

УДК 504.064.36

Титов И.Е., Кречетников В.В., Исамов Н.Н., Кузнецов В.К., Панов А.В.
Геоинформационная система радиационно-экологического мониторинга в регионе размещения Ростовской АЭС

Для территории 30-километровой зоны наблюдения Ростовской АЭС разработан ГИС-проект радиационно-экологического мониторинга наземных экосистем с использованием обобщенной за 18-летний период информации о составе и содержании радионуклидов и тяжелых металлов в почве, растительности и сельскохозяйственной продукции. Для создания ГИС-проекта разработаны: электронные карты размещения контрольных участков и контрольных пунктов сети радиационно-экологического мониторинга; аграрных и природных наземных экосистем; распределения значений удельной активности техногенных (^{90}Sr , ^{137}Cs) и естественных (^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th) радионуклидов в объектах окружающей среды; распределения значений мощности AMBIENTного эквивалента дозы; содержания тяжелых металлов 1-3-го классов опасности (Cd, Zn, Pb, Co, Cu, Ni, Mo, Cr, Mn, Fe) в почвах региона Ростовской АЭС. Созданный ГИС-проект радиационно-экологического мониторинга и соответствующие банки данных будут использованы для сбора, хранения и анализа результатов обследования с целью оценки потенциального влияния выбросов и сбросов Ростовской АЭС на человека и окружающую среду.

Ключевые слова: ГИС-проект, радиационно-экологический мониторинг, Ростовская АЭС, наземные экосистемы, радиационная безопасность.

Titov I.E., Krechetnikov V.V., Isamov N.N., Kuznetsov V.K., Panov A.V.
Geoinformation system of radioecological monitoring in the vicinity of Rostov NPP

For the first time, a GIS project for radiation and environmental monitoring of terrestrial ecosystems was developed for the territory of the 30-km observation zone of the Rostov NPP. It was based on the information on the composition and concentrations of radionuclides and heavy metals in soil, vegetation and agricultural products of the studied region compiled over 18 years. Electronic maps have been developed to create a GIS project. They included the location of control sites and control points of the radiation-ecological monitoring network; location of control points for the survey of agricultural and natural terrestrial ecosystems; distribution of specific activity values for artificial (^{90}Sr , ^{137}Cs) and natural (^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th) radionuclides in environmental objects; distribution of ambient dose equivalent rate values; content of heavy metals with hazard classes 1-3 (Cd, Zn, Pb, Co, Cu, Ni, Mo, Cr, Mn, Fe) in the soils of the Rostov NPP region. The created GIS project of radioecological monitoring and the corresponding data banks will be used to collect, store and analyse the results of the survey in order to assess the potential impact of the Rostov NPP on the members of the public and the environment.

Keywords: GIS project, radioecological monitoring, Rostov NPP, terrestrial ecosystems, radiation safety.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Радиационно-экологическая обстановка и социально-экономическое состояние региона Ростовской (Волгодонской) АЭС : информационный выпуск. – Обнинск : ГНУ ВНИИСХРАЭ, 2008. – 37 с.
3. NIMA Technical Report TR8350.2 [Electronic resource] // NGA : DoD World Geodetic System 1984 : Its Definition and Relationships with Local Geodetic Systems. – URL: http://earth-info.nga.mil/GandG/publications/tr8350.2/tr8350_2.html (date of access: 12.10.2011).
4. Панов А.В., Исамов Н.Н., Кузнецов В.К. Радиационно-экологический мониторинг в регионе размещения Ростовской АЭС. Анализ результатов многолетних исследований // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 2 (специальный выпуск). – С. 54-65.
5. Sources and Effects of Ionizing Radiation : United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation : UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. – New York : UN, 2000. – V. 1: Sources. – Annex B. – P. 84-156.
6. Прокопенко С.И., Барковский А.Н., Голиков В.Ю., Калинина М.В., Соловьев М.Ю. Оценка радиационной обстановки в зоне наблюдения Волгодонской атомной электростанции за 2007-2009 гг. // Радиационная гигиена. – 2010. – Т. 3, № 3. – С. 47-50.
7. Шандала Н.К., Коренков И.П., Романов В.В. Состояние радиационно-гигиенической обстановки в районе размещения АЭС // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2015. – Т. 60, № 2. – С. 15-21.

REFERENCES

1. 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.
2. Radioecological situation and socio-economic condition in the vicinity of Rostov (Volgodonsk) NPP. Obninsk : VNIISHRAE, 2008. 37 p.
3. NIMA Technical Report TR8350.2 [Electronic resource] // NGA: DoD World Geodetic System 1984 : Its Definition and Relationships with Local Geodetic Systems. – URL: http://earth-info.nga.mil/GandG/publications/tr8350.2/tr8350_2.html (date of access: 12.10.2011).
4. Panov A.V., Isamov N.N., Kuznetsov V.K. Radioecological monitoring in the vicinity of Rostov NPP. The analysis of results of long-term investigations // Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene. 2019. V. 12, Issue 2 (special issue). P. 54-65. URL: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2019-12-2s-54-65> (date of access: 12.10.2011).
5. Sources and Effects of Ionizing Radiation : United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation : UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. New York : UN, 2000. V. 1: Sources. Annex B. P. 84-156.
6. Prokopenko S.I., Barkovsky A.N., Golikov V.Y., Kalinina M.V., Soloviev M.Y. Evaluation of the radiation situation in the observation area of the Volgodonsk nuclear power plant during 2007-2009 // Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene. 2010. V. 3, Issue 3. P. 47-50.
7. Shandala N.K., Korenkov I.P., Romanov V.V. Radiation Situation at the NPP Area // Medical Radiology and Radiation Safety. 2015. V. 60, Issue 2. P. 15-21.

Титов Игорь Евгеньевич, научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии» (ФГБНУ ВНИИРАЭ). 249032, Россия, 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). 249032, Russian Federation, Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse, 109 km. E-mail: titan13_08@mail.ru.

Кречетников Виктор Владимирович, научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии» (ФГБНУ ВНИИРАЭ). 249032, Россия, 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). 249032, Russian Federation, Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse, 109 km. E-mail: viktor.krechetnikov@mail.ru.

Исамов Низаметдин Низаметдинович, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии» (ФГБНУ ВНИИРАЭ). 249032, Россия, Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км. E-mail: nizomis@yandex.ru.

Isamov Nizametdin Nizametdinovich, Candidate of Biological Sciences, Russian Institute of Radiology and Agroecology (RIRAE). 249032, Russian Federation, Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse, 109 km. E-mail: nizomis@yandex.ru.

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

Kuznetsov Vladimir Konstantinovich, RIRAE, Obninsk, Doctor of Biological Sciences, Russian Institute of Radiology and Agroecology (RIRAE). 249032, Russian Federation, Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse, 109 km. E-mail: vkkuzn@yandex.ru.

