



## ABSTRACTS

of the International Conference, dedicated to  
the 70th anniversary of the Geophysical Center of the RAS and  
the 300th anniversary of the Russian Academy of Sciences

### **Data Science, Geoinformatics and Systems Analysis in Geosciences**

25–27 September 2024

Suzdal, Russian Federation

DOI: 10.2205/2024-GCRAS70

© 2024 Geophysical Center of the RAS

---

Edited by A. A. Soloviev, Corresponding Member RAS, Director of the GC RAS,  
A. D. Gvishiani, Academician RAS, Scientific Director of the GC RAS.

Computer layout: PhD N. A. Fomenko, O. O. Shevaldysheva.

Abstracts were translated using machine translation.



## ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Международной конференции к 70-летию  
Геофизического центра РАН и 300-летию РАН

### **Наука о данных, геоинформатика и системный анализ в изучении Земли**

25–27 сентября 2024

Суздаль, Российская Федерация

DOI: 10.2205/2024-GCRAS70

© 2024 Геофизический центр РАН

---

Отв. редакторы: А. А. Соловьев, член-корреспондент РАН, директор ГЦ РАН,  
А. Д. Гвишиани, академик РАН, научный руководитель ГЦ РАН.

Компьютерная верстка: к.т.н. Н. А. Фоменко, О. О. Шевалдышева.

Тезисы докладов переведены методом машинного перевода.

## Contents

### ORAL PRESENTATIONS

Monitoring of Arctic Sea Ice Changes Based on ICESat-2 and Sentinel-2 Satellites X. Chang, Zh. Wang, M. Lin, M. Chang, J. Wen, X. Chen .....	11
A comparative investigation of geomagnetic jerks across the SAA during the period 2000-2020 A. Nel, P. Kotzé .....	12
Statistical Diagnostic of Regional Appraise of Seismicity of North East India Himalaya D. Shanker, A. Panthi.....	13
Eastern Arctic tectonics and the origin of the Amerasian Basin S. Sokolov, L. Lobkovskiy, M. Tuchkova .....	14
System of accumulation, processing and analysis of geomagnetic data MAGNUS D. Kudin, I. Belov, M. Dobrovolsky, R. Sidorov, A. Grudnev.....	15
Multinomial methods for assessing stability and recoverability of systems I. Sheremet .....	16
Russian software complex GIS INTEGRO and digital platform E. Cheremisina, A. Lyubimova, K. Markov, M. Finkelstein .....	17
A multi-component geophysical model of the Arctic lithosphere and upper mantle M. Kaban, A. Petrunin, R. Sidorov, A. Soloviev, A. Gvishiani.....	18
Unified Catalogue of Earthquakes of the Russian Arctic I. Vorobieva, P. Shebalin, A. Gvishiani, B. Dzeboev, B. Dzeranov .....	19
Geodynamic studies in the task of systemic assessment of seismic hazard in Ossetia B. Dzeboev, A. Gvishiani, V. Tatarinov, V. Kaftan I. Vorobyova, A. Manevich, B. Dzeranov, R. Shevchuk, D. Akmatov, I. Losev K. Kochubei <sup>1</sup> .....	20
On the activities of the World Data Centres B. Dzeranov, N. Sergeeva, B. Dzeboev, L. Zabarinskaya, E. Kedrov, V. Ishkov, T. Krylova.....	21
About the latest results in the DMA S. Agayan, Sh. Bogoutdinov <sup>1</sup> , D. Kamaev <sup>2</sup> .....	22
Data-Intense Modeling for Informed Resource Management Decisions Under Uncertainty E. Rovenskaya.....	23
Remote sensing of archaeological monuments of the Southern Trans-Urals using geophysics and machine learning methods A. Vokhmintsev, N. Batanina, E. Kupriyanova, L. Muravyev .....	24
Capabilities of modern unmanned aerial systems in Earth exploration D. Goglev .....	25
Application of mobile infrasound complexes for solving various tasks Yu. Vinogradov, A. Milekhina, M. Pyatunin.....	26
Use of bistatic radar system on GNSS signals V. Lopatin, M. Murzabekov, V. Fateev, Yu. Titchenko .....	27
70 Years of the Geophysical Center RAS: History of Establishment and Current Status A. Soloviev, A. Gvishiani .....	28
A series of the strongest earthquakes of the early XXI century in Chile: similarities, differences, correlation I. Vladimirova, Yu. Gabsatarov, N. Shchevieva .....	29
Quantum space accelerometer for Arctic gravity field research R. Davlatov, S. Donchenko, V. Fateev .....	30
Extreme events in the Western Pacific-East Asia region L. Mitnik, A. Baranyuk, V. Kuleshov, M. Mitnik.....	31

Determination of spectral parameters for earthquakes of the Kliuchevskoi group of volcanoes A. Molokova, A. Skorkina .....	32
Temporary seismological networks on Kuril-Kamchatka volcanoes: data processing S. Abramnikov, T. Stupina, N. Belovezhec, I. Koulakov.....	33
Use of climate and geospatial data in the assessment of green energy potential and design of renewable energy systems P. Buchtskiy, S. Onishchenko, S. Teploukhov.....	34
Building regional integrated models with GIS INTEGRO tools M. Finkelstein, V. Spiridonov, E. Bolshakov, A. Shumikhin .....	35
Application of induction-dynamic drive in pulse seismic sources E. Glibin, A. Pryadilov, A. Shevtsov, K. Uzbekov .....	36
IKI-Monitoring – a platform for working with remote sensing data E. Loupian, M. Burtsev, A. Proshin, I. Balashov.....	37
Distributed system of shipboard instrumental observations STMK S. Serovetnikov, E. Kozlovskiy, T. Alekseeva, E. Afanasieva .....	38
VolSatView information system for comprehensive analysis of volcanic activity O. Girina, E. Loupian, A. Sorokin, L. Kramareva .....	39
New opportunities for mercury gas imaging in the surface atmosphere N. Mashyanov, A. Shashko, V. Ryzhov, A. Ruhlov, H. Perkins, W. Barnes .....	40
Monitoring of sea ice characteristics to study ice navigation conditions T. Alekseeva, E. Makarov, V. Tikhonov, E. Afanasieva .....	41
Analyses of seismic activity characteristics in coal mines and mine sites K. Romanevich, S. Mulev, G. Taratinskiy, M. Pital’ .....	42
Retrospective analysis of underlying surface spectral properties to assess the hydrological condition of a road-crossed bog D. Ilyasov, A. Kaverin, Yu. Kupriyanova, A. Sabrekov.....	43
Remote control of hazardous processes at large industrial facilities A. Liseikin, V. Seleznev, E. Kosyakina .....	44
Modelling the temperature-dependent variability of seismic properties of frozen multi-phase media G. Reshetova, E. Romenski.....	45
On the applicability of the concept of seismotectonic domains in the task of seismic hazard assessment R. Tatevossian.....	46
Hydroinformatics as a framework for data management, modelling and analysis in water resources management V. Moreido, B. Gartsman, V. Suchilina, V. Tolkacheva, K. Golovnin, S. Iglin, A. Katsura, D. Solomatin .....	47
Locations of the strongest earthquakes in the Pacific Belt and Java Trough A. Gorshkov, M. Semka.....	48
Prospects of seismological monitoring in Priamurie: citizen science and neural network methods of data processing V. Pupatenko, A. Lyakh, K. Drachev, N. Grib.....	49
Methodology of decomposition of the main geomagnetic field models into ‘free’ eccentric magnetic dipoles E. Utemov, D. Nurgaliev.....	50
Satellite gravimetry as a tool for forecasting oil and gas content I. Ognev, D. Nurgaliev .....	51
Forecast of hydrocarbon accumulation distribution by size. Status and problems L. Burshtein, V. Livshits .....	52

Use of GIS-technologies for assessment of ice spreading in the southern geocryological zone B. Tsydypov, V. Chernykh, A. Ayurzhanayev, B. Sodmonov, M. Zharnikova, E. Garmaev.....	53
Arktika-M geoinformation system: current status M. Kuchma, E. Kholodov, IO. Shamilova .....	54
Regularities of decrease in the area occupied by arable land in the central part of the Russian Plain, according to HILDA+ data G. Aleksandrov .....	55
About stages of manifestation of seismic regime anomalies before earthquakes V. Smirnov, A. Petrushov .....	56
On maintenance of the Unified State Data Fund on the state of the environment, its pollution V. Shaimardanov, E. Kolesnikov .....	57
Dynamics of the anomalous magnetic field as a possible indicator of changes in heat flux intensity Yu. Turbin .....	58
Modelling of mantle-crust migrant systems – a new approach to system analysis of seismic events V. Vasiliev, E. Vasilieva .....	59
Variations of the effective elastic thickness of the lithosphere unveil diverse tectonic regimes in Northeastern Eurasia M. Kaban, B. Chen, R. Sidorov, A. Petrunin .....	60
Thermodynamic response to El Niño/La Niña in the polar latitudes of the Northern Hemisphere D. Gushchina, A. Gvozdeva.....	61
Method of separation of potential fields by depth D. Byzov, P. Martyshko .....	62
A new integrated approach to earthquake forecasting M. Rodkin .....	63
Instrumental support of ionospheric, magnetic and heliogeophysical observations V. Minligareev .....	64
Problems of studying coseismic and postseismic processes V. Mikhailov, M. Volkova, A. Konvisar, V. Smirnov, E. Timoshkina, S. Hairtdinov .....	65
Analysing spatial heterogeneity in the carbon sink capacity of ecosystems using satellite data K. Myachina, I. Kerimov, R. Ryakhov, A. Shchhavelev, S. Dubrovskaya, R. Bezborodnikova.....	66
Major natural catastrophes in the Holocene and their impact on climate variations and Earth's ecosystems V. Gusyakov.....	67
Mapping of the fault network of the Sikhote-Alin orogenic belt in geophysical fields A. Bronnikov, M. Nosyrev, A. Didenko .....	68
Development of the magnetic observatory network in Russia and neighboring countries: recent achievements and current issues R. Krasnoperov, A. Soloviev, R. Sidorov, D. Kudin, A. Grudnev, V. Sergeev .....	69
Some results of studies of volcanic processes using satellite radar interferometry methods M. Volkova, V. Mikhailov .....	70
Technogenic talik as an indicator of permafrost condition interacting with hydraulic structures S. Velikin, S. Milanovskiy, V. Istratov, Yu. Ivanov, A. G. Petrunin .....	71
Development of internal crustal displacement deficit from GNSS data before and during the earthquake Hualien, Taiwan (03 April 2024, Mw=7.4) P. Dokunin, V. Kaftan, A. Melnikov .....	72
Risk assessment of hazardous space weather impacts on Arctic infrastructure facilities: study of variability of magnetotelluric fields along the Messoyakha-Norilsk pipeline line E. Sokolova, O. Kozyreva, I. Kupriyanova, D. Epishkin, D. Yakovlev .....	73

