

УДК 004.9:004.738.5:553.3:553.6

**Ткачев А.В., Булов С.В., Чесалова Е.И.  
Геопортал «Металлогения»**

Геопортал «Металлогения» является ключевым элементом узла инфраструктуры пространственных данных, создаваемого в ГГМ РАН. В настоящее время геопортал обеспечивает организованный доступ к каталогу метаданных, интерактивному картографическому приложению, веб-приложениям «Крупнейшие месторождения мира» и «Металлогеническая зональность докембрия» и связанным с ними веб-сервисам, а также к вспомогательным материалам и пояснительной информации. Геопортал находится в свободном доступе и предназначен для широкого круга пользователей: ученых, геологов-практиков, аспирантов, студентов и любых других специалистов, использующих ГИС-технологии в области анализа геологической, но особенно – металлогенической информации. Геопортал предоставляет возможность любому пользователю не только использовать уже размещенные на нем ресурсы, но и публиковать собственные пространственные метаданные, данные и геосервисы. Это обеспечивает их эффективный поиск и делает намного более доступными кругу заинтересованных специалистов во всем мире.

**Ключевые слова:** геопортал, геоинформационная система, веб-приложение, веб-сервис, металлогения.

**Tkachev A.V., Bulov S.V., Chesalova E.I. «Metallogeny» geoportal**

The «Metallogeny» geoportal is a key element of a spatial data infrastructure node being created in Vernadsky's SGM RAS. Currently, the geoportal provides an organized access to a metadata catalog, interactive cartographic application, web-applications «World's Largest mineral Deposits» and «Metallogenic Zoning of the Precambrian» and web-services related to them. Some supporting materials and explanatory information are also included in this structure. The geoportal is freely available. It is designed for a wide range of users: scientists, practicing geologists, graduate students, students and any other specialists using GIS technologies in the analysis of geological, but especially metallogenic information. The geoportal provides opportunities for any user not only to use the resources already placed on it, but also to publish their own spatial metadata, data and geoservices. This ensures their effective search and makes all of them much more accessible to a wide circle of interested specialists all over the world.

**Keywords:** geoportal, geoinformation system, web-application, web-service, metallogeny.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Березко А.Е., Соловьев А.А., Красноперов Р.И., Рыбкина А.И. Интеллектуальная аналитическая геоинформационная система «Данные наук о Земле по территории России» // Environment. Technology. Resources : Proceedings of the 7th International Scientific and Practical Conference, Rezekne, Latvia, 25-27 June 2009 / Rēzeknes Augstskola. – V. 1. – Rēzekne : RA Izdevniecība, 2009. – P. 215-221.
2. Богатиков О.А., Коваленко В.И., Шарков Е.В. Магматизм, тектоника, геодинамика Земли: связь во времени и в пространстве. – М. : Наука, 2010. – 606 с. (Труды ИГЕМ РАН, Новая серия ; вып. 3).
3. Кошкарев А.В. Геопортал как инструмент управления пространственными данными и геосервисами // Пространственные данные. – 2008. – № 2. – С. 6-14.
4. Наумова В.В., Горячев И.Н. ГИС-портал «Геология и геофизика Дальнего Востока России»: интеграция пространственных данных и сервисов // Геоинформатика. – 2013. – № 2. – С. 12-19.
5. Крупные и суперкрупные месторождения рудных полезных ископаемых / Д.В. Рундквист, А.В. Ткачев, С.В. Черкасов, Ю.Г. Гатинский, П.О. Соболев, С.А. Тихоцкий, Т.В. Романюк, Н.А. Павленкова, А.И. Горшков, А.А. Соловьев, И.И. Абрамович, А.Б. Вревский, В.Я. Хильтова, Н.В. Вишневская, Е.И. Чесалова, Е.Е. Арбузова, И.О. Лебедев, Н.И. Кутузова. – Т. 1: Глобальные закономерности размещения. – М. : ИГЕМ РАН, 2006. – 390 с.
6. Ряховский В.М., Шульга Н.Ю. Принципы работы и архитектура интернет-портала «Геология» // Мониторинг. Наука и технологии. – 2009. – № 1. – С. 78-88.
7. Ткачев А.В., Булов С.В., Рундквист Д.В., Похно С.А., Вишневская Н.А., Никонов Р.А. Веб-ГИС «Крупнейшие месторождения мира» // Геоинформатика. – 2015. – № 1. – С. 47-59.
8. Faure S. World kimberlites CONSOREM database (version 3), 2010. – URL: [https://consorem.uqac.ca/kimberlite/world\\_kimberlites\\_and\\_lamproites\\_consorem\\_database\\_v2010.xls](https://consorem.uqac.ca/kimberlite/world_kimberlites_and_lamproites_consorem_database_v2010.xls) (date of access: 12.10.18).
9. Globig J., Fernández M., Torne M., Vergés J., Robert A., Faccenna C. New insights into the crust and lithospheric mantle structure of Africa from elevation, geoid, and thermal analysis // J. Geophys. Res. : Solid Earth. – 2016. – V. 121, Issue 7. – P. 5389-5424. Supporting Dataset 3.
10. Rundkvist D.V., Cherkasov S., Bozhko N., Dagelaysky V., Turchenko S., Larin A. World atlas of the Precambrian metallogenic zoning. Scale 1:10000000–1:2500000 / SGM RAS ; IGGP RAS ; VNIIGeosystem. – Paris : CCGM, 2002. – CD-ROM.
11. Woolley A.R., Kjarsgaard B.A. Carbonatite occurrences of the world: Map and database // Geological Survey of Canada, Open File 5796. – 2008. – 28 pages, 1 sheet. – 1 CD ROM.

## REFERENCES

1. Berezko A., Solovjov A., Krasnoperov R., Ribkina A. Intellectual analytical geoinformation system «Earth science data for the territory of Russia» // Environment. Technology. Resources : Proceedings of the 7th International Scientific and Practical Conference, Rezekne, Latvia, 25-27 June 2009. Rēzeknes Augstskola. V. 1. Rēzekne : RA Izdevniecība, 2009. P. 215-221.
2. Bogatikov O.A., Kovalenko V.I., Sharkov E.V. Magmatism, tectonics, geodynamics of the Earth: Spatiotemporal relationships. Moscow : Nauka Publishing House, 2010. 606 p. (Transactions of the IGEM RAS. New series ; Iss. 3)
3. Koshkarev A.V. A geoportal as a tool to manage spatial data and geoservices // Prostranstvennyye dannye (Spatial Data). 2008. No. 2. P. 6-14.
4. Naumova V.V., Goryachev I.N. «Geology and Geophysics of the Russian Far East»: GIS-portal that integrates spatial data and services // Geoinformatika. 2013. No. 2. P. 12-19.
5. Large and superlarge mineral deposits / D.V. Rundqvist, A.V. Tkachev, S.V. Cherkasov, Yu.G. Gatinsky, P.O. Sobolev, S.A. Tichotsky, T.V. Romanyuk, A. Pavlenkova, A.I. Gorshkov, A.A. Soloviov, I.I. Abramovich, A.B. Vrevsky, V.Ya. Khiltova, N.V. Vishnevskaya, E.I. Chesalova, E.E. Arbuzova, I.O. Lebedev, N.I. Kutuzova. V. 1. Global distribution regularities. – Moscow : IGEM RAS, 2006. – 390 p.
6. Ryakhovskiy V.M., Shulga N.Yu. Principles of work and architecture of the «Geology» Internet-portal // Monitoring. Nauka i tehnologii (Monitoring. Science & Technologies). 2009. No. 1. P. 78-88.
7. Tkachev A.V., Bulov S.V., Rundqvist D.V., Pokhno S.A., Vishnevskaya N.A., Nikonov R.A. WEB GIS «World's Largest Mineral Deposits» // Geoinformatika. 2015. No. 1. P. 47-59.
8. Faure S. World kimberlites CONSOREM database (version 3), 2010. URL: [https://consorem.uqac.ca/kimberlite/world\\_kimberlites\\_and\\_lamproites\\_consorem\\_database\\_v2010.xls](https://consorem.uqac.ca/kimberlite/world_kimberlites_and_lamproites_consorem_database_v2010.xls) (date of access: 12.10.18).