Панов Алексей Валерьевич, доктор биологических наук, зам. директора по научно-организационной и инновационной деятельности Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии» (ФГБНУ ВНИИРАЭ). 249032, Россия, Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км. E-mail: riar@mail.ru.

Panov Aleksey Valerevich, Doctor of Biological Sciences, Russian Institute of Radiology and Agroecology (RIRAE). 249032, Russian Federation, Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse, 109 km. E-mail: riar@mail.ru.

Любимова А.В., Хромова Н.Ю.

Комплексный анализ возможностей ГИС-пакетов для решения картографических задач в сфере природопользования

В статье рассматриваются вопросы методического сопровождения обоснованного выбора программного обеспечения для реализации ГИС-проектов в сфере природопользования на примере сравнительного системного анализа возможностей трех популярных ГИС-пакетов (ГИС INTEGRO, QGIS и ArcGIS). Разработанная система формализованных критериев для проведения анализа описывает технологические возможности каждого пакета для реализации основных этапов сборки ГИС-проекта, технические требования к оборудованию, финансовую политику разработчиков, качество сопровождения ПО и административные ограничения по его использованию. На ее основе с помощью метода анализа иерархий (МАИ) реализуется модель принятия управленческого решения по выбору наилучшего ГИС-пакета различными категориями организаций, деятельность которых связана с природопользованием, – государственные бюджетные учреждения, коммерческие организации и вузы.

Ключевые слова: геоинформационные системы, INTEGRO, QGIS, ArcGIS, метод анализа иерархий, принятие решений.

Lyubimova A.V., Khromova N.Y. Comprehensive analysis of GIS package features for solving cartographic problems in the field of natural resource management

In this article we discuss software choosing methodology for GIS project implementation in the field of environmental management with the help of comparative system analysis of the capabilities of three popular GIS packages (GIS INTEGRO, QGIS and ArcGIS). The developed system of formalized criteria for analysis describes the technological capabilities of each package for the implementation of the main stages of building a GIS project, technical requirements for equipment, financial policies of developers, the quality of software maintenance and administrative restrictions on its use. Based on the system, using the analytic hierarchy process (AHP), a managerial decision-making model is implemented to select the best GIS package for various categories of organizations related to nature management – namely, state budgetary institutions, commercial organizations and universities.

Keywords: geographic information systems, INTEGRO, QGIS, ArcGIS, analytic hierarchy process, decision-making.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГИС INTEGRO [Электронный ресурс] // ГИС INTEGRO, 2019 – URL: <http://www.gis-integro.ru/> (дата обращения: 13.05.2020).
2. QGIS – The Leading Open Source Desktop GIS [Электронный ресурс] // QGIS, 2018. – URL: <https://qgis.org/ru/site/about/> (дата обращения: 13.05.2020).
3. ArcGIS. Геоинформационные системы [Электронный ресурс] // DOCPLAYER, 2018. – URL: <https://docplayer.ru/36395544-Arcgis-geoinformacionnyesistemy.html> (дата обращения: 13.05.2020).

REFERENCES

1. GIS INTEGRO [Electronic resource] // GIS INTEGRO, 2019. URL: <http://www.gis-integro.ru/> (date of access: 13.05.2020).
2. QGIS – The Leading Open Source Desktop GIS [Electronic resource] // QGIS, 2018. URL: <https://qgis.org/ru/site/about/> (date of access: 13.05.2020).

3. ArcGIS. Geoinformation systems [Electronic resource] // DOCPLAYER, 2018. URL: <https://docplayer.ru/36395544-Arcgis-geoinformacionnye-sistemy.html> (date of access: 13.05.2020).

Любимова Анна Владимировна, кандидат технических наук, зав. отделом ГИС и цифровой картографии отделения геоинформатики ФГБУ «ВНИГНИ». 117105, Москва, Варшавское шоссе, д. 8. И.о. зав. кафедрой геоинформационных систем и технологий Государственного университета «Дубна», 141982, Московская область, Дубна, ул. Университетская, д. 19. E-mail: anna@geosys.ru.

Lyubimova Anna Vladimirovna, PhD head of GIS and Digital Cartography Department, Division of Geoinformatics, VNIGNI, 8, Varshavskoye shossee, Moscow, 117105, Russia. Head of Department of Geoinformation Systems and Technologies, Dubna State University, 19 Universitetskaya street, Dubna, 141982, Moscow Region, Russia. E-mail: anna@geosys.ru.

Хромова Наталия Юрьевна, студентка Государственного университета «Дубна». 141982, Московская область, Дубна, ул. Университетская, д. 19. E-mail: hromovanatalya@yandex.ru.

Khromova Natalia Yuryevna, Graduate student; Dubna State University, 19 Universitetskaya street, Dubna, 141982, Moscow Region, Russia, E-mail: hromovanatalya@yandex.ru.

Sargsyan P.S.

Выделение и оценка неотектонической активности блоковых структур территории Армении и сопредельных частей малого Кавказа на основе ГИС-анализа цифровых моделей рельефа и тектоно-геоморфологических индексов

В последние годы в сфере тектонических, сейсмологических и сеймотектонических исследований все большее внимание обращается на применение современных ГИС-технологий. Это касается как составления разного рода тектонических схем, так и пространственного анализа геодинамических процессов. В этой связи для территории Армении, которая имеет сложное геолого-тектоническое строение и активную геодинамику, применение современных методов и данных имеет важное научно-практическое значение.

В статье с помощью морфологического анализа современных цифровых моделей рельефа, при применении современных ГИС-технологий, составлена морфоструктурная схема, отражающая линеаментно-блоковые единицы территории Армении. Полученные результаты подтверждаются при их сопоставлении с другими геолого-геофизическими данными. Проведена оценка неотектонической (неоген-четвертичной) активности выделенных блоков по ряду тектоно-геоморфологических индексов. На основе полученных данных проведена классификация блоков по степени их тектонической активности.

Составленная в результате карта линеаментно-блоковых элементов и их тектонической активности может быть применена при разного рода тектонических, сейсмологических и сеймотектонических исследованиях, в качестве тектонической основы.

Ключевые слова: ГИС, цифровые модели рельефа, линеаменты, блоки, тектоно-геоморфологических анализ, тектоническая активность, Армения.

Sargsyan R.S.

Highlighting and assessment of Neotectonic activity of block structures of the territory of Armenia and adjacent parts of Lesser Caucasus on the basis of GIS analysis of digital elevation models and tectonic-geomorphological indices

In recent years, in the field of tectonic, seismological and seismotectonic investigations, increasing attention is paid to the use of modern GIS technologies. This applies both to the compilation of various tectonic schemes and to the spatial analysis of geodynamic processes. In this regard, for the territory of Armenia, which has a complicated geological and tectonic structure and active geodynamics, the use of modern methods and data is of great scientific and practical importance.