Principles of creation of regional structural weight prognostic and prospecting models of ore-forming systems based on geoinformation technologies and Earth remote sensing data processing on the example of some areas of the Russian Federation	
S. Ustinov, V. Petrov, V. Minaev, A. Svecherevskiy .....	74
IZMIRAN magnetic field models for oil and gas complex	
V. Petrov, R. Rytov .....	75
Parallel algorithms for solving direct and inverse gravimetric problems	
P. Martyshko, D. Byzov, I. Ladovskiy, A. Tsydaev .....	76
New possibilities of morphometric analysis of relief and computer geodynamic modelling for delineation of zones of possible earthquake sources in areas of active recent tectogenesis	
A. Sobisevich, A. Agibalov, A. Sentsov .....	77
Representative catalogue of the Neva floods. Principles of construction	
A. Rodionov, A. Lobanov, T. Malova .....	78
Digital processing of geomagnetic observations based on approximation model methods	
V. Getmanov, A. Gvishiani, V. Pilipenko, D. Stukov.....	79
Enhanced convergence of atmospheric and oceanic heat fluxes in the Barents Sea region under present climate warming	
M. Latonin, I. Bashmachnikov, V. Semenov .....	80
Methods and instruments for rock mass diagnostics and monitoring	
S. Serdukov, M. Kurlenya, A. Khmelinin.....	81
Seismicity of the western sector of the Russian Arctic	
A. Morozov, N. Vaganova .....	82
Monitoring of strong man-made tectonic earthquakes. Necessity and feasibility	
S. Kishkina .....	83
From circular seismic echo to the Omori epoch and earthquake source zone bifurcation	
A. Zavyalov.....	84
Geoinformation analysis of regional climatic changes in the Central and Western Russian Arctic for railway development	
A. Kostianoy, A. Gvishiani, I. Rozenberg, A. Soloviev, R. Krasnoperov, B. Dzeboev, S. Gvozdik, S. Lebedev, I. Nikitina, I. Dubchak, N. Sazonov, O. Shevaldysheva, V. Sergeev, G. Gvozdik .....	85
Experimental registration of slow deformation waves from GNSS data in connection with strong earthquakes	
V. Kaftan.....	86
An integrated approach to the development of effective gas emission control systems at coal mines excavation sites	
Yu. Govorukin, S. Kubrin .....	87
Problems of processing primary data of magnetic observatories: will modern mathematical technologies help?	
S. Khomutov .....	88
Methodological aspects of prognostic and mineralogenic studies using remotely sensed Earth observation data	
V. Petrov, S. Ustinov, V. Minaev.....	89
Experience in application of web GIS technologies in global geophysical forecasting tasks	
G. Vorobeva, A. Vorobev .....	90
Approach to hardware-free assessment of the level of geoiduced currents in power systems of the Arctic region	
A. Vorobev, A. Soloviev, G. Vorobeva .....	91
Depths of the basement and roof of the magnetically active layer of the Amur plate	
A. Didenko, M. Nosyrev, G. Gilmanova.....	92

Application of kNN-analysis for interpretation of geophysical measurements I. Aleshin.....	93
Geoinformation system ‘Thermal Mineral Waters of the Kuril Islands’ A. Dolgaya, E. Kalacheva.....	94
Automation of data processing of robotic UAV-geophysical systems using the ‘DDV’ module S. Gachenko, A. Parshin.....	95
Geoinformation technology for monitoring of natural spatial and temporal processes V. Gitis, A. Derendyaev, K. Petrov, A. Zelenko.....	96
Technology for systematic earthquake forecasting V. Gitis, A. Derendyaev.....	97
Boundaries of applicability of the Gutenberg-Richter law in seismic hazard assessment problems P. Shebalin, K. Krushelnitskiy, I. Vorobieva.....	98
Analysis of fault tectonics of the Taimyr-North-Earth orogen and its role in ore formation based on the results of remote sensing regional studies V. Minaev, S. Ustinov, V. Petrov, A. Svecherevskiy, I. Nafigin.....	99
Systems research for seismic risk management using Big Data N. Frolova, N. Malaeva, S. Sushchev, A. Ugarov.....	100
On methods of building a digital regional geological and mathematical model for the territory of Western Siberia A. Sidorov, A. Kopytov.....	101
Use of Earth remote sensing data and ground-based snow cover studies in monitoring coal mines O. Rakova, T. Krupnova, G. Struchkova, T. Kapitonova, S. Tikhonova.....	102
Use of remotely sensed and ground-based data for monitoring the state of urban ecological landscapes T. Krupnova, O. Rakova.....	103
Formalised identification of earthquake preparation signs in the Baikal rift zone E. Levina.....	104
Application of artificial neural networks for prolongation and recovery of vector anomalous geomagnetic field R. Rytov.....	105
Abyssal flows of Antarctic Bottom Water in deep channels of the Atlantic E. Morozov.....	106
Multiparametric inverse problems of multiwave seismic acquisition V. Cheverda.....	107
Near-Earth electromagnetic response to thunderstorms and industrial activity V. Pilipenko.....	108
Reproduction of the North Atlantic circulation in order to search for the crash site of the AZZO liner (flight AB 447 Rio de Janeiro – Paris, 01.06.2009) by calculating the reverse trajectories of the detected bodies N. Dianskiy, A. Gusev.....	109
System studies of tectonic processes and geodynamic modelling of key structures of the Russian Arctic V. Vernikovskiy, A. Vernikovskaya.....	110
Complex for high-precision measurements of the Earth's gravitational field parameters M. Murzabekov, D. Bobrov, R. Davlatov, V. Lopatin.....	111

POSTER PRESENTATIONS

Satellite studies of anthropogenic film pollution in Avacha Bay V. Bondur, V. Zamshin, O. Chvertkova, V. Chernikova .....	113
Dependence of cloud droplet growth on their size and the presence of an electric field D. Gabyshev .....	114
Fuzzy spectra of time series S. Agayan, Sh. Bogoutdinov, D. Kamaev .....	115
Magnetometry for searching archaeological, man-made objects and extraterrestrial matter L. Muravyev, V. Bezdudniy .....	116
DEM analysis for the purposes of forecasting oil and gas content of large territories I. Chernova, D. Nurgaliev, F. Garaev, O. Luneva .....	117
Locations of possible earthquakes in the Central Asian mobile belt A. Gorshkov, O. Novikova, A. Livinskiy, M. Semka .....	118
Assessment of development and carbon balance of ecosystems in the territory of oil fields on the basis of satellite and BBC data A. Kaverin and D. Ilyasov .....	119
El Niño influence on the troposphere of Arctic latitudes according to reanalysis data, the Russian climate model of the IWM RAS and CMIP6 models A. Gvozdeva, D. Gushchina .....	120
Impact of permafrost retreat on carbon balance in ecosystems G. Aleksandrov .....	121
Detailed climate trend assessment and their spatial patterns as a Big Data problem in climatology A. Sterin, A. Lavrov .....	122
Geomagnetic field hyperactivity in the early Neoproterozoic I. Golovanova, R. Salmanova .....	123
Databases on earthquakes in seismic active zones of the USSR territory in the period 1911-1957 N. Sergeeva, L. Zabarinskaya, T. Krylova, N. Knipper .....	124
System approach based on a complex of geochemical, geotectonic and GIS data to explain the processes of formation and search for deep hydrocarbon deposits M. Rodkin .....	125
Karst hazard in the vicinity of the Kurtata Gorge (Republic of North Ossetia-Alania) A. Avdonina, X. Kochubey .....	126
Geomechanical studies of rock massifs for special objects D. Akmatov .....	127
Modelling of stress-strain state of epicentral zones of strong crustal earthquakes V. Morozov, A. Manevich .....	128
Geodynamic model of the northern part of the Nizhnekansky massif R. Shevchuk .....	129
Geodynamic zoning on the basis of system analysis of geological and geophysical information of the territory of the underground research laboratory in Krasnoyarsk Krai I. Losev .....	130
Use of NextGIS Web network GIS systems for analysis of geological data and identification of promising areas in the course of planning geological exploration for diamonds, base and noble metals E. Uvarova, A. Vakhrushev .....	131
Changes in the seismic regime at engineering facilities under the influence of natural and man-made factors B. Trifonov, S. Milanovskiy .....	132

General theory and technology of graphical structuring and representation of knowledge as an effective tool for system analysis	
V. Melnikov, A. Linkov .....	133
Analysis of the relationship between seismicity of the Lena-Anabar Trough region and the peculiarities of its deep structure based on a set of geophysical data	
E. Sokolova, A. Kulyandina, A. Filippova.....	134
Geomagnetic observations to account for variations in the external magnetic field during directional and horizontally oriented drilling	
V. Petrov .....	135
Calculation of frequency characteristics of geomagnetic signals based on the method of local approximation models	
V. Getmanov, V. Pilipenko, D. Stukov .....	136
Modelling of pedestal magnetic field distribution at the magnetic observatory	
A. Gvozdarev, S. Khomutov .....	137
Geoinformation system ‘Ecological and geochemical characteristics of Kamchatka rivers’	
E. Kalacheva, A. Dolgaya .....	138
Seismic monitoring of perennially frozen rocks of the Russian Arctic shelf	
V. Cheverda, G. Reshetova, E. Romenskiy.....	139
Drill hole positioning methods	
A. Valchuk .....	140
Electronic scientific journal ‘Russian Journal of Earth Sciences’. 25 years in Earth Sciences	
A. Gvishiani, E. Kedrov, N. Fomenko, E. Firsova, T. Kudryavtseva .....	141
Analysis of spatial data for ice information forecasting tasks in the Arctic	
E. Pavlova, A. Yulin, T. Alekseeva .....	142
System analysis in space weather tasks based on the results of the Aurora system	
O. Mandrikova .....	143
Intelligent method for detecting Forbush effects in cosmic ray variations	
O. Mandrikova, B. Mandrikova .....	144

# **ORAL PRESENTATIONS**

---

# **УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ**

## Monitoring of Arctic Sea Ice Changes Based on ICESat-2 and Sentinel-2 Satellites

Xiaotao Chang<sup>1</sup>, Zhenming Wang<sup>1</sup>, Mingsen Lin<sup>2</sup>, Minghao Chang<sup>1</sup>, Jianguang Wen<sup>3</sup>, Xi Chen<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Land Satellite Remote Sensing Application Center, Ministry of Natural Resource, Beijing, China

<sup>2</sup> National Satellite Ocean Application Service, Beijing, China

<sup>3</sup> Aerospace Information Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China

With the intensification of global warming, sea ice is constantly melting, which significantly improves the navigability of the Arctic shipping routes. The Laptev Sea of Russia is an important component of the Arctic Ocean. Sea ice monitoring, as a necessary means of ensuring navigation safety in this region, is receiving increasing attention. The development of satellite remote sensing technology, especially the innovative application of optical and LiDAR satellite technology, has provided a more economical and efficient technological means for sea ice monitoring. Firstly, this study obtained ice and water classification results based on ICESat-2 satellite laser altimetry data, and then proposed an improved grid equivalent calculation method to estimate sea ice denseness. Secondly, based on Sentinel-2 optical images, the threshold classification method was used to solve the problem of insufficient sea ice denseness data in nearshore areas and areas without ICESat-2 data. Furthermore, the Kriging interpolation method was used to improve the resolution of sea ice denseness data. Then, the static equilibrium model was used to estimate the sea ice thickness from the sea ice freeboard height data. Finally, this study quantitatively analyzed the sea ice denseness and thickness changes in the Laptev area, and obtained the characteristics and patterns of sea ice changes in the area.