9. Globig J., Fernández M., Torne M., Vergés J., Robert A., Faccenna C. New insights into the crust and lithospheric mantle structure of Africa from elevation, geoid, and thermal analysis // *J. Geophys. Res. : Solid Earth*. 2016. V. 121, Issue 7. P. 5389-5424. Supporting Dataset 3.
10. Rundkvist D.V., Cherkasov S., Bozhko N., Dagelaysky V., Turchenko S., Larin A. World atlas of the Precambrian metallogenic zoning. Scale 1:10000000–1:2500000 / SGM RAS ; IGGP RAS ; VNIIGeosystem. Paris : CCGM, 2002. CD-ROM.
11. Woolley A.R., Kjarsgaard B.A. Carbonatite occurrences of the world: Map and database // Geological Survey of Canada, Open File 5796. 2008. 28 pages, 1 sheet. 1 CD ROM.

**Ткачев Андрей Владимирович**, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник Государственного геологического музея им. В.И. Вернадского РАН (ГГМ РАН). 125009, г. Москва, ул. Охотный ряд, д. 11, стр. 11. E-mail: a.tkachev@sgm.ru.  
*Tkachev Andrey Vladimirovich, Doctor of Sciences in Geology and Mineralogy, Main Researcher in Vernadsky's State Geological Museum RAS (SGM RAS). Okhotny Ryad Str. 11, bld. 11. E-mail: a.tkachev@sgm.ru.*

**Булов Станислав Владимирович**, заведующий сектором Государственного геологического музея им. В.И. Вернадского РАН (ГГМ РАН). 125009, г. Москва, ул. Охотный ряд, д. 11, стр. 11. E-mail: s.bulov@sgm.ru.  
*Bulov Stanislav Vladimirovich, Head of a Division in Vernadsky's State Geological Museum RAS (SGM RAS). Okhotny Ryad Str. 11, bld. 11. E-mail: s.bulov@sgm.ru.*

**Чесалова Елена Игоревна**, научный сотрудник Государственного геологического музея им. В.И. Вернадского РАН (ГГМ РАН). 125009, г. Москва, ул. Охотный ряд, д. 11, стр. 11. E-mail: a.tkachev@sgm.ru.  
*Chesalova Elena Igorevna, researcher of Vernadsky's State Geological Museum RAS (SGM RAS). Okhotny Ryad Str. 11, bld. 11. E-mail: e.chesalova@sgm.ru.*

**Лубсанова Е.Л.**

**Цифровой региональный гидробиологический геосервис**

На основе методики геоинформационного картографирования водных организмов в подледный период представлены этапы разработки геосервиса системы регионального мониторинга поверхностных вод. Геосервис с цифровыми картами гидробионтов планктона, бентоса и оценки загрязненности воды по гидробиологическим показателям создан для оперативной репрезентативности исследований в межведомственном взаимодействии, ситуационных центрах и распространении геоинформации с возможностью визуализации пространственных данных в браузерах портативных устройств среди пользователей глобальной сети.

**Ключевые слова:** водный организм, геоинформационное картографирование, геосервис, гидробиологический мониторинг, качество воды, подледный период, портативные устройства.

**Lubsanova E.L. Digital regional hydrobiological geoservice**

In this article describes the maintenance of stages creation geoservice on the basis developed method geoinformation mapping water organisms during the subglacial period for system regional hydrobiological monitoring surface water. The geoservice with digital raster and vector maps of plankton, benthos, evaluation of pollution water by hydrobiological indicators for use at interdepartmental interaction, situational centers and opportunity visualization spatial data at browsers of portable devices among users in global network is presented.

**Keywords:** water organism, geoinformation mapping, geoservice, hydrobiological monitoring, water quality, subglacial period, portable devices.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Абакумов В.А. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений : утв. Гос. ком. СССР по гидрометеорологии и контролю прир. среды 12.09.1982. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200060189> (дата обращения: 12.05.2019).
2. Базова Н.В., Базов А.В. Экологическая характеристика зообентоса р. Селенга в подледный период / отв. ред. А.Ф. Алимов, Г.С. Розенберг // IX Съезд Гидробиологического общества РАН : тез. докл. : в 2 т. – Тольятти : ИЭВБ, 2006. – Т. 1. – 297 с. – С. 29.
3. Батуев А.Р., Снытко В.А., Галес Д.А., Рагулина М.В., Рященко С.В., Шеховцова Т.Н. Картографические исследования ресурсов развития этнических сообществ Байкальского региона // Геоинформационное картографирование для сбалансированного территориального развития : мат-лы VIII научной конференции по тематической картографии, Иркутск, 21-23 ноября 2006 г. : в 2 т. – Иркутск : ИГ СО РАН, 2006. – Т. 2. – С. 107-111.
4. География и мониторинг биоразнообразия / под ред. Н.С. Касимова. – М. : Экоцентр МГУ, 2002. – 432 с. – URL: <http://www.nature.air.ru/biodiversity/pdf/book3.pdf> (дата обращения: 20.06.2018).
5. Капралов Е.Г., McLeod Brian GSDI CookBook. Руководство по созданию Глобальной инфраструктуры пространственных данных «Доступ и получение пространственных данных» // Пространственные данные. – 2006. – № 1. – С. 6-18.
6. Кацко С.Ю. Исследование компьютерных картографических изображений и их реализация в геоинформационном картографировании : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 25.00.33. – Новосибирск : Ред.-изд. отдел ГОУ ВПО СГГА, 2008. – 25 с. – URL: [http://www.miigaik.ru/nauka/dissertacionyyu\\_sovet/zasedaniya/20081120175827-1611.pdf](http://www.miigaik.ru/nauka/dissertacionyyu_sovet/zasedaniya/20081120175827-1611.pdf) (дата обращения: 12.05.2018).

7. Лопаткин Д.А., Батуев А.Р., Абалаков А.Д., Труфанов Д.А. Геоинформационное картографирование системы охраняемых природных территорий бассейна озера Байкал // Геоинформационное картографирование для сбалансированного территориального развития : мат-лы VIII научной конференции по тематической картографии, Иркутск, Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, ноябрь 2006 г. – Т. 2. – С. 240-243.
8. Молотов В.С., Шагжиев К.Ш. Государственное управление природными ресурсами Байкальского региона / под ред. В.П. Орлова, Н.Г. Рыбальского. – М. : Изд-во НИА-Природа, 1999. – 244 с. – URL: <http://www.priroda.ru/lib/detail.php?ID=5026> (дата обращения: 14.06.2018).
9. Ривьер И.К. Особенности планктоценозов озер в разные экологические периоды (подледный и открытой воды) // Труды ИБВВ. – 2016. – Вып. 74 (77). – С. 59-76.
10. Шаши Шекхар, Санжей Чаула. Основы пространственных баз данных : пер. с англ. – М. : КУДИЦ-ОБРАЗ, 2004. – 336 с.