In the article by morphological analysis of modern digital elevation models, using modern GIS technologies, a morphostructural scheme is made that reflects the lineament-block units of the territory of Armenia. Obtained results are confirmed by the comparison with other geological and geophysical data. The Neotectonic (Neogene-Quaternary) activity of the selected blocks was assessed using a number of tectonic-geomorphological indices. Based on the obtained data, the classification of blocks by the level of their tectonic activity is carried out.

Composed map of lineament-block elements and their tectonic activity can be used in various types of tectonic, seismological and seismotectonic studies, as a tectonic basis.

Keywords: GIS, Digital Elevation Models, lineaments, blocks, tectonic-geomorphological analysis, tectonic activity, Armenia.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бальян С.П. Структурная геоморфология Армянского нагорья и окаймляющих областей. – Ереван : Изд-во ЕГУ, 1969. – 390 с.
2. Бойнагрян А.В. Выявление сейсмоактивных структур территории Армении по морфоструктурным данным : автореф. дис. ... канд. геол. наук. – Ереван : ЕГУ, 2005. – 21 с.
3. Волчанская И.К., Джрбашян Р.Т., Меликсетян Б.М., Саркисян О.А., Фаворская М.А. Блоковое строение Северо-Западной Армении и особенности размещения магматических и рудных проявлений // Советская геология. – 1971. – № 8. – С. 15-27.
4. Геология Армянской ССР. Т. I: Геоморфология. – Ереван : Изд-во АН Арм. ССР, 1962. – 587 с.
5. Зограбян Л.Н., Геворкян Ф.С. Морфологический анализ морфоструктуры Кавказа // Изв. АН Арм. ССР. Науки о Земле. – 1971. – № 5. – С. 67-74.
6. Имаева Л.П., Гусев Г.С., Имаев В.С., Ашурков С.В., Мельникова В.И., Середкина А.И. Геодинамическая активность новейших структур и поля тектонических напряжений северо-востока Азии // Геодинамика и тектонофизика. – 2017. – Т. 8, № 4. – С. 737-768.
7. Костенко Н.П. Развитие складчатых и разрывных деформаций в орогенном рельефе. – М. : Недра, 1972. – 320 с.
8. Кочарян Г.Г. Геомеханика разломов. – М. : ГЕОС, 2016. – 424 с.
9. Ребецкий Ю.Л., Сим Л.А., Маринин А.В. От зеркал скольжения к тектоническим напряжениям. Методики и алгоритмы. – М. : ГЕОС, 2017. – С. 143-148.
10. Саркисян О.А., Шахбекян Т.А. Первая крупномасштабная (1:200 000) тектоническая карта Армении // Ученые записки ЕГУ. Геология и география. – 2015. – № 3. – С. 10-19.
11. Саргсян Р.С., Казарян К.С. Выделение тектонически активных блоков и оценка сейсмотектонического потенциала разломов территории Армении по комплексу тектоно-геоморфологических и сейсмологических данных // Ученые записки ЕГУ. Геология и география. – 2018. – 52(3). – С. 179-187.
12. Abdullah A., Akhir J.M., Abdullah I. Automatic Mapping of Lineaments Using Shaded Relief Images Derived from Digital Elevation Model (DEMs) in the Maran – Sungai Lembing Area, Malaysia // EJGE. – 2010. – V. 15. – P. 949-957.
13. Allen C.R. Geological criteria for evaluating Seismicity // Geological Society of America Bulletin. – 1975. – V. 86. – P. 1041-1057.
14. Etchebehere M.L.C., Saad A.R., Santoni G.C., Casado F.C., Fulfaro V.J. Detection of probable neotectonic deformations in the Rio do Peixe valley, western region of São Paulo, using RDE (Declivity-Extension Ratio) indices in drainage segments // Geosciences. – 2006. – V. 25. – P. 271-287.
15. Gentana D., Sulaksana N., Sukiyah E., Yuningsih E.T. Index of Active Tectonic Assessment: Quantitativebased Geomorphometric and Morphotectonic Analysis at Way Belu Drainage Basin, Lampung Province, Indonesia // International Journal of Advanced Science, Engineering Information Technology. – 2018. – V. 8, No. 6. – P. 2460-2471.
16. Mahmood S.A., Gloaguen R. Appraisal of active tectonics in Hindu Kush: Insights from DEM derived geomorphic indices and drainage analysis // Geoscience Frontiers. – 2012. – V. 3, Issue 4. – P. 407-428.
17. Moussi A., Rebai N., Chaieb A., Saadi A. GISbased analysis of the Stream Length-Gradient Index for evaluating effects of active tectonics: a case study of Enfidha (North-East of Tunisia) // Arabian Journal of Geosciences. – 2018. – V. 11, Issue 6 (123). – URL: <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3466-x> (date of access: 10.11.2019).
18. Singh O., Sarangi A., Sharma M.C. Hypsometric Integral Estimation Methods and its Relevance on Erosion Status of North-Western Lesser Himalayan Watersheds // Water Resources Management. – 2008. – V. 22. – P. 1545-1560.
19. Strahler A. Quantitative Geomorphology of drainage basins and channel networks // Handbook of Applied Hydrology. – New York : McGraw Hill, 1964. – P. 4-39.

