение сеточных функций в задачах трехмерного плотностного моделирования // Уральский геофизический вестник. – 2012. – № 1 (19). – С. 30-34.

9. Мицын С.В. О численной реализации спектрального метода решения обратной задачи гравиразведки // Геоинформатика. – 2018. – № 3. – С. 89-97.
10. Павленкова Н.И. Реологические свойства верхней мантии северной Евразии и природа региональных границ по данным сверхдлинных сейсмических профилей // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52, № 9. – С. 1287-1301.
11. Пиманова Н.Н., Бисеркин И.А., Деев К.В. Технология построения 3D сеточных плотностных моделей в среде ГИС ИНТЕГРО // Геоинформатика. – 2013. – № 4. – С. 45-48.
12. Приезжев И.И. Построение распределений физических параметров среды по данным гравиразведки, магнитометрии и сейсморазведки // Геофизика. – 2005. – № 3. – С. 46-51.
13. Страхов В.Н. Геофизика и математика. – М. : ОИФЗ РАН, 1999. – 64 с.
14. Сурков В.С., Варламов А.И., Ефимов А.С., Гришин М.П., Кузнецов В.Л., Старосельцев В.С., Лотышев В.И., Смирнов Л.В. Консолидированная кора платформенных областей Сибири // Разведка и охрана недр. – 2007. – № 8. – С. 3-9.
15. Федорова Н.В., Колмогорова В.В., Ладовский И.В. Геофизические модели строения земной коры по Красноленинскому профилю // Уральский геофизический вестник. – 2010. – № 1 (16) . – С. 59-68.
16. Фотиади Э.Э., Захарова Т.Л., Ладынин С.А., Тычков С.А., Шарловская Л.А. Основные черты структуры и динамики литосферы Сибири по геолого-геофизическим данным. – Новосибирск : Наука, Сибирское отделение, 1990. – Вып. 738. – 116 с.
17. Шевченко Б.Ф., Попеко Л.И., Диденко А.Н. Тектоника и эволюция литосферы восточной части Монголо-Охотского орогенного пояса // Геодинамика и тектонофизика = Geodynamics & Tectonophysics. – 2014. – Т. 5, № 3. – С. 667-682.
18. Gardner G.H.F., Gardner L.W., Gregory A.R. Formation velocity and density – the diagnostic basics for stratigraphic traps // Geophysics. – 1974. – V. 39, Issue 6. – P. 770-780.

#### REFERENCES

1. Atlas «Reference geological and geophysical profiles of Russia». Deep seismic sections based on GSS profiles worked out in the period from 1972 to 1995. Electronic edition. St. Petersburg : VSEGEI, 2013. URL: <http://www.vsegei.ru/ru/info/seismic/>.
2. Glaznev V.N. Complex Geophysical Models of the Fennoscandian Lithosphere. Apatity : KaeM Publishing House, 2003. 252 p.
3. Glaznev V.N., Mints M.V., Muravina O.M. Density modeling of the Earth crust for the Central part of the East-European platform // Bulletin of Kamchatka Regional Association «Educational-Scientific Center». Earth Sciences. 2016. No. 1 (29). P. 53-63.
4. Druzhinin B.C., Martyshko P.S., Nachapkin N.I., Osipov V.Yu. The structure of the upper part of the lithosphere and petroleum potential of the Ural region's interior. Yekaterinburg : Institute of Geophysics Urals Branch of RAS Publ., 2014. 226 p.
5. Zastronova O.I., Krotova-Putintseva A.E., Lukyanova N.V., Kirikov V.P. et al. State geological map of the Russian Federation. The scale of 1:1 000 000 (third generation). Series Central European. Sheet O-37 – Yaroslavl. Explanatory note. St. Petersburg : Map factory VSEGEI, 2016. 408 p.
6. Karsakov L.P., Zhao Chunjing, Goroshko M.V. Tectonics, deep structure and metallogeny of the Central Asian-Pacific belts junction area : Explanatory note to the Tectonic map scale of 1:1 500 000. Vladivostok ; Khabarovsk : DVO RAS, 2005. 264 p.
7. Kobrunov A.I., Varfolomeev V.A. On a method of  $\epsilon$ -equivalent redistributions and its use in the interpretation of gravitational fields // Physics of the Solid Earth. 1981. No. 10. P. 25-44.
8. Martyshko P.S., Ladovskiy I.V., Kolmogorova V.V., Tsidaev A.G., Byzov D.D. Grid functions technique for 3D seismic-gravity model construction // Ural Geophysical Bulletin. 2012. No. 1 (19). P. 30-34.
9. Mitsyn S.V. On numeric implementation of spectral method of gravimetry inverse problem // Geoinformatika. 2018. No. 3. P. 89-97.
10. Pavlenkova N.I. Rheological properties of the upper mantle of Northern Eurasia and the nature of regional boundaries based on ultra-long seismic profiles // Russian Geology and Geophysics. 2011. V. 52, No. 9. P. 1016-1027.
11. Pimanova N.N., Biserkin I.A., Deev K.V. Technology of 3D mesh density models in GIS-environment INTEGRO // Geoinformatika. 2013. No. 4. P. 45-48.
12. Priezhev I.I. Construction of distributions of physical parameters of the environment based on gravity, magnetometry, and seismic data // The Russian Geophysics Journal. 2005. Issue 3. P. 46-51.