#### REFERENCES

1. Abakumov V.A. Guide to methods of the hydrobiological analysis of surface water and bottom sediment. 1982. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200060189> (date of access: 12.05.2019).
2. Bazova N.V., Bazov A.V. Ecological characteristic of zoobenthos of river Selenga in the subglacial period : Proc. 9th Scientific Meeting of hydrobiological community RAS / Ed. by A.F. Alimov, G.S. Rosenberg. Togliatti : IEVB, 2006, V. 1. P. 29.
3. Batuyev A.R., Ragulina M.V., Ryashchenko S.V., Shekhovtsova T.N., Snytko V.A., Gales D.A. Cartographic investigations of development resources ethnic communities of the Baikal region. Geoinformation mapping for balanced territorial development : Proc. 8th Scien. Conf. on thematic cartography (Irkutsk, 21-23 November, 2006). Irkutsk : Institute of Geography SB RAS Publisher, 2006, vol. 2, pp. 107-111
4. Geography and monitoring of a biodiversity / Ed. by N.S. Kasimov. Moscow : Ecocenter of MGU, 2002. 432 p. URL: <http://www.nature.air.ru/biodiversity/pdf/book3.pdf> (date of access: 20.06.2018).
5. Kapralov E.G., McLeod Brian. GSDI CookBook is the Guide to creation of Global infrastructure of spatial data «Access and obtaining spatial data». Prostranstvennyye dannye. 2006. No. 1. P. 6-18.
6. Katsko S.Yu. The investigation of computer cartographic images and their realization in geoinformation mapping : Author's thesis. Ph.D. technical sciences : 25.00.33. Novosibirsk : Department of Publisher GOUY VPO SGGGA, 2008. 25 p. URL: [http://www.miigaik.ru/nauka/dissertacionyy\\_sovets/zasedaniya/20081120175827-1611.pdf](http://www.miigaik.ru/nauka/dissertacionyy_sovets/zasedaniya/20081120175827-1611.pdf) (date of access: 12.05.2019).
7. Lopatkin D.A., Batuyev A.R., Abalakov A.D., Trufanov D.A. Geoinformation mapping of protected natural areas system of Lake Baikal pool. Geoinformation mapping for balanced territorial development : Proc. 8th Scien. Conf. on thematic cartography (Irkutsk, 21-23 November, 2006). Irkutsk : Institute of Geography SB RAS Publisher, 2006. V. 2. P. 240-243.
8. Molotov V.S., Shagzhiyev K.Sh. State management by natural resources of the Baikal region / Ed. by V.P. Orlov, N.G. Rybalsky. Moscow : NIA-Priroda Publisher, 1999. 244 p. URL: <http://www.priroda.ru/lib/detail.php?ID=5026> (date of access: 14.06.2018).
9. Rivyer I.K. Features of lakes planktocenoses during the different ecological periods (subglacial and open water) // Proceedings of IBIW RAS. 2016. Issue 74 (77). P. 59-76.
10. Shashi Shekhar, Sanzhey Chaula. Basics of spatial databases. Moscow : Kudits-Obraz Publisher, 2004. 336 p.

**Лубсанова Елена Лубсанимаевна**, программист «Бурятского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» (филиал ФГБУ «Забайкальское УГМС»). 670034, г. Улан-Удэ, ул. Пушкина, д. 2а. E-mail: [biogeomap@yandex.ru](mailto:biogeomap@yandex.ru).

*Lubsanova Elena Lubsanimaevna, programmer «Buryat centre of hydrometeorology and environmental monitoring» department of FGBU «Zabaykalskoe UGMS». Ulan-Ude, Pushkin St., 2a. E-mail: [biogeomap@yandex.ru](mailto:biogeomap@yandex.ru).*

**Черемисина Е.Н., Никитин А.А.**

**Вейвлет-анализ как средство максимального извлечения полезной информации**

В данной статье рассматривается возможность максимального извлечения полезной информации при обработке геофизических полей, включая и комплексную интерпретацию. С этой целью используется аппарат вейвлет-преобразования, с одной стороны, и расчеты прямых задач – с другой, что обеспечивает возможность максимального извлечения полезной информации.

**Ключевые слова:** вейвлет-анализ, апостериорные вероятности, комплексная интерпретация, сумма сверток.

**Cheremisina E.N., Nikitin A.A. Wavelet analysis as a means of maximum extraction of useful information**

The article discusses the possibility of maximum extraction of useful information in the processing of geophysical fields, including complex interpretation. For this purpose, on the one hand, the wavelet transform method is used, and on the other hand, the forward geophysical problems are calculated.

**Keywords:** wavelet analysis, a posteriori probabilities, complex interpretation, sum of convolutions.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Никитин А.А., Петров А.В. Теоретические основы обработки геофизической информации : учебное пособие. – М. : ВНИИГеосистем, 2017. – 128 с.
2. Никитин А.А., Булычев А.А. Комплексный анализ и комплексная интерпретация геофизических полей : учебное пособие. – М. : ВНИИГеосистем, 2015. – 94 с.
3. Долгаль А.С. Моделирование геологических объектов и геофизических полей с использованием Вейвлетов Хаара // Вестник Пермского университета. Сер. Геология. – 2014. – № 4 (25). – С. 66-80.
4. Соколова Т.Б., Булычев А.А., Лыгин И.В. и др. Интерпретация геофизических материалов : учебное пособие. – Тверь : Изд-во «ГЕРС», 2011. – 208 с.
5. Никитин А.А., Черемисина Е.Н., Малинина С.С. Нейросетевое моделирование глубины залегания контактной поверхности по комплексу геофизических полей // Геоинформатика. – 2018. – № 1. – С. 41-42.

**REFERENCES**

1. Nikitin A.A., Petrov A.V. Theoretical bases of processing geophysical information : Study Guide. Moscow : VNIIGeosystem, 2017. 128 p.
2. Nikitin A.A., Bulychev A.A. Integrated analysis and complex interpretation of geophysical fields : Study Guide. Moscow : VNIIGeosystem, 2015. 94 p.
3. Dolgal A.S. Modeling of Geological Objects and Geophysical Fields Using Haar Wavelets // Bulletin of Perm University. Geology. 2014. Issue 4 (25). P. 66-80.
4. Sokolova T.B, Bulychev A.A., Lygin I.V. and others. Interpretation of geophysical data : Study Guide. Tver : Izdatelstvo «Gers», 2011. 208 p.
5. Nikitin A.A., Cheremisina E.N., Malinina S.S. Neural network modelling of cover thickness of contact surface by the complex of geophysical fields // Geoinformatics. 2018. No. 1. P. 41-42.

**Черемисина Евгения Наумовна**, доктор технических наук, профессор, заведующая отделением «Геоинформатики» «ВНИИГеосистем» ФГБУ «ВНИГНИ», директор Института Системного анализа и управления ГБОУ «Университет «Дубна». 117105, Москва, Варшавское шоссе, д. 8. E-mail: head@geosys.ru.

*Cheremisina Yevgenia Naumovna, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of «Geoinformatics» «VNIIGeoSystem» FGBU «VNIGNI», Director of the Institute for System Analysis and Management of the State University «Dubna». 117105, Moscow, Varshavskoe shosse, 8. E-mail: head@geosys.ru.*

**Никитин Алексей Алексеевич**, доктор физико-математических наук, заслуженный деятель науки РФ, профессор МГРИ и МГУ им. М.В. Ломоносова. 119485, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23. E-mail: petrovstud@mail.ru.

*Nikitin Alexey Alekseyevich, doctor of Physical and Mathematical Sciences, Honored Scientist of the Russian Federation, Professor of MGRI and Lomonosov Moscow State University. 119485, Moscow, Miklukho-Maclay St., 23. E-mail: petrovstud@mail.ru*

**Пиманова Н.Н., Спиридонов В.А., Шаров Н.В., Мицын С.В.  
Трехмерное плотностное моделирование земной коры юго-восточной части  
Фенноскандинавского щита в ГИС INTEGR0**

Методика построения 3D плотностной модели включала редуцирование наблюдаемого гравитационного поля за эффект глубинных границ и расчет 3D-распределения эффективной плотности от остаточного поля. Глубинные поверхности строились на основе сейсмических данных по имеющимся на площади профилям ГСЗ и МОВ-ОГТ. Эти поверхности легли в основу геометрии пятислойной 3D плотностной модели с постоянной плотностью на кровле слоя и градиентным изменением плотности с глубиной. Для редуцированного поля была решена обратная задача гравиразведки и получено распределение эффективной плотности в земной коре. При этом был построен ряд эквивалентных 3D-распределений эффективных плотностей в зависимости от выбранных параметров расчета. Выбор конкретной композиции основывался на сравнении полученного распределения с сейсмическими моделями по профилям ГСЗ. Результирующая 3D плотностная модель была получена как сумма 3D градиентной модели от глубинных границ и 3D-модели распределения эффективной плотности. Анализ полученной 3D-плотностной модели позволил сделать ряд выводов о глубинном строении земной коры и верхней мантии юго-восточной части Фенноскандинавского щита. Приведены сечения

**Ключевые слова:** 3D плотностная модель, профиль ГСЗ «Балтик», глубинное строение, Фенноскандинавский щит, Карельский блок, Свекофеннская складчатая область.