---

## Мониторинг изменений арктического морского льда на основе данных спутников ICESat-2 и Sentinel-2

Xiaotao Chang<sup>1</sup>, Zhenming Wang<sup>1</sup>, Mingsen Lin<sup>2</sup>, Minghao Chang<sup>1</sup>, Jianguang Wen<sup>3</sup>, Xi Chen<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Центр приложений дистанционного спутникового зондирования Земли, Пекин, Китай

<sup>2</sup> Национальная служба приложений спутниковых данных об океане, Пекин, Китай

<sup>3</sup> Научно-исследовательский институт аэрокосмической информации, Китайская академия наук, Пекин, Китай

В связи с усилением глобального потепления морские льды постоянно тают, что значительно улучшает судоходность арктических морских путей. Российское море Лаптевых является важной составляющей Северного Ледовитого океана. Мониторингу морского льда, как необходимому средству обеспечения безопасности судоходства в этом регионе, уделяется все больше внимания. Развитие спутниковых технологий дистанционного зондирования, особенно инновационное применение оптических и LiDAR-спутников, позволило создать более экономичные и эффективные технологические средства для мониторинга морского льда. Во-первых, в данном исследовании получены результаты классификации льда и воды на основе данных лазерной альтиметрии спутника ICESat-2, а затем предложен усовершенствованный метод расчета эквивалента сетки для оценки плотности морского льда. Во-вторых, на основе оптических изображений Sentinel-2 был использован метод пороговой классификации для решения проблемы недостатка данных о плотности морского льда в прибрежных районах и районах без данных ICESat-2. Кроме того, для повышения разрешения данных о плотности морского льда был использован метод интерполяции Кригинга. Затем для оценки толщины морского льда по данным о высоте свободного борта морского льда была использована модель статического равновесия. Наконец, в данном исследовании был проведен количественный анализ изменений плотности и толщины морского льда в районе Лаптевых, а также получены характеристики и закономерности изменений морского льда в этом районе.

## **A comparative investigation of geomagnetic jerks across the SAA during the period 2000-2020**

A. E. Nel, P. Kotzé

The South African National Space Agency, Gauteng, South Africa

Geomagnetic field data from six magnetic observatories located in and adjacent to the South Atlantic Anomaly have been analysed individually to identify abrupt secular variation changes on time scales of less than 1 year and to identify any correlation between the evolution of the South Atlantic Anomaly. Twelve-month differences of the respective observatory monthly mean of the eastward component  $Y$  revealed, after applying external field corrections by means of the CHAOS-7 model, evidence of several geomagnetic jerks with varying amplitudes occurring during the period 2000-2020. The observations were subsequently compared to the CHAOS-7 spherical harmonic models, as well as results from previous studies of the evolution of the South Atlantic Anomaly.

---

## **Сравнительное исследование геомагнитных джерков на территории SAA в период 2000-2020 гг.**

A. E. Nel, P. Kotzé

Национальное космическое агентство Южной Африки, Гаутенг, Южная Африка

Данные геомагнитного поля шести магнитных обсерваторий, расположенных в районе Южно-Атлантической аномалии и прилегающих к ней, были проанализированы по отдельности с целью выявления резких изменений светских вариаций на временных масштабах менее 1 года и определения любых корреляций между эволюцией Южно-Атлантической аномалии. Двенадцатимесячные разности среднемесячных значений восточной компоненты  $Y$  соответствующих обсерваторий после применения поправок на внешнее поле с помощью модели CHAOS-7 выявили признаки нескольких геомагнитных толчков с различной амплитудой, имевших место в период 2000-2020 гг. В дальнейшем наблюдения сравнивались с моделями сферических гармоник CHAOS-7, а также с результатами предыдущих исследований эволюции Южно-Атлантической аномалии.

## **Statistical Diagnostic of Regional Appraise of Seismicity of North East India Himalaya**

Daya Shanker<sup>1</sup>, Anant Panthi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Indian Institute of Technology Roorkee, Roorkee, India

<sup>2</sup> Butwal Multiple Campus, Tribhuvan University, Butwal, Nepal

The northeast India Himalaya and its adjoining regions represent a seismically complex tectonic regime. The region is segmented into five active zones as (I) Eastern Syntaxis; (II) Arakan-yoma fold belt; (III) Shillong plateau; (IV) Himalayan Frontal arc; and (V) Southeastern Tibet with the aid of spatial distribution of seismicity and tectonic features. Statistics of occurrence of large to great earthquakes in Himalayan thrust zone evidenced that, it has been triggered by the major thrusts but the occurrence patterns of smaller events are observed to be controlled largely by the southeast flow of Tibetan plateau, northward movement of Indian plate and westward drift of the Burmese arc. The data set has been critically examined for b-values, the spatio-temporal patterns of seismic activity, the focal depth distribution of events, and the energy release pattern. It has been observed that Arakan-Yoma region is seismically most active compared to other delineated regions. Localized zones with intense seismic activity have also been observed in some regions especially in Eastern Syntaxis and southeastern Tibet regions. The region is characterized by 71% shallow focus activity and 29% intermediate activity when events with cutoff magnitude ( $M_b \geq 4.3$ ) are considered. The Arakan-yoma region exhibits almost equal annual frequency of both the shallow and the intermediate events whereas mostly shallow events have occurred in other regions. Increase in focal depth of earthquakes from west to east up to depth 180 km has been observed in Arakan-yoma region. The paper presents the various seismological aspects to evaluate the present seismicity scenario of the region.

---

## **Статистическая диагностика региональной оценки сейсмичности Гималаев Северо-Восточной Индии**

Daya Shanker<sup>1</sup>, Anant Panthi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Индийский технологический институт, Рурки, Индия

<sup>2</sup> Многопрофильный кампус Бутвал, Университет Трибхуван, Бутвал, Непал

Северо-восточные Гималаи Индии и прилегающие к ним регионы представляют собой сейсмически сложный тектонический режим. Регион разделен на пять активных зон: (I) Восточный синтаксис; (II) Араканско-Йомский складчатый пояс; (III) Шиллонгское плато; (IV) Гималайская фронтальная дуга; и (V) Юго-Восточный Тибет с помощью пространственного распределения сейсмичности и тектонических особенностей. Статистика возникновения крупных и сильных землетрясений в зоне Гималайского надвига свидетельствует о том, что они были вызваны крупными надвигами, но характер возникновения более мелких событий в значительной степени контролируется юго-восточным течением Тибетского нагорья, северным движением Индийской плиты и западным смещением Бирманской дуги. Набор данных был подвергнут критическому анализу на предмет b-значений, пространственно-временных закономерностей сейсмической активности, распределения событий по глубине очага и характера высвобождения энергии. Было отмечено, что Араканско-Йомский регион является наиболее сейсмически активным по сравнению с другими выделенными регионами. Локальные зоны с интенсивной сейсмической активностью также наблюдаются в некоторых регионах, особенно в Восточном Синтаксисе и юго-восточном Тибете. Регион характеризуется 71% мелкофокусной активности и 29% промежуточной активности, если учитывать события с магнитудой среза ( $M_b \geq 4,3$ ). В регионе Аракан-Йома наблюдается почти одинаковая годовая частота как мелких, так и промежуточных событий, в то время как в других регионах происходили преимущественно мелкие события. В районе Аракан-Йома наблюдается увеличение глубины очага землетрясений с запада на восток до глубины 180 км. В статье представлены различные сейсмологические аспекты для оценки современного сценария сейсмичности в регионе.

## **Eastern Arctic tectonics and the origin of the Amerasian Basin**

S. Sokolov<sup>1</sup>, L. Lobkovskiy<sup>2</sup>, M. Tuchkova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Geological Institute RAS, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow, Russia

The main elements of the Eastern Arctic are the Amerasian Basin and the continental margins of Eurasia and North America, which are composed of the Mesozoic cover-and-fold structures of Chukotka and Northern Alaska. The main problem of Arctic tectonics is the origin of the Amerasian Basin. Solutions to this problem are based on a systematic approach to the analysis of geological and geophysical information. The report discusses tectonic models of the formation of the Arctic margins of Chukotka and Northern Alaska in connection with the elucidation of the origin of the Amerasian basin and the justification of the extension of the outer boundary of the Russian Federation shelf. The Yuzhno-Anyuysky and Angayucham ocean basins are considered as parts of the Proto-Arctic Ocean, which in the Late Palaeozoic-Early Mesozoic was a bay of the Pacifica Ocean. In the Late Jurassic and Early Cretaceous there was a closure of ocean basins caused by the southward absorption of oceanic lithosphere in subduction zones, which culminated in the collision of the Arctic Alaska-Chukotka microplate with the Siberian and North American structures. The Chukchi microplate includes the Chukchi microcontinent, including the Alpha-Mendeleev Rise, and the Arctic Platform in Alaska. At the end of the Early Cretaceous, the cover-fold structures of Chukotka (Chukotka folded region) and Northern Alaska (Brooks Ridge orogen) were formed. At the same time, the formation of the Amerasian basin structures took place in the environment of general stretching, culminating in the formation of the oceanic crust in the Canadian Basin. We propose a subduction-convective two-tier geodynamic model of the formation of the Eastern Arctic structures in the Late Jurassic-Early Cretaceous.

---

## **Тектоника Восточной Арктики и происхождение Амеразийского бассейна**

С. Д. Соколов<sup>1</sup>, Л. И. Лобковский<sup>2</sup>, М. И. Тучкова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Геологический институт РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup> Институт океанологии им П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия

Основными элементами Восточной Арктики являются Амеразийский бассейн и континентальные окраины Евразии и Северной Америки, которые сложены мезозойскими покровно-складчатыми структурами Чукотки и Северной Аляски. Главной проблемой тектоники Арктики является происхождение Амеразийского бассейна. Решения этой проблемы основано на системном подходе к анализу геолого-геофизической информации. В докладе рассматриваются тектонические модели формирования арктических окраин Чукотки и Северной Аляски в связи с выяснением происхождения Амеразийского бассейна и обоснованием расширения внешней границы шельфа РФ. Океанические бассейны Южно-Анюйский и Ангаючам рассматриваются как части Прото-Арктического океана, который позднем палеозое-раннем мезозое представлял собой залив океана Тихого. В поздней юре и раннем мелу происходило закрытие океанических бассейнов, вызванное поглощением океанической литосферы в южном направлении в зонах субдукции, которое завершилось коллизией микроплиты Арктическая Аляска-Чукотка со структурами Сибири и Северной Америки. В составе микроплиты выделяются Чукотский микроконтинент, включающий поднятие Альфа-Менделеева, и Арктическую платформу на Аляске. В конце раннего мела сформировались покровно-складчатые структуры Чукотки (Чукотская складчатая область) и Северной Аляски (ороген хребта Брукса). Одновременно в обстановке общего растяжения происходило формирование структур Амеразийского бассейна, завершившееся образованием океанической коры в Канадской котловине. Предлагается субдукционно-конвективная двухъярусная геодинамическая модель формирования структур Восточной Арктики в позднеюрско-раннемеловое время.