13. Strahov V.N. Geophysics and mathematics. Moscow : OIFZ RAS, 1999. 64 p.
14. Surkov V.S., Varlamov A.I., Efimov A.S., Grishin M.P., Kuznecov V.L., Staroselcev V.S., Lotyshev V.I., Smirnov L.V. Consolidated crust of platform regions of Siberia // Prospecting and Conservation of Mineral Resources. 2007. No. 8. P. 3-9.
15. Fedorova N.V., Kolmogorova V.V., Ladovskiy I.V. Geophysical models of the earth's crust structure based on the Krasnoleninsky profile // Ural Geophysical Bulletin. 2010. No. 1 (16). P. 59-68.
16. Fotiadi E.E., Zaharova T.L., Ladinin S.A., Tychkov S.A., Sharlovskaya I.A. Main features of the structure and dynamics of the Siberian lithosphere based on geological and geophysical data. Novosibirsk : Science, Siberian branch, 1990. Issue 738. 116 p.
17. Shevchenko B.F., Popeko L.I., Didenko A.N. Tectonics and evolution of the lithosphere of the eastern fragment of the Mongol-Okhotsk orogenic belt // Geodynamics & Tectonophysics. 2014. V. 5, Issue 3. P. 667-682.
18. Gardner G.H.F., Gardner L.W., Gregory A.R. Formation velocity and density – the diagnostic basics for stratigraphic traps // Geophysics. 1974. V. 39, Issue 6. P. 770-780.

**Спиридонов Виктор Альбертович**, кандидат технических наук, заведующий сектором компьютерных технологий 3D-моделирования геолого-геофизических объектов отделения Геоинформатики ФГБУ «ВНИГНИ». 117105, Москва, Варшавское ш., д. 8. E-mail: [victor@geosys.ru](mailto:victor@geosys.ru).

*Spiridonov Viktor Albertovich, Candidate of Technical Sciences, Head of Sector of computer technologies for 3D modeling of geological and geophysical objects, Division of Geoinformatics, FSBI «All-Russian Research Geological Oil Institute». 8 Varshavskoye sh., Moscow, 117105, Russia. E-mail: [victor@geosys.ru](mailto:victor@geosys.ru).*

**Пиманова Надежда Николаевна**, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник отделения Геоинформатики ФГБУ «ВНИГНИ». 117105, Москва, Варшавское ш., д. 8. E-mail: [nadja@geosys.ru](mailto:nadja@geosys.ru).

*Pimanova Nadezhda Nikolaevna, Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, Division of Geoinformatics, FSBI «All-Russian Research Geological Oil Institute». 8 Varshavskoye sh., Moscow, 117105, Russia. E-mail: [nadja@geosys.ru](mailto:nadja@geosys.ru).*

**Финкельштейн Михаил Янкелевич**, доктор технических наук, заведующий отделом 3D-моделирования нефтегазоносных объектов отделения Геоинформатики ФГБУ «ВНИГНИ». 117105, г. Москва, Варшавское ш., д. 8. E-mail: [misha@geosys.ru](mailto:misha@geosys.ru).