**Pimanova N.N., Spiridonov V.A., Sharov N.V., Mizin S.V. 3D density crustal modeling for the South-Eastern Fennoscandian shield with a help of GIS INTEGR0**

The method to construct the 3D density model included the reduction of the deep boundaries' effect on the observed gravity field and the calculation of the 3D effective density distribution from the residual field. The deep surfaces were built on the seismic data of DSS and CCP profiles available for the area under study. These surfaces formed the basis of the geometry of the 3D five-layer density model with a constant density on the top of the layer and gradient density changing with the depth. For the reduced field the inverse gravity problem has been solved and the distribution of the effective density in the earth's crust has been obtained. A number of equivalent 3D distributions of effective density depending on the chosen inversion parameters have been constructed. The choice of a specific composition was based on the comparison of the obtained density distribution with seismic models on the DSS profiles. The resulting 3D density model has been obtained as a sum of the 3D gradient model from the deep boundaries and the 3D model of the effective density distribution.

The analysis of the obtained 3D density model has allowed to make a number of conclusions on the deep crustal and upper mantle structure of the southeastern part of the Fennoscandian shield.

**Keywords:** 3D density model, seismic profile Baltik, deep structure of the Fennoscandian shield, the Karelian domain, the Svecofennian orogen.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Костомукшский рудный район (геология, глубинное строение и минерагения) / отв. ред. В.Я. Горьковец, Н.В. Шаров. – Петрозаводск : КарНЦ РАН, 2015. – 322 с.
2. Мицын С.В., Ососков Г.А. Экстраполяция сеточных моделей геофизических полей методом конечных разностей // Геоинформатика. – 2016. – № 3. – С. 29-34.
3. Петроплотностная карта геологических формаций восточной части Балтийского щита. 1:1000000 / ред. Н.Б. Дортман, М.Ш. Магид. – М. : Аэрогеология, 1978. – 7 л.
4. Шаров Н.В. Глубинные сейсмические исследования в юго-восточной части Фенноскандинавского щита // Геофизический журнал. – 2015. – Т. 37, № 5. – С. 104-120.
5. Luosto U. Structure of Earth's Crust in Fennoscandia as Revealed from Refraction and Wide-Angle Reflection Studies // Geophysica. – 1997. – 33 (1). – С. 3-16.
6. The Moho depth map of the European Plate / M. Grad, T. Tiira and ESC Working Group // Geophys. J. Int. – 2009. – V. 176, Issue 1. – С. 279-292.

## REFERENCES

1. The Kostomuksha ore region (Geology, deep structure and Minerageny) / Ed. V.Ja. Gorkovets, N.V. Sharov. Petrozavodsk : KarRC RAS, 2015. 322 p.
2. Mitsyn S.V., Ososkov G.A. Extrapolation of grid models of geophysical fields by finite difference method // Geoinformatics. 2016. No. 3. P. 29-34.
3. Petrodensity map of geological formations of the Eastern part of the Baltic shield. 1:1 000 000 / Ed. N.B. Dortmund, M.Sh. Magid. Moscow : Aerogeology, 1978. 7 p.
4. Sharov N.V. Deep seismic surveys in the South-Eastern part of the Fennoscandian shield // The geophysical log. 2015. V. 37, No. 5. P. 104-120.
5. Luosto U. Structure of Earth's Crust in Fennoscandia as Revealed from Refraction and Wide-Angle Reflection Studies. Geophysica. 1997, 33 (1), P. 3-16.
6. The Moho depth map of the European Plate / Marek Grad, Timo Tiira and ESC Working Group // Geophys. J. Int. 2009. No. 176, Issue 1. P. 279-292.

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

*Pimanova Nadezhda Nikolaevna, Ph.D. Leading Researcher. department of «Geoinformatics» «VNIIGeosystem» FGBU «VNIGNI». 117105, Moscow, Varshavskoye sh., 8. E-mail: [nadja@geosys.ru](mailto:nadja@geosys.ru).*

**Спиридонов Виктор Альбертович**, кандидат технических наук, зав. сектором «Разработки программного обеспечения» отделения «Геоинформатики» «ВНИИГеосистем» ФГБУ «ВНИГНИ». 117105, Москва, Варшавское ш., д. 8. E-mail: [victor@geosys.ru](mailto:victor@geosys.ru).

*Spiridonov Viktor A., candidate of technical Sciences, head. sector «software Development» branch «Geoinformatics» «Vniigeosistem» FGBU «VNIGNI». 117105, Moscow, Warsawskoe sh. 8. E-mail: [victor@geosys.ru](mailto:victor@geosys.ru).*

**Шаров Николай Владимирович**, доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией геофизики Института геологии КарНЦ РАН. 185910, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, д. 11, КарНЦ РАН. E-mail: [sharov@krc.karelia.ru](mailto:sharov@krc.karelia.ru).

*Sharov Nikolay Vladimirovich, doctor of geological-mineralogical Sciences, head of laboratory of Geophysics, Institute of Geology, KarRC RAS. 185910, Petrozavodsk, Pushkinskaya str., 11, KarRC RAS. E-mail: [sharov@krc.karelia.ru](mailto:sharov@krc.karelia.ru).*

**Мицын Сергей Валерьевич**, научный сотрудник отделения «Геоинформатики» «ВНИИГеосистем» ФГБУ «ВНИГНИ». 117105, Москва, Варшавское шоссе, д. 8. E-mail: [smitsyn@yandex.ru](mailto:smitsyn@yandex.ru).

*Mitsyn Sergey Valerievitch, research scientist Division of geoinformatics «VNIIGeosystem», FGBU «VNIGNI». E-mail: [smitsyn@yandex.ru](mailto:smitsyn@yandex.ru).*

**Бувевич А.Г., Москалева А.С., Косаченко А.И., Шичкин А.В., Сергеев А.П.  
Поверхностная интерполяция содержаний тяжелых металлов в почве методами  
машинного обучения**

В работе представлено сравнение современных подходов к интерполяции пространственного распределения химических элементов в верхнем слое почвы на примере тяжелых металлов хром (Cr) и медь (Cu). На обследованной территории были обнаружены пятна с аномально высоким содержанием Cr. Медь, напротив, оказалась распределена равномерно. Исследование основано на данных, полученных в результате скрининга почвы в г. Тарко-Сале, Россия. Для прогнозирования были выбраны модели, основанные на искусственных нейронных сетях (многослойный перцептрон (MLP)), алгоритмах случайного леса (RF), а также на гибридном методе, в котором MLP используется в качестве классификатора (дерева) (RMLPF). Модели были реализованы в MATLAB. Подходы, включающие искусственные нейронные сети (MLP и RMLPF), оказались более точными для аномально распределенного Cr. Модели, основанные на алгоритме RF, более точны для равномерно распределенного Cu. В целом предложенная модель RMLPF показала лучшие результаты.

**Ключевые слова:** искусственные нейронные сети, случайный лес, случайный перцептронный лес, интерполяция, тяжелые металлы, почва.