REFERENCES

1. Balyan S.P. Structural Geomorphology of Armenian Highland and adjacent territories. Yerevan : Publishment of YSU, 1969. 390 p.
2. Boynagryan A.V. Revealing of seismoactive structures of the territory of Armenia by morphostructural data : autoref. of dis. ... PhD in Geology. Yerevan : YSU, 2005. 21 p.
3. Volchanskaya I.K., Djrbashyan R.T., Meliksetyan B.M., Sarkisyan H.H., Favorskaya M.A. Block structure of North-Western Armenia and features of placement of magmatic and ore manifestations // *Sovetskaya Geologia*, 1971. No. 8. P. 15-27.
4. Geology of Armenian SSR. Volume 1: Geomorphology. Yerevan : Publ. of NAS of ArmSSR, 1962. 587 p.
5. Zohrabyan L.N., Gevorkyan F.S. Morphological analysis of morphostructure of Caucasus // *Izvestiya NAS of ArmSSR. Earth Sciences*. 1971. No. 5. P. 67-74.
6. Imaeva L.P., Gusev G.S., Imaev V.S., Ashurkov S.V., Melnikova V.I., Seredkina A.I. Geodynamic activity of modern structures and tectonic stress fields in Northeast Asia // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2017. V. 8, Issue 4. P. 737-768. URL: <https://doi.org/10.5800/GT-2017-8-4-0315> (date of access: 14.11.2019).
7. Kostenko N.P. Development of folded and fractured deformations in orogenic relief. Moscow : Nedra, 1972. 320 p.
8. Kocharyan G.H. Fault Geomechanics. Moscow : GEOS, 2016. 424 p.
9. Rebetsky Yu.L., Sim L.A., Marinin A.V. From sliding mirrors to tectonic stresses. Methods and algorithms. Moscow : GEOS, 2017. P. 143-148.
10. Sarkisyan H.H., Shahbekyan T.A. First large-scale (1:200 000) tectonic map of Armenia // *Proceedings of YSU. Geology and Geography*. 2015. No. 3. P. 10-19.
11. Sargsyan R.S., Ghazaryan K.S. Assignment of tectonically active blocks of the territory of Armenia and assessment of faults seismotectonic potential by complex of tectonic-geomorphological and seismological data // *Proceedings of YSU. Geology and Geography*. 2018. 52 (3). P. 179-187.
12. Abdullah A., Akhir J.M., Abdullah I. Automatic Mapping of Lineaments Using Shaded Relief Images Derived from Digital Elevation Model (DEMs) in the Maran – Sungai Lembing Area, Malaysia // *EJGE*. 2010. V. 15. P. 949-957.
13. Allen C.R. Geological criteria for evaluating Seismicity // *Geological Society of America Bulletin*. 1975. V. 86. P. 1041-1057.
14. Etchebehere M.L.C., Saad A.R., Santoni G.C., Casado F.C., Fulfaro V.J. Detection of probable neotectonic deformations in the Rio do Peixe valley, western region of São Paulo, using RDE (Declivity-Extension Ratio) indices in drainage segments // *Geosciences*. 2006. V. 25. P. 271-287.
15. Gentana D., Sulaksana N., Sukiyah E., Yuningsih E.T. Index of Active Tectonic Assessment: Quantitativebased Geomorphometric and Morphotectonic Analysis at Way Belu Drainage Basin, Lampung Province, Indonesia // *International Journal of Advanced Science, Engineering Information Technology*. 2018. V. 8, No. 6. P. 2460-2471.
16. Mahmood S.A., Gloaguen R. Appraisal of active tectonics in Hindu Kush: Insights from DEM derived geomorphic indices and drainage analysis // *Geoscience Frontiers*. 2012. V. 3, Issue 4. P. 407-428.
17. Moussi A., Rebai N., Chaieb A., Saadi A. GISbased analysis of the Stream Length-Gradient Index for evaluating effects of active tectonics: a case study of Enfidha (North-East of Tunisia) // *Arabian Journal of Geosciences*. 2018. V. 11, Issue 6 (123). URL: <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3466-x> (date of access: 10.11.2019).
18. Singh O., Sarangi A., Sharma M.C. Hypsometric Integral Estimation Methods and its Relevance on Erosion Status of North-Western Lesser Himalayan Watersheds // *Water Resources Management*. 2008. V. 22. P. 1545-1560.
19. Strahler A. Quantitative Geomorphology of drainage basins and channel networks // *Handbook of Applied Hydrology*. New York : McGraw Hill, 1964. P. 4-39.

Саргсян Рудольф Суменович, кандидат геологических наук, заведующий лабораторией геоинформационных систем Института геофизики и инженерной сейсмологии им. А. Назарова (ИГИС НАН РА). Республика Армения, 3115, Гюмри, ул. В. Саргсяна, д. 5, Лаборатория геоинформационных систем. E-mail: rudolf-sargsyan@mail.ru.

Sargsyan Rudolf Surenovich, PhD in Geology, Head of laboratory of GIS, Institute of Geophysics and Engineering Seismology after A. Nazarov of NAS RA (IGES NAS RA). Rep. of Armenia, 3115, Gyumri, V. Sargsyan street 5, Lab. of GIS. E-mail: rudolf-sargsyan@mail.ru.

Новаковский Б.А., Кудрявцев А.В., Энтин А.Л.

Использование материалов воздушного лазерного сканирования при картографировании рельефа

Воздушное лазерное сканирование (ВЛС) – один из современных методов дистанционного зондирования, получающий все более широкое применение в географических исследованиях. Способствует этому, в частности, высокая точность данных, что делает их пригодными для целей картографирования в масштабах, соответствующих крупномасштабным топографическим картам и планам (1:10 000 и крупнее). Однако существует ряд факторов, способных влиять на результирующую детальность данных ВЛС, выражающуюся в плотности точек лазерного сканирования. Колоссальное влияние в этом плане оказывает лесная растительность, наличие которой значительно снижает подробность отображения, особенно рельефа. В настоящей работе подробно рассматривается подобное влияние на примере горной территории, а также приводится численная оценка величины потери детальности данных ВЛС о рельефе под лесной растительностью. Представленная в работе методика позволяет определить географическое разрешение цифровой модели рельефа путем оценки детальности исходных данных ВЛС и на основании этого выявить возможный диапазон масштабов картографирования. Полученные результаты показывают, что даже при наличии древесной растительности данные ВЛС способны отображать различные микроформы рельефа.

Ключевые слова: воздушное лазерное сканирование, детальность данных, цифровая модель рельефа, картографирование рельефа.

Novakovsky B.A., Kudryavtsev A.V., Entin A.L.

Using of airborne laser scanning data to topography mapping.

Airborne laser scanning is one of the modern methods of remote sensing, which is gaining wider application in geographical research. This is facilitated by the high accuracy of the data, making it suitable for large-scale mapping purposes (1:10 000 and larger). However, there are a number of factors that can affect the resulting detail of the data, expressed in the density of the points of the laser scanning. Huge impact from this point of view has forest vegetation. Its presence significantly reduces display detail, especially elevation.

In this paper we consider a similar effect on the example of a mountainous area, and also provide a numerical estimate of the magnitude of detail loss of the airborne laser scanning data under forest vegetation. The methodology of this work allows you to determine the geographical resolution of the digital elevation model by estimating the detail of the raw data and based on this to identify a possible range of mapping scales. The results show that even in the presence of wood vegetation, airborne laser scanning data are capable of displaying various relief microforms.

Keywords: airborne laser scanning, data detail, digital elevation model, topography mapping.

ЛИТЕРАТУРА

1. Медведев Е.М., Данилин И.М., Мельников С.Р. Лазерная локация земли и леса: учебное пособие. – М. : Геолидар, Геоскосмос ; Красноярск : Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2007. – 230 с.
2. Новаковский Б.А., Ковач Н.С., Энтин А.Л. Геоинформационные технологии использования воздушного лазерного сканирования для решения географических и картографических задач // Геодезия и картография. – 2014. – № 7. – С. 44-48.