*Finkelstein Michail Yankelevich, Doctor of Technical Sciences, Head of Department for 3D modelling of oil-and-gas bearing features, Division of Geoinformatics, FSBI «All-Russian Research Geological Oil Institute». 8 Varshavskoye sh., Moscow, 117105, Russia. E-mail: [misha@geosys.ru](mailto:misha@geosys.ru).*

*А.А. Шестакова*

### **Картографирование закономерностей распространения и современных условий мерзлотных ландшафтов Якутии**

Составлены цифровые тематические карты современного состояния мерзлотных ландшафтов Якутии масштаба 1:1500000. Проведен количественный анализ закономерностей их пространственного распределения, произведена дифференциация мерзлотных ландшафтов по геокриологическим характеристикам, выявлены районы, которые наиболее уязвимы при современном изменении климата и антропогенных воздействиях. Анализ серий цифровых тематических карт современных условий мерзлотных ландшафтов Якутии показал, что 34% от общей территории занимают ландшафты с температурами грунтов от  $-2$  до  $-4$  °С, наименее распространены высокотемпературные мерзлотные ландшафты (от 0 до  $-2$  °С) – около 4% территории. Ландшафты со значениями мощности деятельного слоя около 1 м распространены на 36% территории, что является наибольшим показателем. Незначительные территории (до 3%) занимают ландшафты со значениями мощности деятельного слоя до 3 и 3,5 м. Наибольшее распространение занимают ландшафты со слабльдистыми отложениями (менее 0,2) – 38,7%, а ландшафты с сильнольдистыми отложениями (более 0,4) занимают 31%. Наиболее опасным процессом является термокарст, протекающий в межлассном и слабодренированном типах местности.

**Ключевые слова:** мерзлотный ландшафт, температура грунтов, льдистость отложений, криогенные процессы, цифровые карты, ГИС-модель.

*A.A. Shestakova*

### **Mapping patterns of distribution and modern conditions of permafrost landscapes in Yakutia**

Digital thematic maps of the modern condition of permafrost landscapes of Yakutia on a scale of 1:1500000 have been compiled. A quantitative analysis of the patterns of their spatial distribution was carried out, the differentiation of permafrost landscapes by geocryological characteristics was made, and the areas that are most vulnerable to modern climate change and anthropogenic impacts were identified. The analysis of a series of digital thematic maps of the modern condition of permafrost landscapes in Yakutia showed that 34% of the total territory is occupied by landscapes with soil temperatures from  $-2$  to  $-4$  °C, the least common high-temperature permafrost landscapes (from 0 to  $-2$  °C) – about 4% of the territory. Landscapes with active layer thickness values of about 1 m are spread over 36% of the territory, which is the highest indicator. Insignificant territories (up to 3%) are occupied by landscapes with active layer thickness of up to 3 and 3,5 m. The most widespread landscapes are those with low-ice deposits (less than 0,2) – 38,7%, and landscapes with heavy-ice deposits (more than 0,4) occupy 31%. The most dangerous process is thermokarst, which occurs in the interlassic and slightly drained types of terrain.

**Key words:** permafrost landscape, temperature of soils, ice content of deposits, cryogenic processes, digital maps, GIS model.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Permafrost-Landscape Map of the Republic of Sakha (Yakutia) at scale 1:1,500,000 / A.N. Fedorov, N.F. Vasilyev, Ya.I. Torgovkin, A.A. Shestakova, S.P. Varlamov et al. // Geosciences. – 2018. – V. 8, Issue 12. – P. 465. DOI: 10.3390/geosciences8120465.
2. Мерзлотно-ландшафтная карта Якутской АССР. Масштаб 1: 2 500 000 / ред. П.И. Мельников. – М. : ГУГК, 1991. – 2 л.
3. Thermal state of permafrost in Russia / V.E. Romanovsky, D.S. Drozdov, N.G. Oberman, G.V. Malkova, A.L. Kholodov, S.S. Marchenko, N.G. Moskalenko, D.O. Sergeev. N.G. Ukraintseva, A.A. Abramov, D.A. Gilichinsky, A.A. Vasiliev // Permafrost and Periglacial Processes. – 2010. – V. 21, Issue 2. – P. 136-155. – URL: <https://doi.org/10.1002/ppp.683>.