**Buevich A.G., Moskaleva A.S., Kosachenko A.I., Shichkin A.V., Sergeev A.P. Surface interpolation of heavy metal contents in the soil by machine learning methods**

The paper presents a comparison of modern approaches to the interpolation of the spatial distribution of the chemical elements in the upper soil layer by the example of heavy metals chromium (Cr) and copper (Cu). Spots with an abnormally high Cr content were found on the examined area. Copper, on the contrary, was distributed evenly. The study is based on the data from soil screening in Tarko-Sale, Russia. For the prediction were selected models based on artificial neural networks (multilayer perceptron (MLP)), random forest (RF) algorithms, and the hybrid method in which MLP is used as a classifier (tree) (RMLPF). Models have been implemented in MATLAB. Approaches involving artificial neural networks (MLP and RMLPF) turned out to be more precise for abnormally distributed Cr. Models based on the RF algorithm are more precise for uniformly distributed Cu. In general, the proposed RMLPF model is showed the best results.

**Keywords:** artificial neural networks, random forest, random perceptron forest, interpolation, heavy metals, soil.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Анализ статистических зависимостей распределения загрязняющих веществ в поверхностном слое почвы урбанизированных территорий с применением математических моделей (LUR метод) / А.Г. Бувич, А.М. Сафина, А.П. Сергеев, А.Н. Вараксин, А.Н. Медведев // *Геоэкология*. – 2015. – № 3. – С. 268-279.
2. Демьянов В.В., Савельева Е.А. *Геостатистика: теория и практика* / под ред. Р.В. Арутюняна ; Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН. – М. : Наука, 2010. – 327 с.
3. Никитин А.А., Черемисина Е.Н., Малинина С.С. Нейросетевое моделирование глубины залегания контактной поверхности по комплексу геофизических полей // *Геоинформатика*. – 2018. – № 1. – С. 41-42.
4. Prediction of air pollution peaks generated by urban transport networks / M. Bell, A.S. Bergantino, M. Catalano, F. Galatioto // *Working papers SIET*, 2015.
5. Kottur S.V., Mantha S.S. An Integrated Model using Artificial Neural Network (ANN) and Kriging for Forecasting Air Pollutants using Meteorological Data // *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*. – 2015. – V. 4, Issue 1. – P. 146-152.
6. De Souza A., Aristones F., Goncalves F.V. Modeling of Surface and weather effects ozone concentration using neural networks in West Center of Brazil // *Journal of Climatology & Weather Forecasting*. – 2015. – V. 3, Issue 1 (123).
7. Shepherd A.J. *Second-Order Methods for Neural Networks: Fast and Reliable Training Methods for Multi-Layer Perceptrons*. – London : Springer-Verlag, 1997. – 145 p.
8. Rosenblatt F. The perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain // *Psychological Review*. – 1958. – V. 65 (6). – P. 386-408.
9. Extensive evaluation of neural network models for the prediction of NO<sub>2</sub> and PM<sub>10</sub> concentrations, compared with deterministic modelling system and measurements in central Helsinki / J. Kukkonen, L. Partanen, A. Karppinen, J. Ruuskanen, H. Junninen, M. Kolehmainen, H. Niska, S. Dorling, T. Chatterton, R. Foxall, G. Cawley // *Atmospheric Environment*. – 2003. – V. 37 (32). – P. 4539-4550.
10. Progress in developing an ANN model for air pollution index forecast / D. Jiang, Y. Zhang, X. Hu, Y. Zeng, J. Tan, D. Shao // *Atmospheric Environment*. – 2004. – V. 38, Issue 40. – P. 7055-7064.
11. Artificial neural networks forecasting of PM<sub>2.5</sub> pollution using air mass trajectory based geographic model and wavelet transformation / X. Feng, Q. Li, Y. Zhu, J. Hou, L. Jin, J. Wang // *Atmospheric Environment*. – 2015. – V. 107. – P. 118-128.
12. Estimation of heavy metal sorption in German soils using artificial neural networks / J. Anagu, J. Ingwersen, J. Utermann, T. Streck // *Geoderma*. – 2009. – V. 152. – P. 104-112.
13. Study on Spatial Distribution of Soil Heavy Metals in Huizhou City Based on BP-ANN Modeling and GIS / Y. Li, C. Li, J.-J. Tao, L.-D. Wang // *Procedia Environmental Sciences*. – 2011. – V. 10. – P. 1953-1960.
14. Hilko O.S., Kundas S.P., Gishkeluk I.A. Radionuclides migration modelling using artificial neural networks and parallel computing // *European water*. – 2012. – V. 39. – P. 3-13.
15. Falamaki A. Artificial neural network application for predicting soil distribution coefficient of nickel // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2013. – V. 115. – P. 6-12.
16. High Variation Topsoil Pollution Forecasting in the Russian Subarctic: Using Artificial Neural Networks Combined with Residual Kriging / D.A. Tarasov, A.G. Buevich, A.P. Sergeev, A.V. Shichkin. // *Applied Geochemistry*. – 2017. – V. 88, Part B. – P. 188-197.
17. Breiman L. Random forests // *Mach. Learn.* – 2001. – V. 45. – P. 5-32.
18. Friedman H., Meulman J.J. Multiple additive regression trees with application in epidemiology // *Stat. Med.* – 2003. – V. 22. – P. 1365-1381.
19. Lawrence R.L., Wood S.D., Sheley R.L. Mapping invasive plants using hyper-spectral imagery and Breiman Cutler classifications (Random Forest) // *Remote Sens. Environ.* – 2006. – V. 100. – P. 356-362.
20. Downscaling MODIS-derived maps using GIS and boosted regression trees: the case of frost occurrence over the arid Andean highlands of Bolivia / R. Pouteau, S. Rambal, J.-P. Ratte, F. Gogé, R. Joffre, T. Winkel // *Remote Sens. Environ.* – 2011. – V. 115. – P. 117-129.
21. Wetland vegetation distribution modelling for the identification of constraining environmental variables / J. Peters, N.E.C. Verhoest, R. Samson, P. Boeckx, B. De Baets // *Landsc. Ecol.* – 2008. – V. 23, Issue 9. – P. 1049-1065.
22. Froeschke J.T., Froeschke B.F. Spatiotemporal predictive model based on environmental factors for juvenile spotted seatrout in Texas estuaries using boosted regression trees // *Fish. Res.* – 2011. – V. 111. – P. 131-138.

23. Carslaw D.C., Taylor P.J. Analysis of air pollution data at a mixed source location using boosted regression trees // *Atmospheric Environment*. – 2009. – V. 43. – P. 3563-3570.
24. Soil organic carbon concentrations and stocks on Barro Colorado Island-digital soil mapping using Random Forests analysis / R. Grimm, T. Behrens, M. Märker, H. Elsenbeer // *Geoderma*. – 2008. – V. 146. – P. 102-113.
25. Spatial distribution of soil organic carbon stocks in France / M.P. Martin, M. Wattenbach, P. Smith, J. Meersmans, C. Jolivet, L. Boulonne, D. Arrouays // *Biogeosciences*. – 2011. – P. 1053-1065.
26. Spatial assessment of soil organic carbon density through random forests based imputation / K. Sreenivas, G. Sujatha, K. Sudhir, D.V. Kiran, M.A. Fyzee, T. Ravisankar, V.K. Dadhwal // *J. Indian Soc. Remote Sen.* – 2014. – V. 42. – P. 577-587.
27. Estimation of total organic carbon storage and its driving factors in soils of Bavaria (southeast Germany) / M. Wiesmeier, F. Barthold, P. Spörlein, U. Geuß, E. Hangen, A. Reischl, B. Schilling, G. Angst, M. von Lützw, I. Kögel-Knabner // *Geoderma Reg.* – 2014. – V. 1. – P. 67-78.
28. A comparative assessment of support vector regression, artificial neural networks, and random forests for predicting and mapping soil organic carbon stocks across an Afromontane landscape / K. Were, D.T. Bui, O.B. Dick, B.R. Singh // *Ecological Indicators*. – 2015. – V. 52. – P. 394-403.
29. Digital mapping of soil organic matter for rubber plantation at regional scale: An application of random forest plus residuals kriging approach / Peng-Tao Guo, Mao-Fen Li, Wei Luo, Qun-Feng Tang, Zhi-Wei Liu, Zhao-Mu Lin // *Geoderma*. – 2015. – P. 237-238. – P. 49-59.
30. Comparison of boosted regression tree and random forest models for mapping topsoil organic carbon concentration in an alpine ecosystem / Ren-Min Yang, Gan-Lin Zhang, Feng Liu, Yuan-Yuan Lu, Fan Yang, Fei Yang, Min Yang, Yu-Guo Zhao, De-Cheng Li // *Ecological Indicators*. – 2016. – V. 60. – P. 870-878.