## **System of accumulation, processing and analysis of geomagnetic data MAGNUS**

D. Kudin, I. Belov, M. Dobrovolsky, R. Sidorov, A. Grudnev  
Geophysical Center RAS, Moscow, Russia

The system of centralized processing of geomagnetic data developed and deployed in 2015, MAGNUS, has since become a basic tool for the distribution of geomagnetic data for organizations in Russia and neighboring countries. In the course of successive updates of the MAGNUS software, support for second data from ground-based observatories and measurements on low-orbit geomagnetic satellites was added. An important stage of development was the creation of a module for downloading and processing data from remote observatories with minimal delay, including a universal system for tracking instrument statuses and observatory power supply systems. On the basis of the MAGNUS system, a node for the accumulation of final data of the INTERMAGNET standard was deployed, providing data in generally accepted formats.

---

## **Система накопления, обработки и анализа геомагнитных данных МАГНУС**

Д. В. Кудин, И. О. Белов, М. Н. Добровольский, Р. В. Сидоров, А. А. Груднев  
Геофизический центр РАН, Москва, Россия

Разработанная и развернутая в 2015 система централизованной обработки геомагнитных данных МАГНУС за время функционирования стала базовой инструментом распространения геомагнитных данных для организаций России и соседних стран. В ходе последовательных обновлений программного обеспечения МАГНУС добавлена поддержка секундных данных наземных обсерваторий и измерений на низкоорбитальных геомагнитных спутниках. Важным этапом развития стало создание модуля загрузки и обработки данных с удаленных обсерваторий с минимальной задержкой, включающего универсальную систему отслеживания состояний приборов и системы энергоснабжения обсерватории. На базе системы МАГНУС был развернут узел накопления окончательных данных стандарта ИНТЕРМАГНЕТ, предоставляющий данные в общепринятых форматах.

## **Multinomial methods for assessing stability and recoverability of systems**

I. Sheremet

Geophysical Center RAS, Moscow, Russia

The paper discusses the methods of application of multiset grammars to analyse the stability of sociotechnical systems to destructive influences and the possibility of recovery for different types of systems, including destructive cascade effects. The analysis is conducted for the cases of closed and open systems using temporal multi-multiple grammars. A disruptive impact on the resource base of a system is modelled by means of a multiset subtracted from a multiset representing the set of resources available to the system at the time of the impact. The destructive impact on the technological base of the system is modelled by subtracting from a temporal multigrammatic scheme of temporal rules representing the production devices that have failed due to the impact. Resilience of the system to the impact is understood as the possibility of its fulfilment of the order by means of the resource and technological bases reduced by this impact.

---

## **Мультимножественные методы оценки устойчивости и восстанавливаемости систем**

И. А. Шеремет

Геофизический центр РАН, Москва, Россия

В докладе рассматриваются методы применения мультимножественных грамматик для анализа устойчивости социотехнических систем к деструктивным воздействиям и возможности восстановления для различных разновидностей систем, в том числе применительно к разрушительным каскадным эффектам. Анализ ведется для случаев замкнутых и открытых систем с использованием темпоральных мультимножественных грамматик. Деструктивное воздействие на ресурсную базу системы моделируется посредством мультимножества, вычитаемого из мультимножества, представляющего совокупность ресурсов, доступных системе в момент воздействия. Деструктивное воздействие на технологическую базу системы моделируется посредством вычитания из схемы темпоральной мультиграмматики темпоральных правил, представляющего производственные устройства, вышедшие из строя вследствие воздействия. Устойчивость системы к воздействию понимается как возможность выполнения ею заказа посредством редуцированных этим воздействием ресурсной и технологической баз.

## **Russian software complex GIS INTEGRO and digital platform**

E. Cheremisina, A. Lyubimova, K. Markov, M. Finkelstein  
All-Russian research geological oil institute (VNIGNI), Moscow, Russia

The report describes the Russian software and technology solutions GIS INTEGRO and GEOBANK developed at FGBU VNIGNI. GIS INTEGRO is a unique software and technology complex for creating geoinformation projects and complex geological and geophysical modelling of geological structure of subsurface areas. The use of this complex allows the researcher to carry out all the work from downloading initial data to obtaining three-dimensional models, prospective areas and reporting cartographic materials in a single interface. The GEOBANK digital platform implements information interaction including collection, systematization, storage, visualization and provision of geological and geophysical information in all areas of scientific and production activities of the Institute. Software and technological complexes are interconnected. The report discloses the main capabilities of these complexes and the advantages that can be obtained through their use in the implementation of geological studies for oil and gas.

---

## **Российский программно-технологический комплекс ГИС INTEGRO и цифровая платформа**

Е. Н. Черемисина, А. В. Любимова, К. Н. Марков, М. Я. Финкельштейн  
Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт (ВНИГНИ),  
Москва, Россия

В сообщении описываются российские программно-технологические решения ГИС INTEGRO и ГЕОБАНК, разработанные в ФГБУ "ВНИГНИ". ГИС INTEGRO является уникальным программно-технологическим комплексом для создания геоинформационных проектов и комплексного геолого-геофизического моделирования геологического строения участков недр. Использование этого комплекса позволяет исследователю в едином интерфейсе проводить все работы от загрузки исходных данных до получения трехмерных моделей, перспективных площадей и отчетных картографических материалов. Цифровая платформа ГЕОБАНК реализует информационное взаимодействие, включающее сбор, систематизацию, хранение, визуализацию и предоставление геолого-геофизической информации, по всем направлениям научной и производственной деятельности института. Программно-технологические комплексы связаны между собой. В сообщении раскрываются основные возможности этих комплексов и те преимущества, которые могут быть получены за счет их использования при реализации геологических исследований на нефть и газ.

## **A multi-component geophysical model of the Arctic lithosphere and upper mantle**

M. Kaban<sup>1</sup>, A. Petrunin<sup>2</sup>, R. Sidorov<sup>1</sup>, A. Soloviev<sup>1,3</sup>, A. Gvishiani<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Geophysical Center RAS, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Institute of Seismology of Academy of sciences RUz, Tashkent, Uzbekistan

<sup>3</sup> Schmidt Institute of physics of the Earth RAS, Moscow, Russia

The Arctic region is an area unique in its geological and tectonic structure, the study of which is still ongoing due to its inaccessibility. The authors present a comprehensive model of the lithosphere describing its structure based on a set of geophysical fields and various parameters. The model, compiled by modelling with the help of various geological and geophysical data, includes information on the gravity field and its reduction, new data on the sedimentary cover and the depth of the Moho interface in the East Asian Arctic, a map of the heat flow and effective radiogenic heat generation in the upper crust, slices of seismic tomographic models for the entire Arctic region, data on the depth distribution of temperature, density and degree of depletion of mantle matter, and a map of depths to the Curie point. The collected data provide a significant basis for a comprehensive qualitative and quantitative analysis of the structure of the Arctic lithosphere, give insight into it in poorly studied areas, and can also be used to study the possibilities of searching for mineral deposits in the Arctic. The data demonstrate the capabilities of modern global models of geophysical fields, which can be used to obtain new data on continental areas insufficiently explored by ground or aerial surveys. The work was carried out within the framework of the RNF project № 21-77-30010 ‘System analysis of the dynamics of geophysical processes in the Russian Arctic and their impact on the development and functioning of railway transport infrastructure’.

---

## **Многокомпонентная геофизическая модель литосферы и верхней мантии Арктики**

М. К. Кабан<sup>1</sup>, А. Г. Петрунин<sup>2</sup>, Р. В. Сидоров<sup>1</sup>, А. А. Соловьев<sup>1,3</sup>, А. Д. Гвишиани<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Геофизический центр РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup> Институт сейсмологии Академии наук Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан

<sup>3</sup> Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

Арктический регион – область, уникальная по своему геолого-тектоническому строению, изучение которой всё ещё продолжается ввиду её труднодоступности. Авторами представлена комплексная модель литосферы, описывающая её строение по набору геофизических полей и различных параметров. Собранные по итогам моделирования с привлечением различных геолого-геофизических данных модель включает в себя информацию о гравитационном поле и его редукции, новые данные об осадочном чехле и глубине раздела Мохо в восточно-азиатской Арктике, карту теплового потока и эффективной радиогенной теплогенерации в верхнем слое коры, срезы сейсмотомографических моделей для территории всего Арктического региона, данные глубинного распределения температуры, плотности и степени деплетированности мантийного вещества и карта глубин до точки Кюри. Собранные данные представляют значительную основу для комплексного качественного и количественного анализа строения арктической литосферы, дают представление о нём на слабоизученных территориях, а также могут быть использованы изучения возможностей поиска месторождений полезных ископаемых в Арктике. Данные демонстрируют возможности современных глобальных моделей геофизических полей, с помощью которых можно получить новые данные по континентальным областям, недостаточно исследованным наземными или аэросъемками. Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 21-77-30010 «Системный анализ динамики геофизических процессов в российской Арктике и их воздействие на развитие и функционирование инфраструктуры железнодорожного транспорта».

## Unified Catalogue of Earthquakes of the Russian Arctic

I. Vorobieva<sup>1</sup>, P. Shebalin<sup>1,2</sup>, A. Gvishiani<sup>2,3</sup>, B. Dzeboev<sup>2,3</sup>, B. Dzeranov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of earthquake prediction theory and mathematical geophysics RAS, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Geophysical Center RAS, Moscow, Russia

<sup>3</sup> Schmidt Institute of physics of the Earth RAS, Moscow, Russia

The task of this study was to create a representative catalogue of earthquakes in the Arctic zone of the Russian Federation, combining all available data from Russian and international seismological agencies, with magnitudes reduced to a homogeneous scale. The paper describes the algorithm for compiling the catalogue, as well as formalised procedures for removing duplicated events and selecting the optimal magnitude scale. Due to different network configurations and record processing methods, different agencies may record/miss different events, resulting in the absence of individual events in different earthquake catalogues. Therefore, combining data from different seismological agencies will provide the most complete catalogue for the region under study. When combining catalogues, the problem of identifying doubles (records referring to the same seismic event) arises. In order to solve this problem, a modified nearest neighbour method oriented on the identification of doubles was used in this work. In the modified version, a probabilistic metric in the network error space is used to identify epicentres and times of seismic events. The paper compares and performs regression analysis of different types of magnitudes of the unified catalogue and unifies magnitude estimates on the basis of the obtained relations.

---

## Объединенный каталог землетрясений российской Арктики

И. А. Воробьева<sup>1,2</sup>, П. Н. Шебалин<sup>1,2</sup>, А. Д. Гвишиани<sup>2,3</sup>, Б. А. Дзебоев<sup>2,3</sup>, Б. В. Дзеранов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup> Геофизический центр РАН, Москва, Россия

<sup>3</sup> Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

Задачей данного исследования являлось создание представительного каталога землетрясений Арктической зоны Российской Федерации, объединяющего все доступные данные российских и международных сейсмологических агентств, с приведением магнитуд к однородной шкале. В работе описывается алгоритм составления каталога, а также формализованные процедуры удаления дублированных событий и выбора оптимальной шкалы магнитуд. Из-за различных конфигураций сети и методов обработки записей разные агентства могут регистрировать/пропускать разные события, что в итоге выражается в отсутствии отдельных событий в различных каталогах землетрясений. Поэтому объединение данных различных сейсмологических агентств позволит получить наиболее полный каталог для исследуемого региона. При объединении каталогов необходимо возникает проблема выявления дублей (записей, относящихся к одному и тому же сейсмическому событию). Для решения этой задачи в работе использовался модифицированный метод ближайшего соседа, ориентированной на идентификацию дублей. В модифицированной версии, используется вероятностная метрика в пространстве сетевых ошибок при определении эпицентров и времен сейсмических событий. В работе проводится сопоставление и регрессионный анализ разных типов магнитуд объединенного каталога и на основе полученных соотношений проводится унификация оценок магнитуд.