3. Рычагов Г.И. Общая геоморфология. – М. : Изд-во Московского университета, 2006. – 416 с.
4. Рылский И.А., Калинин И.В. Сравнение пригодности данных воздушного лазерного сканирования и аэрофотосъемки с БПЛА для обеспечения проектных работ // ИнтерКарто. ИнтерГИС : мат-лы междунар. конф. – 2017. – № 23 (3). – С. 31-46.
5. Höfle B., Rutzinger M. Topographic airborne LiDAR in geomorphology: A technological perspective // Zeitschrift für Geomorphologie. – 2011. – V. 55, Supp. Issue 2. – P. 1-29.
6. Hu Y. Automated Extraction of Digital Terrain Models, Roads and Buildings Using Airborne Lidar Data : UCGE Reports. – Canada : Alberta : Calgary : Department of Geomatics Engineering, 2003. – 222 p.
7. Liu X. Airborne LiDAR for DEM generation: Some critical issues // Progress in Physical Geography. – 2008. – V. 32, Issue 1. – P. 31-49.
8. DGGs Elevation Portal [Electronic resource]. – URL: <https://elevation.alaska.gov/> (date of access: 15.02.2020).

REFERENCES

1. Medvedev E.M., Danilin I.M., Melnikov S.R. Laser location of land and forest: A training manual. Moscow : Geolidar, Geocosmos, 2007. 230 с.
2. Novakovsky B.A., Kovach N.S., Entin A.L. Geoinformation technologies to use air laser scanning to solve geographic and cartographic tasks // Geodesy and Cartography. 2014. No. 7. P. 44-48.
3. Rychagov G.I. General geomorphology. Moscow : Moscow University Press, 2006. 416 p.
4. Rylskiy I.A., Kalinkin I.V. Feasibility comparison of airborne laser scanning data and 3d-point clouds formed from unmanned aerial vehicle (uav)-based imagery used for 3d projecting InterCarto. InterGIS : Proceedings of the International conference. 2017. V. 23 (3). P. 31-46.
5. Hofle B., Rutzinger M. Topographic airborne LiDAR in geomorphology: A technological perspective // Zeitschrift Geomorphologie. 2011. V. 55, Supp. Issue 2. P. 1-29.
6. Hu Y. Automated Extraction of Digital Terrain Models, Roads and Buildings Using Airborne Lidar Data : UCGE Reports. Canada : Alberta : Calgary : Department of Geomatics Engineering. 2003. 222 p.
7. Liu X. Airborne LiDAR for DEM generation: Some critical issues // Progress in Physical Geography. 2008. V. 32, Issue 1. P. 31-49.
8. DGGs Elevation Portal [Electronic resource]. URL: <https://elevation.alaska.gov/> (date of access: 15.02.2020).

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). 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, МГУ, д. 1, Главное здание, Географический факультет. E-mail: 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). 119991, Russia, Moscow, GSP-1, 1 Leninskiye Gory, MSU, Faculty of Geography. E-mail: 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). 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, МГУ, д. 1, Главное здание, 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). 119991, Russia, Moscow, GSP-1, 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). 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, МГУ, д. 1, Главное здание, 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). 119991, Russia, Moscow, GSP-1, 1 Leninskiye Gory, MSU, Faculty of Geography. E-mail: aentin@geogr.msu.ru.

Нерадовский Л.Г.

Статистические зависимости петрофизических характеристик мерзлых пород в Якутске

Эксперимент, выполненный в г. Якутске с применением методов ВЭЗ и георадиолокации, расширил знания по петрофизике мерзлых пород в сфере взаимодействия с инженерными сооружениями и ниже, до глубины залегания коренного основания долины р. Лены. По коэффициенту вариации базовая электрофизическая характеристика (удельное электрическое сопротивление) и проистекающая из нее радиофизическая характеристика (удельное затухание электромагнитных волн) чувствительны к изменению по площади и глубине состава, состояния и свойств мерзлых пород. Скорость распространения волн слабо реагирует на это изменение. Кластерный и корреляционный анализ показал, что между групповыми средними значениями сопротивления и затухания, которые теоретически связаны причинно-следственными отношениями, существует статистическая зависимость, адекватно описываемая на высоком уровне детерминации уравнением степенной функции. Таким же уравнением описываются не менее сильные корреляционные отношения затухания и скорости. Благодаря этому, используя обратные уравнения регрессии, по данным методов ВЭЗ и электротомографии можно получать дополнительную информацию о радиофизических свойствах мерзлых пород и наоборот. То есть методом георадиолокации получать данные о сопротивлении мерзлых грунтов. Максимальная погрешность таких преобразований даже без группирования исходных данных невелика и составляет для затухания и скорости 8,7 и 13,7%, а для сопротивления 17,5%. Такая погрешность достаточна для приблизительного решения инженерно-геологических задач на начальных стадиях проектно-изыскательских работ в г. Якутске и его окрестности в долине р. Лены «Туймаада».

Ключевые слова: ВЭЗ, георадиолокация, мерзлые породы, затухание, скорость, удельное электрическое сопротивление, ошибка.

Neradovskii L.G.

Statistical relations between the petrophysical properties of frozen rocks in Yakutsk

An experiment performed in the city of Yakutsk using vertical electrical sounding (VES) and ground penetrating radar (GPR) methods has provided more insight into the petrophysics of frozen rocks in the zone of interaction with engineering structures down to the bedrock of the Lena River valley. The variation coefficients indicate that the basic electrophysical property (electrical resistivity) and the resulting radiophysical property (attenuation of electromagnetic waves) are sensitive to lateral and vertical variations in texture, condition and properties of the permafrost material, while propagation velocity exhibits no significant response. The cluster and correlation analyses have shown a statistical relationship between the group average values of resistivity and attenuation which are theoretically related in cause and effect. This relationship is adequately described by the power function equation with a high level of determination. The same equation describes the equally strong correlation between attenuation and velocity. Therefore, the inverse regression equations can be used to obtain additional information on the radiophysical properties of frozen rocks and vice versa from VES and ERT data. In other words, permafrost resistivities can be derived with the GPR method. The maximum error of such transformations is low even without grouping the initial data, being 8,7% for attenuation, 13,7% for velocity, and 17,5% for resistivity. This level of accuracy is sufficient for approximate solution of geotechnical tasks at the initial stages of engineering site investigations in Yakutsk and its vicinity.