#### REFERENCES

1. Analysis of the statistical dependencies of the distribution of pollutants in the surface soil layer of urbanized territories using mathematical models (LUR method) / A.G. Buevich, A.M. Safina, A.P. Sergeev, A.N. Varaksin, A.N. Medvedev // *Geoecology*. 2015. No. 3. P. 268-279.
2. Demyanov V.V., Savelyev E.A. *Geostatistics: Theory and Practice* / Ed. R.V. Harutyunyan ; Institute for Problems of Safe Development of Atomic Energy RAS. M. : Science, 2010. 327 p.
3. Nikitin A.A., Cheremisina E.N., Malinina S.S. Neural network modeling of the depth of the contact surface over a complex of geophysical fields // *Geoinformatics*. 2018. No. 1. P. 41-42.
4. Prediction of air pollution peaks generated by urban transport networks / M. Bell, A.S. Bergantino, M. Catalano, F. Galatioto // *Working papers. SIET*, 2015.
5. Kottur S.V., Mantha S.S. An Integrated Model using Artificial Neural Network (ANN) and Kriging for Forecasting Air Pollutants using Meteorological Data // *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*. 2015. V. 4, Issue 1. P. 146-152.
6. De Souza A., Aristones F., Goncalves F.V. Modeling of Surface and weather effects ozone concentration using neural networks in West Center of Brazil // *Journal of Climatology & Weather Forecasting*. 2015. V. 3, Issue 1 (123).
7. Shepherd A.J. *Second-Order Methods for Neural Networks: Fast and Reliable Training Methods for Multi-Layer Perceptrons*. London : Springer-Verlag, 1997. 145 p.
8. Rosenblatt F. The perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain // *Psychological Review*. 1958. V. 65 (6). P. 386-408.
9. Extensive evaluation of neural network models for the prediction of NO<sub>2</sub> and PM<sub>10</sub> concentrations, compared with deterministic modelling system and measurements in central Helsinki / J. Kukkonen, L. Partanen, A. Karppinen, J. Ruuskanen, H. Junninen, M. Kolehmainen, H. Niska, S. Dorling, T. Chatterton, R. Foxall, G. Cawley // *Atmospheric Environment*. 2003. V. 37 (32). P. 4539-4550.
10. Progress in developing an ANN model for air pollution index forecast / D. Jiang, Y. Zhang, X. Hu, Y. Zeng, J. Tan, D. Shao // *Atmospheric Environment*. 2004. V. 38, Issue 40. P. 7055-7064.
11. Artificial neural networks forecasting of PM<sub>2.5</sub> pollution using air mass trajectory based geographic model and wavelet transformation / X. Feng, Q. Li, Y. Zhu, J. Hou, L. Jin, J. Wang // *Atmospheric Environment*. 2015. V. 107. P. 118-128.
12. Estimation of heavy metal sorption in German soils using artificial neural networks / J. Anagu, J. Ingwersen, J. Utermann, T. Streck // *Geoderma*. 2009. V. 152. P. 104-112.
13. Study on Spatial Distribution of Soil Heavy Metals in Huizhou City Based on BP-ANN Modeling and GIS / Y. Li, C. Li, J.-J. Tao, L.-D. Wang // *Procedia Environmental Sciences*. 2011. V. 10. P. 1953-1960.

14. Hilko O.S., Kundas S.P., Gishkeluk I.A. Radionuclides migration modelling using artificial neural networks and parallel computing // *European water*. 2012. V. 39. P. 3-13.
15. Falamaki A. Artificial neural network application for predicting soil distribution coefficient of nickel // *Journal of Environmental Radioactivity*. 2013. V. 115. P. 6-12.
16. High Variation Topsoil Pollution Forecasting in the Russian Subarctic: Using Artificial Neural Networks Combined with Residual Kriging / D.A. Tarasov, A.G. Buevich, A.P. Sergeev, A.V. Shichkin. // *Applied Geochemistry*. 2017. V. 88, Part B. P. 188-197.
17. Breiman L. Random forests // *Mach. Learn.* 2001. V. 45. P. 5-32.
18. Friedman H., Meulman J.J. Multiple additive regression trees with application in epidemiology // *Stat. Med.* 2003. V. 22. P. 1365-1381.
19. Lawrence R.L., Wood S.D., Sheley R.L. Mapping invasive plants using hyper-spectral imagery and Breiman Cutler classifications (Random Forest) // *Remote Sens. Environ.* 2006. V. 100. P. 356-362.
20. Downscaling MODIS-derived maps using GIS and boosted regression trees: the case of frost occurrence over the arid Andean highlands of Bolivia / R. Pouteau, S. Rambal, J.-P. Ratte, F. Gogé, R. Joffre, T. Winkel // *Remote Sens. Environ.* 2011. V. 115. P. 117-129.
21. Wetland vegetation distribution modelling for the identification of constraining environmental variables / J. Peters, N.E.C. Verhoest, R. Samson, P. Boeckx, B. De Baets // *Landsc. Ecol.* 2008. V. 23, Issue 9. P. 1049-1065.
22. Froeschke J.T., Froeschke B.F. Spatiotemporal predictive model based on environmental factors for juvenile spotted seatrout in Texas estuaries using boosted regression trees // *Fish. Res.* 2011. V. 111. P. 131-138.
23. Carslaw D.C., Taylor P.J. Analysis of air pollution data at a mixed source location using boosted regression trees // *Atmospheric Environment*. 2009. V. 43. P. 3563-3570.
24. Soil organic carbon concentrations and stocks on Barro Colorado Island-digital soil mapping using Random Forests analysis / R. Grimm, T. Behrens, M. Märker, H. Elsenbeer // *Geoderma*. 2008. V. 146. P. 102-113.
25. Spatial distribution of soil organic carbon stocks in France / M.P. Martin, M. Wattenbach, P. Smith, J. Meersmans, C. Jolivet, L. Boulonne, D. Arrouays // *Biogeosciences*. 2011. P. 1053-1065.
26. Spatial assessment of soil organic carbon density through random forests based imputation / K. Sreenivas, G. Sujatha, K. Sudhir, D.V. Kiran, M.A. Fyzee, T. Ravisankar, V.K. Dadhwal // *J. Indian Soc. Remote Sen.* 2014. V. 42. P. 577-587.
27. Estimation of total organic carbon storage and its driving factors in soils of Bavaria (southeast Germany) / M. Wiesmeier, F. Barthold, P. Spörlein, U. Geuß, E. Hangen, A. Reischl, B. Schilling, G. Angst, M. von Lützw, I. Kögel-Knabner // *Geoderma Reg.* 2014. V. 1. P. 67-78.
28. A comparative assessment of support vector regression, artificial neural networks, and random forests for predicting and mapping soil organic carbon stocks across an Afrotropical landscape / K. Were, D.T. Bui, O.B. Dick, B.R. Singh // *Ecological Indicators*. 2015. V. 52. P. 394-403.
29. Digital mapping of soil organic matter for rubber plantation at regional scale: An application of random forest plus residuals kriging approach / Peng-Tao Guo, Mao-Fen Li, Wei Luo, Qun-Feng Tang, Zhi-Wei Liu, Zhao-Mu Lin // *Geoderma*. 2015. 237-238. P. 49-59.
30. Comparison of boosted regression tree and random forest models for mapping topsoil organic carbon concentration in an alpine ecosystem / Ren-Min Yang, Gan-Lin Zhang, Feng Liu, Yuan-Yuan Lu, Fan Yang, Fei Yang, Min Yang, Yu-Guo Zhao, De-Cheng Li // *Ecological Indicators*. 2016. V. 60. P. 870-878.