## Geodynamic studies in the task of systemic assessment of seismic hazard in Ossetia

B. Dzeboev<sup>1,2,3</sup>, A. Gvishiani<sup>1,2</sup>, V. Tatarinov<sup>1,2</sup>, V. Kaftan<sup>1</sup>, I. Vorobyova<sup>1,4</sup>, A. Manevich<sup>1,5</sup>,  
B. Dzeranov<sup>1,3</sup>, R. Shevchuk<sup>1,2</sup>, D. Akmatov<sup>1,5</sup>, I. Losev<sup>1</sup>, K. Kochubei<sup>1</sup>

1 Geophysical Center RAS, Moscow, Russia

2 Schmidt Institute of physics of the Earth RAS, Moscow, Russia

3 Geophysical Institute of VNS RAS, Vladikavkaz, Russia

4 Institute of Theory of Earthquake Forecasting and Mathematical Geophysics, RAS, Moscow, Russia

5 College of Mining NUST MISiS, Moscow, Russia

The most complete and representative joint catalogue of earthquakes in the Ossetian sector of the Greater Caucasus with a unified magnitude scale has been created. The catalogue covers the period from 1962 to 2022 and integrates all available data from FIC EGS RAS collections 'Earthquakes in the USSR', 'Earthquakes of Northern Eurasia', 'Earthquakes of Russia', 'Seismic Bulletin of Caucasus' (Institute of Geophysics, Academy of Sciences of the Georgian SSR) and ISC catalogue. For the first time a systematic generalization and analysis of the study of modern vertical movements of the Earth's crust on the territory of the Caucasus for more than a century of geodetic measurements has been made. The tectonics and morphology of the Caucasus directly indicates the essential role of vertical motions in the construction of geodynamic models and, consequently, their usefulness in assessing the seismic hazard of the region. It is shown that uplifts of the Greater and Lesser Caucasus have a spatial and temporal relationship with strong earthquakes, the sources of which are located predominantly in zones of high vertical motion velocity gradients. Strong earthquakes occur during the periods of completion of fast vertical movements during the first decades after such movements with an approximate recurrence rate of one event per 6 years. The impact of the destructive Turkish earthquakes of 2023 on the movements and deformations of the Earth's crust in the Caucasus region has been assessed. The velocities of motions before and after the earthquakes are determined. The results show a significant (and statistically significant) impact of the earthquakes on horizontal and vertical crustal motions of the Caucasus region. A geodynamic polygon was formed within the Ossetian sector of the Greater Caucasus to perform regime observations of modern crustal movements. At present the polygon includes 37 geodetic points. A network for deformation GNSS monitoring of the eastern part and separately the junction of the Eastern and Western branches of the Vladikavkaz fault has been formed.

---

## Геодинамические исследования в задаче системной оценки сейсмической опасности Осетии

Б. А. Дзебоев<sup>1,2,3</sup>, А. Д. Гвишиани<sup>1,2</sup>, В. Н. Татаринов<sup>1,2</sup>, В. И. Кафтан<sup>1</sup>, И. А. Воробьева<sup>1,4</sup>,  
А. И. Маневич<sup>1,5</sup>, Б. В. Дзеранов<sup>1,3</sup>, Р. В. Шевчук<sup>1,2</sup>, Д. Ж. Акматов<sup>1,5</sup>, И. В. Лосев<sup>1</sup>, К. А. Кочубей<sup>1</sup>

1 Геофизический центр РАН, Москва, Россия

2 Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

3 Геофизический институт ВНИИ РАН, Владикавказ, Россия

4 Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, Москва, Россия

5 Горный институт НИТУ «МИСиС», Москва, Россия

Создан наиболее полный и представительный объединенный каталог землетрясений Осетинского сектора Большого Кавказа с унифицированной магнитудной шкалой. Каталог охватывает период с 1962 по 2022 годы и интегрирует в себе все доступные данные из сборников ФИЦ ЕГС РАН «Землетрясения в СССР», «Землетрясения Северной Евразии», «Землетрясения России», сборника «Сейсмический бюллетень Кавказа» (Институт геофизики АН Грузинской ССР) и каталога ISC. Впервые выполнено системное обобщение и анализ изученности современных вертикальных движений земной коры на территории Кавказа за более чем вековую историю геодезических измерений. Тектоника и морфология Кавказа прямо указывает на существенную роль вертикальных движений в построении геодинамических моделей и, следовательно, их полезность при оценке сейсмической опасности региона. Показано, что подъемы Большого и Малого Кавказа имеют пространственно-временную взаимосвязь с сильными землетрясениями, очаги которых находятся преимущественно в зонах высоких градиентов скоростей вертикальных движений. Сильные землетрясения происходят в периоды завершения быстрых вертикальных движений в течение первых десятилетий после таковых с примерной повторяемостью одно событие за 6 лет. Оценено воздействие разрушительных Турецких землетрясений 2023 г. на движения и деформации земной коры Кавказского региона. Определены скорости движений до и после землетрясений. Результаты показывают значительное (и статистически значимое) воздействие землетрясений на горизонтальные и вертикальные движения коры Кавказского региона. В пределах Осетинского сектора Большого Кавказа сформирован геодинамический полигон для выполнения режимных наблюдений за современными движениями земной коры. В настоящее время полигон включает в себя 37 геодезических пунктов. Сформирована сеть для деформационного ГНСС-мониторинга восточной части и отдельно узла сочленения Восточной и Западной ветвей Владикавказского разлома.

## On the activities of the World Data Centres

B. Dzeranov<sup>1</sup>, N. Sergeeva<sup>1</sup>, B. Dzeboev<sup>1,3</sup>, L. Zabarinskaya<sup>1</sup>, E. Kedrov<sup>1</sup>, V. Ishkov<sup>1,2</sup>, T. Krylova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Geophysical Center RAS, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radiowave Propagation RAS, Moscow, Russia

<sup>3</sup> Schmidt Institute of physics of the Earth RAS, Moscow, Russia

The Russian World Data Centres (WDCs) for Solar-Terrestrial Physics and Solid Earth Physics in Moscow have been performing the functions of geophysical data collection, long-term storage, management and dissemination since 1957. Both centres are multidisciplinary. Since 2012, the centres have been part of the World Data System. Modern scientific research is based on the integrated analysis of large volumes of data from different fields of science and on the application of modern computer methods of data processing, analysis and interpretation. WDCs have a unique and representative collection of long-term observations obtained by the world network of geophysical observatories and spacecraft stations and instruments. A large number of domestic and foreign data on various disciplines and types of observations are presented on the centres' websites in electronic form in free access for research purposes. Many data series are regularly updated with new results. In the course of implementation of the project 'Preservation of old data' the transfer of historical data from paper to electronic form is actively carried out with further publication in the network and retrospective replenishment of the electronic data repository, formation of long series of observations. Such data together with modern results of geophysical observations are used for solving many scientific tasks. The centres are improving the data management system, developing new approaches to data publication in the network, providing easy and convenient access to the data. A relational geomagnetic data base is being formed with a user interface that allows a remote user to select the necessary data from the database according to the conditions applied to a number of parameters. In recent years, the practice of data citation by assigning a DOI (Digital Object Identifier) to the data has been introduced. The project 'Earth Science DataBase' (Earth Science DataBase) on creation of a modern system of registration and publication of geophysical data sets and databases with DOI assignment through the Crossref agency is being developed in the GC RAS. The implementation of this project makes geophysical data more meaningful and accessible to researchers by simplifying search and identification, and promotes more intensive and repeated use of data. The work was performed within the framework of the state assignment of the Geophysical Centre of the Russian Academy of Sciences, approved by the Ministry of Education and Science of Russia.

---

## О деятельности Мировых Центров Данных

Б. В. Дзеранов<sup>1</sup>, Н. А. Сергеева<sup>1</sup>, Б. А. Дзебоев<sup>1,3</sup>, Л. П. Забаринская<sup>1</sup>, Э. О. Кедров<sup>1</sup>, В. Н. Ишков<sup>1,2</sup>, Т. А. Крылова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Геофизический центр РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup> Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН, Москва, Россия

<sup>3</sup> Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

Российские Мировые Центры Данных (МЦД) по солнечно-земной физике и физике твердой Земли в Москве с 1957 года выполняют функции сбора, долговременного хранения, управления и распространения геофизических данных. Оба центра являются многодисциплинарными. С 2012 года центры входят в Мировую систему данных (World Data System). Современные научные исследования основываются на комплексном анализе больших объемов данных из разных областей науки и на применении современных компьютерных методов обработки, анализа и интерпретации данных. МЦД обладают уникальной и представительной коллекцией результатов многолетних наблюдений, полученных мировой сетью геофизических обсерваторий и станций и приборов, установленных на космических аппаратах. Большое количество отечественных и зарубежных данных по разным дисциплинам и видам наблюдений представлено на сайтах центров в электронной форме в свободном доступе для исследовательских целей. Многие ряды данных регулярно пополняются новыми результатами. В ходе реализации проекта "Сохранение старых данных" активно осуществляется перевод исторических данных с бумажного носителя в электронную форму с дальнейшей публикацией в сети и ретроспективным пополнением электронного хранилища данных, формированием длинных рядов наблюдений. Такие данные совместно с современными результатами геофизических наблюдений используются для решения многих научных задач. В центрах совершенствуется система управления данными, развиваются новые подходы к публикации данных в сети, обеспечивающие простой и удобный доступ к данным. Формируется реляционная база геомагнитных данных с пользовательским интерфейсом, позволяющим удаленному пользователю выбирать из базы данных необходимые данные по условиям, примененным к ряду параметров. В последние годы внедряется практика цитирования данных путем присвоения данным цифрового идентификатора объекта DOI (Digital Object Identifier). В ГЦ РАН развивается проект "База данных наук о Земле" (Earth Science DataBase) по созданию современной системы регистрации и публикации наборов и баз геофизических данных с присвоением DOI через агентство Crossref. Реализация этого проекта делает геофизические данные более значимыми и доступными для исследователей за счет упрощения поиска и идентификации и способствует более интенсивному и повторному использованию данных. Работа выполнена в рамках государственного задания Геофизического центра РАН, утвержденного Минобрнауки России.

## About the latest results in the DMA

S. Agayan<sup>1</sup>, Sh. Bogoutdinov<sup>1</sup>, D. Kamaev<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Geophysical Center RAS, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Scientific and production association Typhoon, Obninsk, Russia

Discrete Mathematical Analysis (DMA) is a method of discrete data analysis that uses the scenarios of classical continuous mathematics, in which the fundamentals are replaced by fuzzy models of their discrete counterparts. From a practical point of view, DMA is a new researcher-centred approach to data analysis, occupying an intermediate position between hard mathematical methods and soft oversampling methods. Problem solving in DMA consists of two parts. The first part is informal: it deals with the researcher's logic, introduces the necessary concepts, and explains the scheme and principles of the solution. The second part has formal character: with the help of DMA apparatus all concepts get strict definitions within the framework of fuzzy mathematics and fuzzy logic, and schemes and principles become algorithms. DMA algorithms have a universal character and are bound together by a common formal basis, largely consisting in the fuzzy interpretation of classical continuous mathematics mentioned at the beginning. DMA algorithms are aimed at solving basic problems of data analysis: in multidimensional arrays these are clustering, tracing, geometric, in particular fractal properties, in time series – anomalies, trends and morphology in general. This report is devoted to a review of recent results in DMA: three stages of iterative DPS clustering with application to seismic catalogues; anomaly recognition, their morphological analysis on time series with application to extreme geomagnetic events within the framework of the MAGNUS analytical complex, the intellectual block of which includes DMA, and much more.