4. Beer C., Fedorov A.N., and Torgovkin Y. Permafrost temperature and active-layer thickness of Yakutia with 0.5-degree spatial resolution for model evaluation // *Earth Syst. Sci. Data.* – 2013. – V. 5, Issue 2. – P. 305-310. – URL: <https://essd.copernicus.org/articles/5/305/2013/essd-5-305-2013.pdf>.
5. ДеМерс Майкл Н. Географические информационные системы. Основы : пер. с англ. – М. : Дата+, 1999. – 471 с.
6. Fedorov A.N., Ivanova R.N., Park H., Hiyama T., Iijima Y. Recent air temperature changes in the permafrost landscapes of northeastern Eurasia // *Polar Science.* – 2014. – V. 8, Issue 2. – P. 114-128. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.polar.2014.02.001>.
7. Павлов А.В., Малкова Г.В. Мелкомасштабное картографирование трендов современных изменений температуры грунтов на Севере России // *Криосфера Земли.* – 2009. – Т. XIII, № 4. – С. 32-39.
8. Permafrost is warming at a global scale / B.K. Biskaborn, S.L. Smith, J. Noetzli, H. Matthes, G. Vieira, D.A. Streletskiy et al. // *Nature Communications.* – 2019. – V. 10, Issue 1, Article No. 264. DOI: 10.1038/s41467-018-08240-4.
9. Nelson F.E., Shiklomanov N.I., Christiansen H.H., Hinkel K.M. The Circumpolar-Active-Layer-Monitoring (CALM) Workshop: Introduction // *Permafrost and Periglacial Processes.* – 2004. – V. 15, Issue 2. – P. 99-101. DOI: 10.1002/ppp.488.
10. Варламов С.П., Скачков Ю.Б., Скрыбин П.Н. Современные изменения климата и тепловой режим грунтов в естественных ландшафтах Центральной Якутии // *Пятая конференция геокриологов России, Москва, 14-17 июня 2016 г. : сб. материалов.* – Т. 2, Ч. 5-7. Часть 5: Региональная и историческая геокриология. Часть 6: Динамическая геокриология. Геокриологические процессы и явления. Часть 7: Литогенетическая геокриология (криолитогенез). – М. : Изд-во МГУ, 2016. – 330 с. – С. 20-26.
11. Fedorov A.N., Gavriliev P.P., Konstantinov P.Y., Hiyama T., Iijima Y., Iwahana G. Estimating the water balance of a thermokarst lake in the middle of the Lena River basin, eastern Siberia // *Ecohydrology.* – 2014a. – V. 7, Issue 2. – P. 188-196. DOI: 10.1002/eco.1378.
12. Saito H., Iijima Y., Basharin N.I., Fedorov A.N., Kunitsky V.V. Thermokarst development detected from high-definition topographic data in Central Yakutia // *Remote Sensing.* – 2018. – V. 10, Issue 10. – 1579. – URL: <https://doi.org/10.3390/rs10101579>.