**Буевич Александр Геннадьевич**, инженер ФГБУН ИПЭ УрО РАН. 620219, г. Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, д. 20. E-mail: bagalex3@gmail.com.  
*Buevich Alexander Gennadyevich, engeneer Institute of Industrial Ecology UB RAS. E-mail: bagalex3@gmail.com.*

**Москалева Анастасия Сергеевна**, студент УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Физико-технологический институт. 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19. E-mail: amoskalyova03@gmail.com.  
*Moskaleva Anastasia Sergeevna, student The Ural State University, Institute of Physics and Technology, Department of Technical Physics. Ekaterinburg, ul. Mira, d. 19. E-mail: amoskalyova03@gmail.com.*

**Косаченко Александра Ильинична**, студент УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Физико-технологический институт. 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19. E-mail: alleshch7@gmail.com.  
*Kosachenko Alexandra Ilyinichna, student The Ural State University, Institute of Physics and Technology, Department of Technical Physics. Ekaterinburg, ul. Mira, d. 19. E-mail: alleshch7@gmail.com.*

**Шичкин Андрей Васильевич**, инженер ФГБУН ИПЭ УрО РАН. 620219, г. Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, д. 20. E-mail: and@ecko.uran.ru.  
*Shichkin Andrey Vasilevich, engeneer Institute of Industrial Ecology UB RAS. Ekaterinburg, ul. S. Kovalevskoj, d. 20. E-mail: and@ecko.uran.ru.*

**Сергеев Александр Петрович**, кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией физики и экологии ФГБУН ИПЭ УрО РАН. 620219, г. Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, д. 20. E-mail: alexanderpsergeev@gmail.com.  
*Sergeev Alexander Petrovish, Ph.D. Head of the laboratory of physics and ecology Institute of Industrial Ecology UB RAS. Ekaterinburg, ul. S. Kovalevskoj, d. 20. E-mail: alexanderpsergeev@gmail.com.*

**Кауркин М.Д., Романов В.В.**

**Особенности проведения расчета сейсмических воздействий в специализированной программе NERA**

С выходом новой нормативной документации программа NERA официально приобрела статус инструмента для моделирования реакций грунтовой толщи на ожидаемое сейсмическое воздействие. В статье рассмотрены некоторые особенности проведения расчетов сейсмических воздействий. Показано, что изначальная зависимость модуля сдвига  $G$  и коэффициента затухания  $\xi$  от деформации сдвига  $\gamma$ , примененная в программе для глинистых грунтов, не полностью характеризует этот тип пород. Полученные результаты расчетов указывают на необходимость применения большего числа зависимостей для корректного описания сейсмогеологического разреза

**Ключевые слова:** сейсмические воздействия, расчет, NERA, сейсмическое микрорайонирование.

**Kaurkin M.D., Romanov V.V. Peculiar features of calculation of seismic effects in a specialized program NERA**

With the release of the new regulatory documentation, the NERA program has officially acquired the status of an instrument for simulating soil-column reactions for the expected seismic impact. In the article some peculiar features of carrying out calculations of seismic influences are considered. It is shown that the initial dependence of the shear modulus  $G$  and the damping coefficient  $\xi$  on the shear strain  $\gamma$ , applied in the program for clay soils, does not fully characterize this type of rocks. The obtained results of calculations indicate the necessity of using a greater number of dependencies for a correct description of the seismogeological section

**Keywords:** seismic impacts, calculation, NERA, seismic microzoning.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Аптикаев Ф.Ф. Инструментальная шкала сейсмической интенсивности. – М. : Наука и образование, 2012. – 175 с.
2. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. – Введ. 2013-01-01. – МНТКС, 2011. – 63 с.
3. Заалишвили В.Б. Расчетный метод оценки сейсмических свойств грунтов // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2014. – № 5. – С. 16-31.
4. Кауркин М.Д., Романов В.В. Расчет сейсмических воздействий в специализированных программах NERA и EERA // Инженерные изыскания. – М. : Геомаркетинг, 2017. – № 4. – С. 54-62.
5. Оценка влияния грунтовых условий на сейсмическую опасность. Методическое руководство по сейсмическому микрорайонированию / отв. ред. д.г.-м.н. О.В. Павлов. – М. : Изд-во «Наука», 1988. – 223 с.
6. Павленко О.В. Сейсмические волны в грунтовых слоях: нелинейное поведение грунта при сильных землетрясениях последних лет. – М. : Научный мир, 2009. – 284 с.
7. РБ-006-98. Определение исходных сейсмических воздействий для проектных основ / НТЦ ЯРБ Госатомнадзора России. – Введ. 1999-07-01. – М., 1998. – 72 с.
8. СП 14.13330.2014. Строительство в сейсмических районах / утв. приказом Министерства строительства и ЖКХ РФ от 18.02.2014 № 60. – Введ. 2014-06-01. – М., 2014. – 125 с.
9. СП 283.1325800.2016. Объекты строительные повышенной ответственности. Правила сейсмического микрорайонирования / утв. приказом Министерства строительства и ЖКХ РФ от 16.12.2016 № 981/пр. – Введ. 2017-06-17. – М., 2017. – 21 с.

10. Уломов В.И. Сейсмическая безопасность России в опасности // FORUM International. – 2005. – № 6. – С. 74-75.
11. Bardet J.P., Ichii K., Lin C.H. User's manual for EERA: A computer program for Equivalent-linear Earthquake site Response Analysis of Layered Soil Deposits. – Los Angeles : Department of Civil Engineering, University of Southern California, 2000. – 40 p.
12. Bardet J.P., Tobita T. NERA: A computer program for Nonlinear Earthquake site Response Analyses of Layered Soil Deposits. – Los Angeles : Univ. of Southern California, 2001. – 44 p.
13. Idriss I. Earthquake Ground Motions at Soft Soil Sites // Second International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, March 11-15, 1991, St. Louis (Missouri). – V. 3. – P. 2265-2272.
14. Ishibashi I., Zhang X.-J. Unified dynamic shear moduli and damping ratios of sand and clay // Soils and Found. – 1993. – V. 33, Issue 1. – P. 182-191.
15. Iwan W.D. On a class of models for the yielding behavior of continuous and composite systems // Journal of Applied Mechanics, ASME. – 1967. – V. 34. – P. 612-617.
16. Kramer S.L. Geotechnical Earthquake Engineering. – USA : New Jersey : Upper Saddle River : Prentice Hall Inc., 1996. – 653 p.
17. Mróz Z. On the description of anisotropic workhardening // Journal of Mechanics and Physics of Solids. – 1967. – V. 15. – P. 163-175.
18. Effects of Soil Model on Site Response Analyses / Mahdy Khari, Khairul Anuar Bin Kassim, Azlan Bin Adnan and Hossein Moayedi // Asian Journal of Scientific Research. – 2014. – V. 7, Issue 1. – P. 76-84.
19. Schanbel P.B., Lysmer J., Seed H.B. SHAKE: A computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites : Earthquake Engineering Research Center, Report No. UCB/EERC72/12. – Berkeley : University of California, 1972. – 102 p.
20. Vucetic M., Dobry R. Effect of soil plasticity on cyclic response // Journal of Geotechnical Engineering. – V. 117, No. 1. – P. 89-107.
21. Zhang J., Andrus R.D., Juang C.H. Normalized shear modulus and material damping ratio relationships // Geotech. Geoenviron. Engin. – 2005. – V. 131, No. 4. – P. 453-464.