---

## О последних результатах в ДМА

С. М. Агаян<sup>1</sup>, Ш. Р. Богоутдинов<sup>1</sup>, Д. А. Камаев<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Геофизический центр РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup> Научно-производственное объединение Тайфун, Обнинск, Россия

Дискретный математический анализ (ДМА) – метод анализа дискретных данных, использующий сценарии классической непрерывной математики, в которых фундаментальные основы заменены нечеткими моделями их дискретных аналогов. С практической точки зрения ДМА представляет собой новый подход к анализу данных, ориентированный на исследователя и занимающий промежуточное положение между жесткими математическими методами и мягкими переборными. Решение задачи в рамках ДМА состоит из двух частей. Первая носит неформальный характер: в ней разбирается логика исследователя, вводятся нужные понятия, объясняется схема и принципы решения. Вторая часть имеет формальный характер: с помощью аппарата ДМА все понятия получают строгие определения в рамках нечеткой математики и нечеткой логики, а схемы и принципы становятся алгоритмами. Алгоритмы ДМА имеют универсальный характер и скреплены единой формальной основой, во многом состоящей в упоминавшейся в начале нечеткой интерпретации классической непрерывной математики. Алгоритмы ДМА нацелены на решение основных задач анализа данных: в многомерных массивах это кластеризация, трассирование, геометрические, в частности, фрактальные свойства, во временных рядах – аномалии, тренды и морфология в целом. Настоящий доклад посвящен обзору последних результатов в ДМА: три стадии итерационной DPS-кластеризации с применением к сейсмическим каталогам; распознавание аномалий, их морфологический анализ на временных рядах с применением к экстремальным геомагнитным событиям в рамках аналитического комплекса МАГНУС, в интеллектуальный блок которого входит ДМА, а также многое другое.

## **Data-Intense Modeling for Informed Resource Management Decisions Under Uncertainty**

E. Rovenskaya

International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Effective management of food, water, and other natural resource-dependent systems requires decision-making under inherent uncertainties, such as fluctuations in future prices or unpredictable weather conditions. This talk will introduce a modeling framework designed to support decision-making under uncertainty. The approach leverages stochastic optimization, enabling the specification of an acceptable risk level and ensuring that decisions do not exceed this threshold. Several applications of this framework will be discussed, including planning food production in West Africa and managing a food-water-energy system in China.

---

## **Моделирование с использованием большого количества данных для принятия обоснованных решений по управлению ресурсами в условиях неопределенности**

Е. Ровенская

Международный институт прикладного системного анализа, Лаксенбург, Австрия

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия

Эффективное управление продовольственными, водными и другими системами, зависящими от природных ресурсов, требует принятия решений в условиях присущей им неопределенности, такой как колебания будущих цен или непредсказуемые погодные условия. В этом докладе будет представлена схема моделирования, разработанная для поддержки принятия решений в условиях неопределенности. Подход использует стохастическую оптимизацию, позволяющую определить приемлемый уровень риска и гарантировать, что решения не превысят этот порог. Будут рассмотрены несколько вариантов применения этого подхода, включая планирование производства продовольствия в Западной Африке и управление системой «продовольствие-вода-энергия» в Китае.

## **Remote sensing of archaeological monuments of the Southern Trans-Urals using geophysics and machine learning methods**

A. Vokhmintsev<sup>1</sup>, N. Batanina<sup>1</sup>, E. Kupriyanova<sup>1</sup>, L. Muravyev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Chelyabinsk State University, Chelyabinsk, Russia

<sup>2</sup>Institute of geophysics UrB RAS, Ekaterinburg, Russia

The application of non-destructive research methods is currently an integral stage of studying archaeological sites prior to their excavation. The so-called 'Land of Cities' discovered in the second half of the XX century in the Southern Trans-Urals – more than two dozen fortified settlements of the Bronze Age, belonging to the Sintashti culture (about XXI-XVII centuries BC), is a unique object of interdisciplinary research. Modern high-precision methods of geophysics provide significant information, which is used in planning exploration archaeological works. The interpretation of remote sensing data makes it possible to discover new monuments by focusing on the morphology of already known sites. In 2023, two new fortified settlements belonging to the same archaeological culture were discovered. The architecture of these settlements was studied using five methods: interpretation of aerial photographs, space images, area electromagnetic profiling with the AEMP-14 induction system, GNSS imagery, construction of orthophotos and a digital elevation model based on UAV imagery. The data obtained by different methods were combined in order to obtain a holistic image of the monuments. Each of the applied methods allowed to see new details in the architecture of the studied fortified settlements, which were not fixed by other methods. At both monuments several different construction horizons were identified, which in future archaeological excavations will make it possible to lay out sections in a targeted manner. The obtained images and digital terrain models were used within the framework of the proposed methodology for remote investigation of archaeological sites. Two-dimensional data in the form of aerial photographs and satellite images are used to detect archaeological sites using machine learning methods. The detection hypothesis is tested using 3D classification and semantic segmentation methods, and instance segmentation based on Graph Convolutional Neural Networks and GCNN (Graph Convolutional Neural Network) and Transformer architecture based on Mask3d and OneFormer3D networks. These methods allow the interpretation of the structure of an archaeological monument in automatic mode.

---

## **Дистанционное исследование археологических памятников Южного Зауралья с помощью методов геофизики и машинного обучения**

А. В. Вохминцев<sup>1</sup>, Н. С. Батанина<sup>1</sup>, Е. В. Куприянова<sup>1</sup>, Л. А. Муравьев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия

<sup>2</sup>Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Применение неразрушающих методов исследования в настоящее время является неотъемлемым этапом изучения археологических объектов до их раскопок. Открытая во второй половине XX века в Южном Зауралье так называемая «Страна городов» – более двух десятков укрепленных поселений эпохи бронзы, принадлежащие синташтинской культуре (около XXI-XVII в.в. до н.э.), является уникальным объектом междисциплинарных исследований. Современные высокоточные методы геофизики дают значимую информацию, которая используется при планировании разведочных археологических работ. Дешифрирование данных дистанционного зондирования дает возможность обнаружения новых памятников, ориентируясь на морфологию уже известных объектов. В 2023 году были открыты два новых укрепленных поселения, принадлежащие той же археологической культуре. Изучение архитектуры этих поселений проводилось пятью методами: дешифрирование аэрофотоснимков, космоснимков, площадное электромагнитное профилирование индукционной системой АЭМП-14, съемка с помощью GNSS, построение ортофотопланов и цифровой модели рельефа по данным съемки с БПЛА. Полученные разными методами данные совмещались с целью получения целостного образа памятников. Каждый из применявшихся методов позволил увидеть в архитектуре изученных укрепленных поселений новые детали, не фиксируемые другими методами. На обоих памятниках было выделено несколько разновременных строительных горизонтов, что в дальнейшем при проведении археологических раскопок позволит целенаправленно закладывать разрезы. Полученные изображения и цифровые модели местности были использованы в рамках предложенной методологии для дистанционного исследования археологических объектов. Двумерные данные в виде аэрофотоснимков и космоснимков используются для обнаружения археологических памятников методами машинного обучения. Гипотеза об обнаружении проверяется с использованием методов 3D классификации и семантической сегментации, и сегментации экземпляров на основе графовых сверточных нейронных сетей и GCNN (Graph Convolutional Neural Network) и архитектуры трансформера на основе сетей Mask3d и OneFormer3D. Данные методы позволяют произвести дешифрирование структуры археологического памятника в автоматическом режиме.

## Capabilities of modern unmanned aerial systems in Earth exploration

D. Goglev

“Geoscan”, Moscow, Russia

For more than 15 years’ various tasks have been solved daily with the help of unmanned aerial systems (UAS), but in recent years there has been a rapid development of unmanned technologies in almost all spheres of activity: field exploration, geodesy, road maintenance, energy, agriculture, construction, oil and gas sector, mining, forestry and many others. Geoscan is a leader in the production of civil unmanned aerial systems and payloads for them. In recent years, the company has developed and continuously improves a wide range of UAS: from small drones for educational projects to systems that provide creation of volumetric high-precision terrain models capable of staying in the air for up to 8 hours. One of the main directions of Geoscan Company remains the implementation of various types of surveys using its own UAS. In addition to classical applications in geodesy and cartography, Geoscan UASs are capable of magnetic and gamma-spectrometric surveys, radiometry and multispectral surveys, airborne laser scanning and other types of surveys. Any of the surveys carried out with the help of UAS is significantly superior in terms of price-velocity-quality ratio to the classical options for obtaining information (on foot or on the basis of manned aviation). An illustrative example is the high demand for geophysical surveys, which Geoscan has been performing for more than 6 years by many geological exploration companies in Russia and worldwide. The speed of surveying in one working day is comparable to manned aviation (up to 330 linear kilometres), and the quality is much higher due to the ability to survey at a minimum distance from the earth's surface without risk to the crew. ‘Geoscan has carried out geophysical work at approximately 150 sites around the world since 2018 and is receiving extremely positive feedback. The volume of UAS acquisition requests has grown significantly over the past two years and continues to increase. The use of drones in civilian applications will continue to increase. In the near future, drones will become a part of our daily lives and will be as commonplace as driving a car.

---

## Возможности современных беспилотных авиационных систем в изучении Земли

Д. А. Гоглев

ГК «Геоскан», Москва, Россия

Более 15 лет с помощью беспилотных авиационных систем (БАС) ежедневно решаются различные задачи, однако в последние годы наблюдается стремительное развитие беспилотных технологий практически во всех сферах деятельности: разведка месторождений, геодезия, дорожное хозяйство, энергетика, сельское хозяйство, строительство, нефтегазовый сектор, горное дело, лесное хозяйство и многие другие. Компания «Геоскан» является лидером по производству гражданских беспилотных авиационных систем и полезных нагрузок к ним. За последние годы в компании появилась и на постоянной основе совершенствуется широкая линейка БАС: от небольших беспилотников для образовательных проектов до систем, обеспечивающих создание объемных высокоточных моделей местности, способных оставаться в воздухе до 8 часов. Одним из основных направлений компании «Геоскан» остается выполнение различных видов съемок при помощи собственных БАС. Помимо классических применений в области геодезии и картографии, БАС «Геоскан» способны выполнять магнитную и гамма-спектрометрическую съемки, радиометрию и мультиспектральную съемку, воздушное лазерное сканирование и другие типы съемок. Любая из съемок, выполняемая с помощью БАС, значительно превосходит по соотношению цена-скорость-качество классические варианты получения информации (пеший или на базе пилотируемой авиации). Показательным примером служит высокая востребованность геофизических съемок, которые «Геоскан» выполняет более 6 лет, многими геологоразведочными компаниями в России и мире. Скорость съемки за один рабочий день сопоставима с пилотируемой авиацией (до 330 погонных км), а качество – значительно выше, за счет возможности выполнять съемку на минимальном удалении от земной поверхности без риска для экипажа. «Геоскан» с 2018 года выполнил геофизические работы примерно на 150 объектах по всему миру и получает исключительно положительные отзывы. Объем запросов на приобретение БАС в последние два года значительно вырос и продолжает увеличиваться. Использование беспилотников в гражданских направлениях будет и дальше возрастать. В скором будущем беспилотники плотно войдут в нашу повседневную жизнь и будут восприниматься так же обыденно, как езда на автомобиле.