Keywords: vertical electrical sounding, ground penetrating radar, frozen rocks attenuation, velocity, electrical resistivity, errors.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гриненко В.С., Камалетдинов В.А., Сластенов Ю.Л., Щербаков О.И. Геологическое строение Большого Якутска // Региональная геология Якутии. – Якутск : Изд-во Якутского гос. ун-та, 1995. – С. 3-20.
2. Соловьев П.А. Криолитозона северной части Лено-Амгинского междуречья. – М. : Изд-во АН СССР, 1959. – 144 с.
3. Коржуев С.С. Геоморфология долины средней Лены и прилегающих районов. – М. : Изд-во Академии наук СССР, 1959. – 151 с.
4. Спектор В.В., Бакулина Н.Т., Спектор В.Б. Рельеф и возраст аллювиального покрова долины р. Лены на «Якутском разбое» // Геоморфология. – 2008. – № 1. – С. 87-94.
5. Инструкция по применению электроразведки при инженерных изысканиях в строительстве. Постоянный ток и естественное поле. Республиканские строительные нормы. РСН 43-74. – М. : Изд-во Госстроя РСФСР, 1975. – 120 с.
6. Инструкция по электроразведке / под ред. Г.С. Франтова. – Л. : Недра, 1984. – 534 с.
7. Нерадовский Л.Г. Методическое руководство по изучению многолетнемерзлых пород методом динамической георадиолокации. – М. : Изд-во РАН, 2009. – 337 с. – (Серия «Избранные труды Российской школы по проблемам науки и технологий» : ежегод. изд. МСНТ / гл. ред. Н.П. Ершов).
8. Пылаев А.М. Руководство по интерпретации вертикальных электрических зондирований. Издание второе, исправленное. – М. : Недра, 1968. – 148 с.
9. Бобачев А.А. Руководство пользователя. Программа PI2Win (версия 2). – М. : Изд-во МГУ, 2001. – 22 с.
10. Инструкция пользователя программы «R9M». Обработка и интерпретация данных георадиолокации применительно к аппаратуре 17ГРЛ-1. – Якутск : Трест ЯкутТИСИЗ, 1990. – 37 с.
11. Кулаичев А.П. Методы и средства комплексного анализа данных, 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Форум : ИНФРА-М. – 2006. – 512 с.
12. Пасхавер И.С. Закон больших чисел и статистические закономерности. – М. : Статистика, 1974. – 152 с.
13. Нерадовский Л.Г. Статистика удельного электрического сопротивления мерзлых рыхлых отложений и осадочных пород долины реки Лены «Туймаада» // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2019. – Т. 24, № 2. – С. 49-55.
14. Анисимова Н.П., Павлова Н.А. Гидрогеохимические исследования криолитозоны Центральной Якутии / отв. ред. В.В. Шепелёв ; Ин-т мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН. – Новосибирск : Академическое изд-во «Гео», 2014. – 189 с.
15. Якупов В.С. Электропроводность и геоэлектрический разрез мёрзлых толщ // Труды Северо-Восточного комплексного научно-исследовательского института. Выпуск 20. – М. : Изд-во «Наука», 1968. – 179 с.
16. Нерадовский Л.Г., Омеляненко А.В., Федорова Л.Л. Методические возможности георадиолокации мониторинга состояния мерзлых грунтов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М. : МГГУ, 2004. – № 7. – С. 44-47.
17. Нерадовский Л.Г. Оценка объемной льдистости дисперсных грунтов Центрально-Якутской низменности по данным георадиолокации // Лёд и Снег. – 2019. – Т. 59, № 1. – С. 81-92.
18. Нерадовский Л.Г. Строение ледового комплекса южной окраины Лено-Амгинского междуречья по данным метода вертикального электрического зондирования // Криосфера Земли. – 2019. – Т. XXIII, № 5. – С. 35-48.
19. Владов М.Л., Судакова М.С. Георадиолокация. От физических основ до перспективных направлений. – М. : ГЕОС, 2017. – 240 с.
20. Ground penetrating radar theory and applications / ed. by Harry M. Jol. – Elsevier Science, 2009. – 523 p.

21. Dentith M., Enkin R.J., Morris W., Adams C., Bourne B. Petrophysics and mineral exploration: a workflow for data analysis and a new interpretation framework // *Geophysical Prospecting*. – 2019. – V. 68, Issue 1. – P. 178-199. – URL: <https://doi.org/10.1111/1365-2478.12882> (date of access: 18.05.2019).
22. Гурьянов И.Е. Инженерная криолитология: прочность вечномёрзлых грунтов / Ин-т мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН. – Новосибирск : Академическое изд-во «Гео», 2009. – 139 с.
23. Wunderlich T., Rabbel W. Absorption and frequency shift of GPR signals in sandy and silty soils: empirical relations between quality factor Q, complex permittivity and clay and water contents // *Near Surface Geophysics*. – 2013. – V. 11, Issue 2. – P. 117-128. – URL: <https://doi.org/10.3997/1873-0604.2012025>(date of access: 24.05.2019).
24. Hans G., Redman D., Leblon B., Nader J., la Roque A. Determination of log moisture content using earlytime GPR signal // *Wood Material Science and Engineering*. – 2015. – V. 10, Issue 1. – P. 112-129. – URL: <https://doi.org/10.1080/17480272.2014.939714> (date of access: 23.05.2019).
25. Нерадовский, Л.Г. Технология электромагнитного зондирования мерзлых грунтов слоя годовых теплооборотов / отв. ред. А.В. Омеляненко ; Ин-т мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН. – М. : АНО Изд. дом «Науч. обозрение», 2018. – 622 с.
26. Фролов А.Д. Электрические и упругие свойства мерзлых пород и льдов. – 2-е изд., доп. и испр. – Пушино : ОНТИ ПНЦ РАН, 2005. – 607 с.
27. Рекомендации по определению физико-механических свойств мерзлых дисперсных грунтов геофизическими методами / Произв. и НИИ по инж. изысканиям в стр-ве. – М. : Стройиздат, 1989. – 56 с.

REFERENCES

1. Grinenko V.S., Kamaletdinov V.A., Slastenov Yu.L., Shcherbakov O.I. The geological structure of Greater Yakutsk // *Regional Geology of Yakutia*. Yakutsk : Izdvo Yakutskogo gos. un-ta, 1995. P. 3-20.
2. Solovyev P.A. Permafrost in the Northern Part of the Lena-Amga Watershed. Moscow : Izd-vo AS USSR, 1959. 144 p.
3. Korzhuyev S.S. Geomorphology of the Middle Lena Valley and Adjacent Areas. Moscow : Izd-vo AS USSR, 1959. 151 p.
4. Spektor V.V., Bakulina N.T., Spektor V.B. Relief and Age of alluvial Cover of The Lena River Valley on the Yakutsky Razboj // *Geomorfologiya*. 2008. No. 1. P. 87-94.
5. Guidelines for Application of Electrical Methods in Engineering Site Investigations. DC Resistivity and Self-Potential Methods. Regional Code of Practice. RSN 43-74. Moscow : Izd-vo Gosstroya RSFSR, 1975. 120 p.
6. Instructions for Electromagnetics. Edited by G.S. Frantov. L. : Nedra, 1984. 534 p.
7. Neradovskii L.G. Guidelines for Permafrost Investigation by Dynamic GPR Method. Moscow : Izd-vo RAN, 2009. 337 p. (Russian Academy of Sciences Press. Selected Papers of the Russian School for Science and Technology Problems Series, MCHT Annual Publ, ed. N.P. Ershov).
8. Pylayev A.M. Guide to Interpretation of Vertical Electrical Soundings. Second edition, revised, Moscow : Izd-wo Nedra, 1968. 148 p.
9. Bobachev A.A. A User's Guide. The Program IPI2Win (Version 2). Moscow : the Moscow State University, 2001. 22 p.
10. A User Manual of the Program R9M. Processing and Interpretation of Geo-Radar Data in Relation to the Equipment 17GRL-1. Yakutsk : Trust YakutTECS, 1990. 37 p.
11. Kulaichev A.P. Methods and Tools for Integrated Data Analysis, 4th ed., remade and add. Moscow : Forum : INFRA-M, 2006. 512 p.
12. Paskhaver I.S. The Law of Large Numbers and Statistical Regularities. Moscow : Statistics, 1974. 152 p.