#### REFERENCES

1. Aptikaev F.F. Instrumental scale of seismic intensity. Moscow : Science and Education, 2012.
2. State Standard 25100-2011. Soils. Classification.
3. Zaalishvili V.B. A computational method for estimating seismic properties of soils // Earthquake resistant construction. Safety of buildings. 2014. No. 5. P. 16-31.
4. Kaurkin M.D., Romanov V.V. Calculation of seismic effects in specialized programs NERA and EERA // Journal «Engineering Surveys». Moscow : Geomarketing Publishing House, 2017. No. 4. P. 54-62.
5. Assessment of the impact of ground conditions on seismic hazard. Moscow : Publishing House «Science», 1988. 223 p.
6. Pavlenko O.V. Seismic waves in the soil layers: nonlinear behavior of the soil during strong earthquakes in recent years. Scientific world, 2009, 284 p.
7. SR-006-98. Determining the initial seismic effects for the project basis / Gosatomnadzor of Russia. Moscow, 1998. 72 p.
8. SR 14.13330.2014. Construction in seismic areas / Ministry of Construction and Housing of the Russian Federation. Moscow, 2014. 125 p.
9. SR 283.1325800.2016 Construction objects of increased responsibility. The rules of seismic zoning. Moscow, 2017. 21 p.
10. Ulomov V.I. Seismic safety of Russia in danger // FORUM International. 2005. No. 6. P. 74-75.
11. Bardet J.P., Ichii K., Lin C.H. User's manual for EERA: A computer program for Equivalent-linear Earthquake site Response Analysis of Layered Soil Deposits. Los Angeles : Department of Civil Engineering, University of Southern California, 2000. 40 p.
12. Bardet J.P., Tobita T. NERA: A computer program for Nonlinear Earthquake site Response Analyses of Layered Soil Deposits. Los Angeles : Univ. of Southern California, 2001. 44 p.
13. Idriss I. Earthquake Ground Motions at Soft Soil Sites // Second International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, March 11-15, 1991, St. Louis (Missouri). V. 3. P. 2265-2272.
14. Ishibashi I., Zhang X.-J. Unified dynamic shear moduli and damping ratios of sand and clay // Soils and Found. 1993. V. 33, Issue 1. P. 182-191.



15. Iwan W.D. On a class of models for the yielding behavior of continuous and composite systems // Journal of Applied Mechanics, ASME. 1967. V. 34. P. 612-617.
16. Kramer S.L. Geotechnical Earthquake Engineering. USA : New Jersey : Upper Saddle River : Prentice Hall Inc., 1996. 653 p.
17. Mróz Z. On the description of anisotropic workhardening // Journal of Mechanics and Physics of Solids. 1967. V. 15. P. 163-175.
18. Effects of Soil Model on Site Response Analyses / Mahdy Khari, Khairul Anuar Bin Kassim, Azlan Bin Adnan and Hossein Moayedi // Asian Journal of Scientific Research. 2014. V. 7, Issue 1. P. 76-84.
19. Schanbel P.B., Lysmer J., Seed H.B. SHAKE: A computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites : Earthquake Engineering Research Center, Report No. UCB/EERC72/12. Berkeley : University of California, 1972. 102 p.
20. Vucetic M., Dobry R. Effect of soil plasticity on cyclic response // Journal of Geotechnical Engineering. V. 117, No. 1. P. 89-107.
21. Zhang J., Andrus R.D., Juang C.H. Normalized shear modulus and material damping ratio relationships // Geotech. Geoenviron. Engin. 2005. V. 131, No. 4. P. 453-464.

**Кауркин Михаил Дмитриевич**, кандидат технических наук, главный специалист геофизической службы ООО «Газпром геотехнологии». 123290, г. Москва, ул. 1-я Магистральная, д. 11/2. E-mail: kaurkin\_m@mail.ru.

*Kaurkin M.D., Chief specialist of the Department of Geophysics, «Gazprom Geotechnology» LLC, Ph.D., (Candidate of Science in Technics), Moscow, 1-ya Magistral'naya, d. 11/2. E-mail: kaurkin\_m@mail.ru.*

**Романов Виктор Валерьевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры геофизики, МГРИ. 117997, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23. E-mail: roman\_off@mail.ru.

*Romanov V.V., Associate Professor of the Department of Geophysics MGRI, Ph.D., (candidate of science in Technics). 119485, Moscow, Miklukho-Maclay St., 23. E-mail: roman\_off@mail.ru.*

**Кузьмин С.Б.**

**Геоинформационное обеспечение и картографирование защищенности административно-территориальных субъектов от стихийных бедствий**

В статье представлена авторская методика оценки защищенности административно-территориальных субъектов от стихийных бедствий и катастроф при осуществлении хозяйственной деятельности для контроля за чрезвычайными ситуациями природного и природно-техногенного характера. Анализ проведен на макроуровне для стран мира, федеральных округов России и субъектов РФ в составе Сибирского федерального округа. Получены хорошие верифицируемые результаты, которые способны содействовать обеспечению безопасности населения при макроэкономическом планировании устойчивого развития стран мира, геополитических образований, крупных регионов.

**Ключевые слова:** стихийные бедствия, опасные природные процессы, прогноз и профилактика чрезвычайных ситуаций, административно-территориальные субъекты.

**Kuzmin S.B. Geoinformation supplying and mapping of protection of administrative-territorial subjects from natural disasters**

The article presents the author's methodology for assessing the protection of administrative-territorial subjects from natural disasters in the conduct of economic activities to control of natural and natural-technogenic emergency situations. The analysis was carried out for the countries of the world, the federal districts of Russia and the constituent entities of the Russian Federation as part of the Siberian Federal District. Good and verifiable results have been obtained that can contribute to ensuring the safety of the population with macroeconomic planning for the sustainable development of the countries of the world, geopolitical subjects, large regions.

**Keywords:** natural disasters, dangerous natural processes, prognosis and prevention of emergencies, administrative-territorial subjects.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Кузьмин С.Б. Опасные геоморфологические процессы и риск природопользования. – Новосибирск : Изд-во «ГЕО», 2009. – 195 с.
2. Кузьмин С.Б. Геоэкологическое районирование Сибири по опасным геоморфологическим процессам // Проблемы анализа риска. – 2016. – Т. 13, № 3. – С. 40-53.
3. Кузьмин С.Б. Оценка риска природопользования для субъектов Российской Федерации // Геориск. – 2016. – № 2. – С. 30-38.

**REFERENCES**

1. Kuzmin S.B. Hazardous geomorphological processes and the risk of environmental management. Novosibirsk : GEO Publishing House, 2009. 195 p.
2. Kuzmin S.B. Geocological zoning of Siberia by hazardous geomorphological processes // Problems of risk analysis. 2016. V. 13, No. 3. P. 40-53.
3. Kuzmin S.B. Environmental risk assessment for the constituent entities of the Russian Federation // Georisk. 2016. No. 2. P. 30-38.

**Кузьмин Сергей Борисович**, доктор географических наук, ведущий научный сотрудник Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН. 664033, Иркутск, ул. Уланбаторская, д. 1. E-mail: kuzmin@irigs.irk.ru.

*Kuzmin Sergey Borisovich, Doctor of Geographical Sciences, Leading Researcher. 664033, Irkutsk, Ulanbatorskaya Str. 1. Institute of Geography mem. V.B. Sotchava of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences. E-mail: kuzmin@irigs.irk.ru.*