## **Application of mobile infrasound complexes for solving various tasks**

Yu. Vinogradov, A. Milekhina, M. Pyatunin  
Geophysical Survey RAS, Obninsk, Russia

Infrasound waves are longitudinal waves propagating in the Earth's atmosphere in the frequency range of 0.01-20 Hz. They are generated by various natural and anthropogenic sources: earthquakes, explosions, tornadoes, hurricanes, bolides, rockets, aircraft, avalanches, landslides and many other objects. Measurements of infrasound waves are made using a set of equipment collectively called an 'infrasound measurement system'. Modern measurement equipment typically includes an infrasound sensor (microbarograph, low-frequency microphone, MEMS sensor), a signal amplifier, an analogue-to-digital converter (digitizer or recorder), a power supply, a storage unit for data acquisition, and usually a spatial infrasound filter designed to reduce wind noise. The infrasound sensor is the main element for infrasound measurement, determining the frequency range of the recording and the quality of the signal recording. It must measure changes in atmospheric pressure over a very large dynamic range and provide the required output signal level matched to the appropriate recorder, whose input range is limited. In general, a sensor consists of a mechanical part sensitive to pressure changes and an associated transducer. In practice, to record low-frequency infrasound waves are used mainly microbarographs – devices that measure the change in external pressure relative to a known pressure standard, installed in a certain volume inside the sensor. The frequency range of such instruments usually covers the range from 0.01 Hz to 50 Hz and the sensitivity reaches up to 2000 mV/Pa. The only disadvantage of such instruments is their size. For higher infrasound frequencies (0.1-100 Hz), low-frequency free-field condenser microphones, which are capacitive sensors, are used. The principle of operation of capacitive sensors is based on measuring the change in capacitance between two conductive plates as the distance between them changes. These changes in capacitance can be converted into an electrical voltage and then amplified and digitised. Low-frequency microphones are very compact but have a number of disadvantages – most notably a strong dependence on moisture and a rather high price. With the appearance on the market of Chinese-made low-frequency microphones, characterised by good quality, stable characteristics and low price, it became possible to create compact infrasound groups on their basis.

---

## **Применение мобильных инфразвуковых комплексов для решения различных задач**

Ю. А. Виноградов, А. М. Милехина, М. С. Пятунин

Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук», Обнинск, Россия

Инфразвуковые волны – продольные волны, распространяющиеся в атмосфере Земли в частотном диапазоне 0,01-20 Гц. Они генерируются различными естественными и техногенными источниками: землетрясениями, взрывами, смерчами, ураганами, болидами, ракетами, самолетами, лавинами, оползнями и многими другими объектами. Измерения инфразвуковых волн производятся с использованием комплекта оборудования в целом называемым «инфразвуковая измерительная система». Современные средства измерения обычно включают в себя инфразвуковой сенсор (микробарограф, низкочастотный микрофон, MEMS-сенсор), усилитель сигнала, аналого-цифровой преобразователь (дигитайзер или рекордер), блок питания, накопитель для сбора данных и, как правило, пространственный инфразвуковой фильтр, предназначенный для снижения шума ветра. Инфразвуковой сенсор – основной элемент для измерения инфразвука, определяющий частотный диапазон регистрации и качество записи сигнала. Он должен измерять изменения атмосферного давления в очень большом динамическом диапазоне и обеспечивать необходимый уровень выходного сигнала, согласованного к соответствующему рекордеру, диапазон ввода которого ограничен. В целом сенсор состоит из механической части, чувствительной к изменению давления и связанного с ним преобразователя. На практике для регистрации низкочастотных инфразвуковых волн используют в основном микробарографы – приборы, измеряющими изменение внешнего давления относительно известного эталона давления, инсталлированного в определенном объеме внутри датчика. Диапазон регистрируемых частот таких приборов обычно покрывает диапазон от 0.01 Гц до 50 Гц, а чувствительность достигает до 2000 мВ/Па. Единственным недостатком таких приборов является их размер. Для более высоких частот инфразвука (0.1-100 Гц) применяются низкочастотные конденсаторные микрофоны свободного поля, представляющие собой емкостной датчик. Принцип действия емкостных датчиков основан на измерении изменения емкости между двумя проводящими пластинами при изменении расстояния между ними. Эти изменения емкости могут быть преобразованы в электрическое напряжение и затем усилены и оцифрованы. Низкочастотные микрофоны очень компактны, но имеют ряд недостатков – прежде всего сильная зависимость от влаги и достаточно высокая цена. С появлением на рынке низкочастотных микрофонов китайского производства, отличающихся хорошим качеством, стабильными характеристиками и невысокой ценой появилась возможность на их основе создавать компактные инфразвуковые группы.

## Use of bistatic radar system on GNSS signals

V. Lopatin<sup>1</sup>, M. Murzabekov<sup>1</sup>, V. Fateev<sup>1</sup>, Yu. Titchenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>VNIIFTRI, Solnechnogorsk, Russia

<sup>2</sup>Institute of Applied physics RAS, Nizhny Novgorod, Russia

Currently there is a problem of geophysical information support of the Arctic zone of the Russian Federation and the Northern Sea Route. The solution to this problem is caused by the need to expand oil and gas production, create navigational gravimetric maps, and improve safety during navigation along the Northern Sea Route. The only option for creating global maps of various Earth parameters, including inaccessible territories and water areas, is the creation and application of space-based high-precision measuring instruments placed on board low-orbiting spacecraft (SC). Currently, active satellite altimetry methods are used to create maps of such a parameter of the Earth's gravity field as the geoid height. Satellite measurements in the visible and microwave wavelength range are used to detect sea ice. However, remote sensing in the visible range is not possible when clouds and fog are present. Microwave remote sensing, like satellite altimetry, requires the launching of large spacecraft with high energy. These problems can be solved by using a passive bistatic radar system based on GLONASS/GPS/Galileo/Beidou global navigation satellite system (GNSS) signals, which is suitable as a payload for nanosatellites. Such a passive system provides an efficient and cost-effective way to acquire measurement data for the following applications: - geoid height determination; - characterisation of sea surface agitation and surface wind speed; - determination of ice-water boundaries; - monitoring of soil moisture; - monitoring of water bodies. The paper presents the developed methods based on bistatic system measurements on GNSS signals, which allow solving the problems of preparing high-precision maps of geoid heights, as well as monitoring of ice conditions. The paper also presents the results of raw data processing of the bistatic system software receiver on GNSS signals of the TDS-1 and CYGNSS satellite missions. A bistatic system based on GNSS signals, placed on board a nanosatellite and using the proposed methods, can complement the domestic satellite altimetry mission GEO-IC-2 and can also become part of the prospective domestic space geodetic mission GEO-IC-3.

---

## Использование бистатической системы радиолокации на сигналах ГНСС

В. П. Лопатин<sup>1</sup>, М. М. Мурзабеков<sup>1</sup>, В. Ф. Фатеев<sup>1</sup>, Ю. А. Титченко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГУП «ВНИИФТРИ», Солнечногорск, Россия

<sup>2</sup>Институт прикладной физики (ИПФ) РАН, Нижний Новгород, Россия

В настоящее время существует проблема геофизического информационного обеспечения Арктической зоны Российской Федерации и Северного морского пути. Решение этой проблемы вызвано необходимостью расширения объемов добычи нефти и газа, создания навигационных гравиметрических карт, а также повышения безопасности при навигации по Северному морскому пути. Единственным вариантом создания глобальных карт различных параметров Земли, в том числе на недоступные территории и акватории, является создание и применение космических высокоточных измерительных средств, размещенных на борту низкоорбитальных космических аппаратов (КА). В настоящее время для создания карт такого параметра гравитационного поля Земли (ГПЗ), как высота геоида, используются методы активной спутниковой альтиметрии. Для обнаружения морского льда используются спутниковые измерения в видимом и СВЧ диапазоне длин волн. Однако дистанционное зондирование в видимом диапазоне невозможно при облаках и тумане. Дистанционное микроволновое зондирование, как и спутниковая альтиметрия, требует выведение больших космических аппаратов с высокой энергетикой. Данные проблемы возможно решить путем использования пассивной бистатической радиолокационной системы на основе сигналов глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) ГЛОНАСС/GPS/Galileo/Beidou, которая подходит в качестве полезной нагрузки для наноспутников. Такая пассивная система обеспечивает эффективный и экономически выгодный способ получения измерительных данных для решения следующих прикладных задач: - определение высоты геоида; - определение характеристик взволнованности морской поверхности и скорости приповерхностного ветра; - определение границ «ледяной покров-вода»; - мониторинг влажности почвы; - мониторинг водных объектов. В работе представлены разработанные методы на основе измерений бистатической системы на сигналах ГНСС, позволяющие решить задачи подготовки высокоточных карт высот геоида, а также мониторинга ледовой обстановки. В работе также представлены результаты обработки сырых данных программного приемника бистатической системы на сигналах ГНСС спутниковых миссий TDS-1 и CYGNSS. Бистатическая система на основе сигналов ГНСС, размещенная на борту наноспутника и использующая предложенные методы, может дополнить отечественную спутниковую альтиметрическую миссию ГЕО-ИК-2, а также может стать частью перспективной отечественной космической геодезической миссии ГЕО-ИК-3.

## **70 Years of the Geophysical Center RAS: History of Establishment and Current Status**

A. Soloviev, A. Gvishiani  
Geophysical Center RAS, Moscow, Russia

The report is devoted to the main milestones in the development of the Geophysical Centre of RAS, from the establishment of the Interdepartmental Committee for the preparation and holding of the International Geophysical Year under the Presidium of the USSR Academy of Sciences to its establishment as a progressive academic institute. Special attention will be paid to those personalities who contributed to the development of the scientific potential of the GC RAS. Among the fundamental scientific directions of the institute the research widely demanded in solving actual applied problems will be separately noted.

---

## **70 лет Геофизическому центру РАН: история становления и современный статус**

А. А. Соловьев, А. Д. Гвишиани  
Геофизический центр РАН, Москва, Россия

Доклад посвящен основным вехам развития Геофизического центра РАН, от создания Межведомственного комитета по подготовке и проведению Международного геофизического года при Президиуме Академии наук СССР до его становления как прогрессивного академического института. Отдельное внимание будет уделено тем личностям, которые способствовали развитию научного потенциала ГЦ РАН. Среди фундаментальных научных направлений института будут отдельно отмечены исследования, широко востребованные в решении актуальных прикладных задач.