13. Neradovskii L.G. Statistics of Electrical Resistivity of Frozen Loose Sediments and Sedimentary Rocks of the Lena River Valley Tuimaada // Arctic and Subarctic natural resources. 2019. V. 24, No. 2. P. 49-55.
14. Anisimova, N.P., Pavlova N.A. Hydrogeochemical Studies of Permafrost in Central Yakutia. Novosibirsk : Academic Publishing House «Geo», 2014. 189 p.
15. Yakupov V.S. Electrical Conductivity and Geoelectric Section of Frozen Strata // Proceedings of the Northeastern Integrated Research Institute. Issue 20. Moscow : Publishing House Science, 1968. 179 p.
16. Neradovskii L.G., Omelyanenko A.V., Fedorova L.L. Methodological Possibilities of Georadar Monitoring of Frozen Soils // Mountain Information and Analytical Bulletin. Moscow : the Moscow State University, 2004. No. 7. P. 44-47.
17. Neradovskii L.G. Estimation of Volumetric Ice Content of Dispersed Soils of the Central Yakut Lowland According to Georadolocation Data // Ice and Snow. 2019. V. 59, No. 1. P. 81-92.
18. Neradovskii L.G. The Structure of the Ice Complex of the Southern Outskirts of the Lena-and-Amga Interfluve According to the Method of Vertical Electric Sensing // Cryosphere of the Earth. 2019. V. XXIII, No. 5. P. 35-48.
19. Vladov M.L., Sudakova M.S. Georadiolokaciya. Ground Probing Radar. From Physical Principles to Promising Directions. Moscow : GEOS, 2017. 240 p.
20. Ground penetrating radar theory and applications. Ed. by Harry M. Jol. Elsevier Science, 2009. 523 p.
21. Dentith M., Enkin R.J., Morris W., Adams C., Bourne B. Petrophysics and mineral exploration: a workflow for data analysis and a new interpretation framework // Geophysical Prospecting. 2019. V. 68, Issue 1. P. 178-199. URL: <https://doi.org/10.1111/1365-2478.12882> (date of access: 18.05.2019).
22. Guryanov I.E. Engineering Cryolithology: Strength of Permafrost Soils. Novosibirsk : Academic Publishing House «Geo», 2009. 139 p.
23. Wunderlich T., Rabbel W. Absorption and frequency shift of GPR signals in sandy and silty soils: empirical relations between quality factor Q, complex permittivity and clay and water contents // Near Surface Geophysics. 2013. V. 11, Issue 2. P. 117-128. URL: <https://doi.org/10.3997/1873-0604.2012025>(date of access: 24.05.2019).
24. Hans G., Redman D., Leblon B., Nader J., La Roque A. Determination of log moisture content using early-time GPR signal // Wood Material Science and Engineering. 2015. V. 10, Issue 1. P. 112-129. URL: <https://doi.org/10.1080/17480272.2014.939714> (date of access: 23.05.2019).
25. Neradovskii L.G. Electromagnetic Sounding Technology for Frozen Ground within the Layer of Annual Temperature Variations. Moscow : ANO Izd. dom «Nauch. Obozrenie», 2018. 622 p.
26. Frolov A.D. Electrical and Elastic Properties of Frozen Rocks and Ice. Second Amended and Revised Edition. Pushchino : DSTI PSC RAS, 2005. 607 p.
27. Recommendations for Determination of Physical and Mechanical Properties of Frozen Dispersed Soils by Geophysical Methods. Moscow : Stroizdat, 1989. 56 p.

Нерадовский Леонид Георгиевич, доктор технических наук, старший научный сотрудник лаборатории инженерной геокриологии Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова (ИМЗ) СО РАН. 677010, Якутск, ул. Мерзлотная, д. 36. E-mail: leoner@mpi.ysn.ru.

Neradovskii Leonid Georgievich, Doc. Sc. (Eng.), Senior Research Scientist, Laboratory of Engineering Geocryology, Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 677010, Yakutsk, Permafrost street, 36. E-mail: leoner@mpi.ysn.ru.

Забинякова О.Б., Александров П.Н.

Анализ магнитотеллурических данных методом истокообразной аппроксимации

Метод истокообразной аппроксимации заключается в аппроксимации наблюдаемого электромагнитного поля решением соответствующей прямой задачи для модели проводящего полупространства, с включенным в него элементарным объемом избыточной электропроводности. Вычисляемый для каждого местоположения элементарного объема коэффициент аппроксимации может рассматриваться как функция местоположения элементарного объема и позволяет делать выводы о местоположении неоднородностей в геологической среде. В данной работе рассмотрена возможность применения метода истокообразной аппроксимации к интерпретации данных магнитотеллурического зондирования. Показано, что результаты истокообразной аппроксимации магнитотеллурических данных обладают геометрическим смыслом и позволяют определять начальные приближения для решения обратных задач и, таким образом, снижать размерность их решений. Работа также включает краткое описание разработанного в Научной станции РАН программного комплекса MTSourceApprox, предназначенного для выполнения истокообразной аппроксимации профильных магнитотеллурических данных.

Ключевые слова: магнитотеллурические данные, истокообразная аппроксимация, программный комплекс MTSourceApprox.

Zabinyakova O.B., Alexandrov P.N.

Magnetotelluric data analysis using sourcewise approximation method

The sourcewise approximation method is based on approximation of natural electromagnetic field by correspondent forward magnetotelluric problem solution defined for model of conductive half-space with the elementary excess conductivity volume included in it. Approximation coefficient evaluated for each locations of elementary volume may be considered as function with respect to elementary volume location and allows to make decisions about non-homogeneous insertions of geological medium. In this paper, the possibility of sourcewise approximation method applying for interpretation of magnetotelluric sounding data is considered. It is shown that results of the sourcewise approximation of magnetotelluric data have a geometric sense and allow to determine the initial approximations for inverse problems solving, and, thus, help to reduce dimension of their solutions. MTSourceApprox software developed at the Research Station of RAS in Bishkek city is also briefly described in the paper. The aim of this software is sourcewise approximation of profile magnetotelluric data.