#### REFERENCES

1. Permafrost-Landscape Map of the Republic of Sakha (Yakutia) at scale 1:1,500,000 / A.N. Fedorov, N.F. Vasilyev, Ya.I. Torgovkin, A.A. Shestakova, S.P. Varlamov et al. // *Geosciences.* 2018. V. 8, Issue 12. P. 465. DOI: 10.3390/geosciences8120465.
2. Permafrost-Landscape Map of the Yakut ASSR at scale 1:2 500 000 / Ed. by P.I. Melnikov. Moscow : GUGK, 1991. 21.
3. Thermal state of permafrost in Russia / V.E. Romanovsky, D.S. Drozdov, N.G. Oberman, G.V. Malkova, A.L. Kholodov, S.S. Marchenko, N.G. Moskalenko, D.O. Sergeev. N.G. Ukraintseva, A.A. Abramov, D.A. Gilichinsky, A.A. Vasiliev // *Permafrost and Periglacial Processes.* 2010. V. 21, Issue 2. P. 136-155. URL: <https://doi.org/10.1002/ppp.683>.
4. Beer C., Fedorov A.N., and Torgovkin Y. Permafrost temperature and active-layer thickness of Yakutia with 0.5-degree spatial resolution for model evaluation // *Earth Syst. Sci. Data.* 2013. V. 5, Issue 2. P. 305-310. URL: <https://essd.copernicus.org/articles/5/305/2013/essd-5-305-2013.pdf>.
5. DeMers Michael N. *Fundamentals of Geographic Information Systems.* Moscow : Дата+, 1999. 471 p.
6. Fedorov A.N., Ivanova R.N., Park H., Hiyama T., Iijima Y. Recent air temperature changes in the permafrost landscapes of northeastern Eurasia // *Polar Science.* 2014. V. 8, Issue 2. P. 114-128. URL: <https://doi.org/10.1016/j.polar.2014.02.001>.
7. Pavlov A.V., Malkova G.V. Small-Scale mapping of trends of modern changes in soil temperature in the North of Russia // *Earth's Cryosphere.* 2009. V. XIII, No. 4. P. 32-39.
8. Permafrost is warming at a global scale / B.K. Biskaborn, S.L. Smith, J. Noetzli, H. Matthes, G. Vieira, D.A. Streletskiy et al. // *Nature Communications.* 2019. V. 10, Issue 1, Article No. 264. DOI: 10.1038/s41467-018-08240-4.
9. Nelson F.E., Shiklomanov N.I., Christiansen H.H., Hinkel K.M. The Circumpolar-Active-Layer-Monitoring (CALM) Workshop: Introduction // *Permafrost and Periglacial Processes.* 2004. V. 15, Issue 2. P. 99-101. DOI: 10.1002/ppp.488.

10. Varlamov S.P., Skachkov Yu.B., Scriabin P.N. Modern climate changes and thermal regime of soils in natural landscapes of Central Yakutia // Proceedings of the 5-th Conference of geocryologists of Russia. V. 2. Part 5: Regional and Historical Geocryology. Part 6: Dynamic Geocryology. Geocryological processes and phenomena. Part 7: Lithogenetic Geocryology (cryolithogenesis). Moscow : MSU publishing House, 2016. 330 p. P. 20-26.
11. Fedorov A.N., Gavriliev P.P., Konstantinov P.Y., Hiyama T., Iijima Y., Iwahana G.. Estimating the water balance of a thermokarst lake in the middle of the Lena River basin, eastern Siberia // Ecohydrology. 2014a. V. 7, Issue 2. P. 188-196. DOI: 10.1002/eco.1378.
12. Saito H., Iijima Y., Basharin N.I., Fedorov A.N., Kunitsky V.V. Thermokarst development detected from high-definition topographic data in Central Yakutia // Remote Sensing. 2018. V. 10, Issue 10. 1579. URL: <https://doi.org/10.3390/rs10101579>.

**Шестакова Алена Алексеевна**, кандидат географических наук, научный сотрудник лаборатории геоинформационных систем (ГИС) и картографирования криолитозоны Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова Сибирского отделения Российской академии наук. Россия, 677010, г. Якутск, ул. Мерзлотная, д. 36, ИМЗ СО РАН. E-mail: [aashest@mail.ru](mailto:aashest@mail.ru).

***Shestakova Alyona Alexeevna**, Candidate of Technical Sciences, Researcher of the Laboratory of Geographic Information Systems (GIS) and Permafrost Mapping, Melnikov Permafrost Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 36 Merzlotnaya st., Yakutsk, 677010, Russia. E-mail: [aashest@mail.ru](mailto:aashest@mail.ru).*

***С.А. Дубровская, Р.В. Ряхов***  
**Ландшафтно-экологическое районирование города Оренбурга на основе геоморфометрических и эколого-хозяйственных особенностей территории**

Статья представляет собой комплекс детальных исследований природно-ландшафтной структуры и эколого-функционального назначения урбанизированной территории. Актуальность исследования определяется тем, что необходимо введение в документы территориального планирования (генеральный план) и проекты планировки информации о ландшафтном комплексе, с выделением специфических участков природно-экологического каркаса городов. Исследование проведено с целью изучения природно-технической геосистемы для оптимизации взаимодействия преобразованной деятельностью человека природы и социально-экономических потребностей общества. Для достижения поставленной цели, во-первых, впервые разработана схема типизации ландшафтных структур городского пространства, на основе цифровой модели рельефа и с использованием метода автоматизированного типологического районирования рельефа по комплексу его морфометрических данных с использованием искусственных нейронных сетей, в результате автоматизированного обучения нейросетевой модели и верификации полученных данных получено 15 классов (таксоны урочищ) и установлено соответствие каждому типу ландшафта в пространстве с указанием геоморфометрических характеристик. Во-вторых, на базе оцифрованной модели функционального районирования Оренбурга и типов ландшафтов впервые разработана интегральная картосхема ландшафтно-экологического зонирования городского пространства и приведена классификации типов и видов ландшафтных зон: преимущественный и смешанный. В-третьих, отдельно представлены картографические модели природно-ландшафтной составляющей Оренбурга, которая является природно-экологическим каркасом объекта исследования, – рекреационные зоны и гидрографическая сеть. Полученные результаты имеют важное значения для сохранения ландшафтных функций урбанизированной территории, прогноза изменений и минимизации последствий при антропогенном воздействии.

**Ключевые слова:** градостроительство, природно-экологический каркас, функциональные типы землепользования, техногеосистемы, тип ландшафтного назначения, ландшафт, геоморфометрические особенности, нейросетевой алгоритм.

***S.A. Dubrovskaya, R.V. Ryakhov***  
**Landscape-ecological zoning of the Orenburg city based on geomorphometric, ecological and economic features of the territory**

The article is a complex of detailed studies of the natural landscape structure and the ecological and functional purpose of the urbanized territory. The relevance of the study is determined by the fact that it is necessary to introduce territorial planning documents (master plan) and landscape planning projects, with the allocation of specific sections of the natural-ecological framework of cities. The study was conducted with the aim of studying the natural-technical geosystem to optimize the interaction of nature transformed by human activities and the socio-economic needs of society. To achieve this goal, a typification scheme for landscape structures of urban space was developed for the first time, based on a digital terrain model and using the method of automated typological zoning of relief using its morphometric data using artificial neural networks. As a result of automated training of the neural network model and verification of the data obtained, 15 classes were obtained (taxa tracts) and established the correspondence of each type of landscape in space with an indication of geomorphometric characteristics. Based on the digitized model of the functional zoning of Orenburg and types of landscapes, for the first time, an integrated map of the landscape-ecological zoning of urban space was developed and classifications of types and types of landscape zones were presented: primary and mixed. Cartographic models of the natural-landscape component of Orenburg, which is the natural-ecological framework of the object of study – recreational zones and a hydrographic network are separately presented. The results obtained are important for maintaining the landscape functions of the urbanized area, forecasting changes, and minimizing the effects of anthropogenic impact.

**Key words:** urban planning, natural-ecological framework, functional types of land use, technological systems, type of landscape purpose, landscape, geomorphometric features, neural network algorithm.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Географический атлас Оренбургской области / науч. ред. А.А. Чибилёв. – М. : Изд-во ДИК. – 1999. – 96 с.
2. Дубровская С.А., Ряхов Р.В. Картографирование геоморфологических особенностей урбанизированной территории степной зоны с применением метода искусственных нейронных сетей // География и природные ресурсы. – 2020. – № 2. – С. 168-174.
3. Жуков В.Т., Новаковский Б.А., Чумаченко А.Н. Компьютерное геоэкологическое картографирование. – М. : Изд-во «Научный мир». – 1999. – 122 с.
4. Кравчук Л.А., Санец Е.В., Струк М.И., Хомич В.С. Ландшафтно-экологические аспекты формирования природного каркаса города // Современное ландшафтно-экологическое состояние и проблемы оптимизации природной среды регионов : материалы XIII Международной ландшафтной конференции, посвященной столетию со дня рождения Ф.Н. Милькова, Воронеж, 14-17 мая 2018 г. – 2018. – Т. 1. – С. 368-370.
5. Кравчук Л.А., Хомич В.С., Струк М.И., Санец Е.В., Овчарова Е.П., Живнач С.Г., Романкевич Ю.А. Природный каркас как основа зеленой инфраструктуры урбанизированной территории // Эколого-географические проблемы перехода к зеленой экономике / гл. ред. В.С. Хомич. – Минск : СтройМедиаПроект. – 2019. – С. 116-131.
6. Колесникова В.К. Материалы геоинформационной системы обеспечения развития территорий : № RU77-007-10-159 / ГУП «Информационно-технологический центр Москомархитектуры». – М., 2011. – 36 с.
7. Кошкина Ю.Д., Калиев А.Ж. Ландшафтно-экологическое районирование городской территории при подготовке генеральных планов на примере города Оренбурга // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : материалы Всероссийской научно-методической конференции. – 2017. – С. 804-808.
8. Макаров В.З., Новаковский Б.А., Чумаченко А.Н. Эколого-географическое картографирование городов. – М. : Изд-во Научный мир. – 2002. – 196 с.
9. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов : СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 : с изменениями на 25 апреля 2014 года. – М. : Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2001. – 51 с.
10. Водный кодекс Российской Федерации : Федеральный закон от 03.06.2006 № 74-ФЗ (ред. от 02.08.2019). – М. : Эксмо, 2019. – 64 с.