Keywords: magnetotelluric data, sourcewise approximation, MTSourceApprox software.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Модели и методы магнитотеллурики. – М. : Научный мир, 2009. – 680 с.
2. Александров П.Н., Александров А.Н. Истокообразная аппроксимация в задачах сейсморазведки и электроразведки // Гальперинские чтения 2009 : тезисы докладов IX ежегодной международной конференции и выставки, Москва, ЦГЭ, 27-30 октября 2009. – С. 58-61.
3. Александров П.Н., Монахов С.Ю. Истокообразная аппроксимация в трехмерных обратных задачах электроразведки // Недра Поволжья и Прикаспия. – 2014. – № 80. – С. 35-45.

4. Забиякова О.Б. Истокообразная аппроксимация в задачах магнитотеллурического зондирования // Современные техника и технологии в научных исследованиях : сб. материалов X Междунар. конф. молодых ученых и студентов. – Бишкек : НС РАН, 2018. – С. 35-42.
5. Забиякова О.Б. Применение метода истокообразной аппроксимации при анализе данных магнитотеллурического зондирования // Современные техника и технологии в научных исследованиях : сб. материалов XI Междунар. конф. молодых ученых и студентов. – В 2 т. – Бишкек : НС РАН, 2019. – Т. 1 : С. 77-84.
6. Mackie R.L., Smith J.T., Madden T.R. Three dimensional electromagnetic modeling using finite difference equations: The magnetotelluric example // Radio Science. – 1994. – V. 29, Issue 4. – P. 923-935.
7. Крамер Г. Математические методы статистики. – М. : Мир, 1975. – 648 с.

REFERENCES

1. Berdichevsky M.N., Dmitriev V.I. Models and methods of magnetotellurics. Berlin : Springer, 2009. 563 p. DOI: 10.1007/978-3-540-77814-1.
2. Alexandrov P.N., Alexandrov A.N. Sourcewise approximation in problems of seismic prospecting and geoelectrics // Galperin Readings 2009 : abstracts of IX Annual International Conference and Exhibition. Moscow, CGE, October 27-30, 2009. P. 58-61.
3. Alexandrov P.N., Monakhov S.Y. Sourcewise approximation in three dimensional inverse problems of electrical prospecting // Volga and Pricaspian Region Resources. 2014. V. 80. P. 35-45.
4. Zabinyakova O.B. Sourcewise approximation in magnetotelluric sounding problems // Modern equipment and technologies in scientific research : Papers of X International Conference of Young Scientists and Students. Bishkek : RS RAS, 2018. P. 35-42.
5. Zabinyakova O.B. Application of sourcewise approximation method for analysis of magnetotelluric sounding data // Modern equipment and technologies in scientific research: Papers of XI International Conference of Young Scientists and Students. V. 1. – Bishkek : RS RAS, 2019. P. 77-84.
6. Mackie R.L., Smith J.T., Madden T.R. Three dimensional electromagnetic modeling using finite difference equations: The magnetotelluric example. Radio Science. 1994. V. 29, Issue 4. P. 923-935.
7. Cramer H. Mathematical methods of statistics. NJ : Princeton : Princeton University Press. 1999. 575 p.

Забиякова Ольга Борисовна, младший научный сотрудник, и.о. ученого секретаря Научной станции РАН в г. Бишкеке. 720049, Кыргызстан, Бишкек-49, Научная станция РАН. E-mail: perah.92@inbox.ru.

Zabinyakova Olga Borisovna, junior researcher, acting academic secretary; Research Station of Russian Academy of Sciences. 720049, Kyrgyzstan, Bishkek-49, Research Station RAS. E-mail: perah.92@inbox.ru.

Александров Павел Николаевич, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Центра геоэлектромагнитных исследований ИФЗ РАН. 108840, г. Москва, г. Троицк, а/я 30, ЦГЭМИ ИФЗ РАН. E-mail: alexandr@igemi.troitsk.ru.

Alexandrov Paul Nikolaevich, doctor of physics and mathematics, leading scientific researcher; Geoelectromagnetic Research Center of Institute of the Physics of the Earth of Russian Academy of Sciences. GEMRC IPE RAS, P.O.B. 30, 108840, Moscow, Troitsk, Russian Federation. E-mail: alexandr@igemi.troitsk.ru.

Е.А. Козловский,

Вице-президент РАЕН, член Высшего горного Совета России, Министр геологии СССР (1975-1989), д.т.н., профессор.

К 75-летию Великой победы. Геология: в созидании и войнах (продолжение, начало в № 1 2020)

В 2020 г. весь мир отмечает величайшее событие – 75 годовщину победы Советского Союза и стран коалиции в Великой Отечественной войне – войне, в которой погибли миллионы воинов и безвинных жертв фашистской авантюры. Историки (в который раз!) хронологически изложат факты, объяснят суть и смысл этого гигантского события. Ведь вторая мировая война была не только схваткой сражавшихся армий, но и ожесточённой борьбой экономик воевавших сторон. К сожалению, не только положительные эмоции сопровождают воспоминания. Идет зримый процесс по переписыванию истории Великой войны. Складывается впечатление, что создаётся единый фронт по очернению и фальсификации героического прошлого нашей страны, по пересмотру итогов Великой отечественной войны. Отмечая 75-летие победы в Великой Отечественной войне, мы должны помнить, что геологи – разведчики недр сделали всё, чтобы обеспечить развитие экономики на всём пути развития Государства. Это необходимо знать и использовать на новом этапе развития страны!

Kozlovsky E.A.

To the 75th anniversary of the Great Victory. Geology: in creation and wars (continued, beginning at No. 1 2020)

In 2020, the whole world celebrates the greatest event – the 75th anniversary of the victory of the Soviet Union and coalition countries in the Great Patriotic War – a war in which millions of soldiers and innocent victims of a fascist adventure were killed. Historians (once again!) will chronologically state the facts, explain the essence and meaning of this gigantic event. After all, World War II was not only a battle between the fighting armies, but also a fierce struggle between the economies of the warring parties. Unfortunately, not only positive emotions accompany memories. There is a visible process of rewriting the history of the Great War. One gets the impression that a united front is being created to denigrate and falsify the heroic past of our country, to review the results of the Great Patriotic War. Celebrating the 75th anniversary of the victory in the Great Patriotic War, we must remember that geologists – prospectors of the subsoil did everything possible to ensure the development of the economy along the entire path of development of the State. It is necessary to know and use it at a new stage in the development of the country!

Козловский Евгений Александрович, доктор технических наук, профессор, Министр геологии СССР (1975-1989 гг.). E-mail: igep@mail.ru.

Kozlovsky Evgeny Aleksandrovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Minister of Geology of the USSR (1975-1989). E-mail: igep@mail.ru.