#### REFERENCES

1. Geographical Atlas of the Orenburg Region / Science ed. A.A. Chibilev. Moscow : DIC Publ. 1999. 96 p.
2. Dubrovskaya S.A., Ryakhov R.V. Mapping of geomorphological features of the urbanized territory of the steppe zone using the method of artificial neural networks // Geography and Natural Resources. 2020. No. 2. P. 168-174.
3. Zhukov V.T., Novakovsky B.A., Chumachenko A.N. Computer geocological mapping. Moscow : Publishing House «Scientific World». 1999. 122 p.
4. Kravchuk L.A., Sanets E.V., Struk M.I., Khomich V.S. Landscape-ecological aspects of the formation of the city's natural framework // Modern landscape-ecological state and problems of optimization of the natural environment of the regions : materials of the XIII International Landscape Conference dedicated to the centenary of the birth of F.N. Milkov, Voronezh, May 14-17, 2018. 2018. V. 1. P. 368-370.
5. Kravchuk L.A., Khomich V.S., Struk M.I., Sanets E.V., Ovcharova E.P., Zhivnach S.G., Romankevich Yu.A. The natural framework as the basis of the green infrastructure of the urban area // Ecological and geographical problems of the transition to a green economy / Ch. ed. V.S. Khomich. Minsk : SroyMediaProekt. 2019. P. 116-131.
6. Kolesnikova V.K. Materials of the geographic information system for ensuring the development of territories : No. RU77-007-10-159 / State Unitary Enterprise «Information Technology Center of the Moscow Committee for Architecture». Moscow, 2011. 36 p.
7. Koshkina Yu.D., Kaliev A.Zh. Landscape-ecological zoning of the urban territory in the preparation of master plans for the example of the city of Orenburg // University complex as a regional center of

education, science, and culture materials of the All-Russian Scientific and Methodological Conference. 2017. P. 804-808.

8. Makarov V.Z., Novakovsky B.A., Chumachenko A.N. Ecological and geographical mapping of cities. M. : Publishing House «Scientific World». 2002. 196 p.

9. Sanitary protection zones and sanitary classification of enterprises, structures, and other facilities : SanPiN 2.2.1/2.1.1.1200-03 (as amended on April 25, 2014). – Moscow, 2001. 51 p.

10. The Water Code of the Russian Federation : Federal Law dated 06.06.2006 No. 74-FZ (as amended on 02.08.2019). – Moscow : Eksmo. 2019. 64 p.

**Дубровская Светлана Александровна**, кандидат географических наук, старший научный сотрудник, Институт степи Уральского отделения Российской академии наук – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Оренбургского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук. Россия, 460014, г. Оренбург, ул. Набережная, д. 29. E-mail: skaverina@bk.ru.

***Dubrovskaya Svetlana Aleksandrovna**, Candidate of Geographic Sciences, Senior Researcher, Institute of Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences – separate structural unit Orenburg Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. 29 Naberezhnaya st., Orenburg, 460014, Russia. E-mail: skaverina@bk.ru.*

**Ряхов Роман Васильевич**, младший научный сотрудник, Институт степи Уральского отделения Российской академии наук – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Оренбургского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук. Россия, 460014, г. Оренбург, ул. Набережная, д. 29. E-mail: remus.rv@gmail.com.

***Ryakhov Roman Vasilyevich**, Junior Researcher, Institute of Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences – separate structural unit Orenburg Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. 29 Naberezhnaya st., Orenburg, 460014, Russia. E-mail: remus.rv@gmail.com.*