## **A series of the strongest earthquakes of the early XXI century in Chile: similarities, differences, correlation**

I. Vladimirova, Yu. Gabsatarov, N. Shchevieva  
Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow, Russia

The first two decades of the XXI century were marked by the world seismic activation – during this period many seismogenic zones of the Earth underwent the strongest earthquakes with magnitudes exceeding 8. Thus, in the Chilean subduction zone, three such seismic events occurred in less than a six-year period: the Maule earthquake of 2010 ( $M_w=8.8$ ), the Iquique earthquake of 2014 ( $M_w=8.1$ ), and the Illapel earthquake of 2015 ( $M_w=8.3$ ). One of the most important tasks of geophysics is to elucidate the patterns and conditions of nucleation of such catastrophic events. The occurrence of a series of three earthquakes within one seismic generating structure connected by the unity of tectonic conditions, the availability of long-term data of satellite geodetic observations in the vicinity of the sources of these events, as well as the active development of numerical modelling methods and, especially, machine learning algorithms made it possible to carry out a comparative analysis of deformation processes preceding and accompanying each of the events. First of all, we studied the features of deformation of the overhanging plate edge in the vicinity of each of the earthquakes with the evaluation of variations in the deformation field and cluster analysis of the displacement field, which allowed us to identify anomalies that characterise the development of geodynamic processes in the subduction zone and features of the regional tectonic structure. Further, for each of the earthquakes an ensemble of models of distributed motions in the source zone in the preseismic, seismic and early postseismic periods was built. These models are the result of solving the corresponding inverse problems, which are reduced to minimising the discrepancies between satellite-measured displacements or velocities and modelled displacements or velocities. The influence of large geostructures belonging to the dipping oceanic plate and local structural disturbances of the continental plate edge on the geodynamic processes occurring in the vicinity of the focal zones was also studied. In order to analyse the peculiarities of the release of residual stresses after earthquakes, we analysed the spatial and depth distribution of their aftershocks. Such an integral approach to the study of seismotectonic deformations associated with the three strongest earthquakes in the Chilean subduction zone allowed us to identify similarities and differences in the development of geodynamic processes in the vicinity of their sources. The research was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation, project No. 24-27-00176.

---

## **Серия сильнейших землетрясений начала XXI в. в Чили: сходства, различия, взаимосвязь**

И. С. Владимирова, Ю. В. Габсатаров, Н. С. Щевьёва  
Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия

Первые два десятилетия XXI в. ознаменовались мировой сейсмической активизацией – в этот период многие сейсмогенные зоны Земли претерпели сильнейшие землетрясения, магнитуда которых превысила 8. Так, в Чилийской зоне субдукции менее чем за шестилетний период произошло сразу три таких сейсмических события: землетрясение Мауле 2010 г. ( $M_w=8.8$ ), землетрясение Икике 2014 г. ( $M_w=8.1$ ) и землетрясение Ильяпель 2015 г. ( $M_w=8.3$ ). Одной из важнейших задач геофизики является выяснение закономерностей и условий зарождения подобных катастрофических событий. Возникновение серии из трех землетрясений в пределах одной сейсмогенерирующей структуры, связанной единством тектонических условий, наличие многолетних данных спутниковых геодезических наблюдений в окрестности очагов этих событий, а также активное развитие методов численного моделирования и, особенно, алгоритмов машинного обучения сделало возможным проведение сравнительного анализа деформационных процессов, предворяющих и сопровождающих каждое из событий. Прежде всего, нами были изучены особенности деформирования края нависающей плиты в окрестности каждого из землетрясений с оценкой вариаций поля деформации и проведением кластерного анализа поля смещений, которые позволили выделить аномалии, характеризующие развитие геодинамических процессов в зоне субдукции и особенности регионального тектонического строения. Далее, для каждого из землетрясений был построен ансамбль моделей распределенных подвижек в очаговой зоне в предсейсмический, сейсмический и ранний постсейсмический периоды. Эти модели являются результатом решения соответствующих обратных задач, сводящихся к минимизации невязок между измеренными спутниковыми методами и смоделированными смещениями или скоростями. Также было изучено влияние крупных геоструктур, принадлежащих погружающейся океанической плите и локальных структурных нарушений края континентальной плиты на геодинамические процессы, протекающие в окрестностях очаговых зон. Для того, чтобы проанализировать особенности высвобождения остаточных напряжений после землетрясений, нами был проведен анализ пространственного и глубинного распределения их афтершоков. Такой интегральный подход к изучению сеймотектонических деформаций, связанных сразу с тремя сильнейшими землетрясениями в Чилийской зоне субдукции, позволил выявить сходства и различия в развитии геодинамических процессов в окрестностях их очагов. Исследования выполнены при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 24-27-00176.

## Quantum space accelerometer for Arctic gravity field research

R. Davlatov, S. Donchenko, V. Fateev  
VNIIFTRI, Solnechnogorsk, Russia

At present, projects on monitoring of the Earth's global gravity field using space-based measurement tools are being actively developed. The advantages of this approach include the possibility of monitoring hard-to-reach areas, for example, the Arctic territories of the Russian Federation. In particular, this will make it possible to clarify natural resource reserves, ensure the safety of cargo transportations along the Northern Sea Route, etc. Space projects on estimation of gravity field parameters usually consist of several satellites (GRACE, GRACE-FO). High-precision measurements of the relative motion parameters of the satellites are carried out, which makes it possible to calculate the parameters of the Earth's gravity field. One of the important scientific instruments on the spacecraft is the accelerometer, which measures active accelerations due to light pressure, atmospheric deceleration, etc. affecting the spacecraft. Estimation of gravity field parameters in space requires compensation of active accelerations no worse than  $10^{-9} \text{ m/s}^2$ . Such accuracy can be achieved by using an optical interferometric device. In this work, a single-frequency polarisation-type interferometer was proposed. In the accelerometer layout, a suspended body with a corner reflector is used as a sensing element. The acceleration is reproduced by a perturbing body placed on a precision piezo element. Thus, the sensing element is affected only by gravitational influence, the value of which is determined by the distance between the perturbing body and the sensing element, as well as their masses. During the experiment, test signals of different frequency and amplitude are generated using a high-voltage signal generator, which are then applied to the piezo element. For different frequencies, the magnitude of gravitational influence on the sensing element was estimated and experimentally measured using an interferometer in the frequency range of 1 to 200 Hz. Thus, the resolution of the interferometric layout for measuring accelerations is of the order of units  $10^{-9} \text{ m/s}^2$ , which satisfies the requirements for estimating the parameters of the cosmic gravity field. The work was supported by grants of the Russian Science Foundation No. 23-67-10007, <https://rscf.ru/en/project/23-67-10007/>

---

## Квантовый космический акселерометр для исследования гравитационного поля Арктики

Р. А. Давлатов, С. С. Донченко, В. Ф. Фатеев  
ВНИИФТРИ, Солнечногорск, Россия

В настоящее время активно развиваются проекты по мониторингу глобального гравитационного поля Земли с использованием космических средств измерений. К преимуществам такого подхода можно отнести возможность мониторинга труднодоступных районов, например, арктических территорий Российской Федерации. В частности, это позволит уточнить запасы природных ресурсов, обеспечить безопасность грузоперевозок по Северному морскому пути и т.д. Космические проекты по оценке параметров гравитационного поля обычно состоят из нескольких спутников (GRACE, GRACE-FO). При этом выполняются высокоточные измерения параметров относительного движения спутников, что позволяет рассчитать параметры гравитационного поля Земли. Одним из важных научных приборов на космическом аппарате является акселерометр, который измеряет активные ускорения, обусловленные световым давлением, торможением атмосферы и т. д., воздействующими на космический аппарат. Оценка параметров гравитационного поля в космосе требует компенсации активных ускорений не хуже  $10^{-9} \text{ м/с}^2$ . Такую точность можно достичь при использовании оптического интерферометрического устройства. В данной работе было предложено использовать одночастотный интерферометр поляризованного типа. В макете акселерометра в качестве чувствительного элемента использовано подвешенное тело с угловым отражателем. Ускорение воспроизводится с помощью возмущающего тела, помещенного на прецизионный пьезоэлемент. Таким образом, на чувствительный элемент оказывает влияние только гравитационное воздействие, значение которого определяется расстоянием между возмущающим телом и чувствительным элементом, а также их массами. В ходе эксперимента с использованием высоковольтного генератора сигналов генерируются тестовые сигналы различной частоты и амплитуды, которые затем подаются на пьезоэлемент. Для разных частот величина гравитационного воздействия на чувствительный элемент была оценена и экспериментально измерена с помощью интерферометра в диапазоне частот от 1 до 200 Гц. Таким образом, разрешение интерферометрического макета для измерения ускорений составляет порядка единиц  $10^{-9} \text{ м/с}^2$ , что удовлетворяет требованиям для оценки параметров космического гравитационного поля. Работа выполнена при поддержке грантов Российского научного фонда № 23-67-10007, <https://rscf.ru/en/project/23-67-10007/>

## Extreme events in the Western Pacific-East Asia region

L. Mitnik, A. Baranyuk, V. Kuleshov, M. Mitnik

V. I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia

May-December 2023 and January-May 2024 were the warmest months since the beginning of instrumental observations in 1850. May 2024 was globally warmer than any previous May in the history of observations. The increase in atmospheric concentrations of carbon dioxide and methane causes an increase in air temperature, temperature and sea level, and water vapour content in the atmospheric column. Daily information on the fields of key climatic variables on a global scale, obtained from satellite active (radar) and passive (radiometric) measurements in the microwave (MW) range, is needed for parameter estimation and monitoring of extreme events. Global warming is accelerating, manifested by an increase in the number and intensity of tropical and deep extratropical cyclones, precipitation, floods, heat waves, droughts, etc., which are increasing. As the ocean surface temperature (OST) increases, the average rainfall of typhoons increases and they become more destructive. This paper considers the application of MB data in the study of extreme events in the Western Pacific-East Asia region. TPO in this region has been the highest ever recorded, and Asia has been warming faster than the global average, as noted in the WMO State of the Asia Climate Report 2023. Using passive MV data obtained by AMSR2, GMI and MTVZA-GYA multi-frequency scanning radiometers over super typhoons Hagibis (2019), Hinnamon (2022), Khanum (2023), etc. and over explosive cyclones, the fields of driving wind, precipitation, cloud water storage and atmospheric vapour content were reconstructed, and zones of deep convection in the atmosphere were determined. Data processing and determination of the atmosphere and ocean parameters were performed using improved algorithms. Information on driving wind speed, precipitation and floods was obtained from rain radar (GPM satellite) and SAR measurements from Sentinel-1, Radarsat-2 and ALOS-2 satellites. For data interpretation, visible and infrared images from Aqua and Terra satellites, readings from meteorological stations and radiosondes, and weather maps were used. When analysing the data and the results of modelling of MB radiation transport, the increasing role of radiation scattering in the brightness temperature registered from space is shown. In the study of extreme weather systems, high informativity of measurements in the region of the water vapour line centred at 183.31 GHz is noted.

---

## Экстремальные явления в регионе "Западная часть Тихого океана – Восточная Азия"

Л. М. Митник, А. В. Баранюк, В. П. Кулешов, М. Л. Митник

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток, Россия

Май – декабрь 2023 и январь – май 2024 г. оказались самыми теплыми месяцами с начала инструментальных наблюдений в 1850 г. Май 2024 г. в глобальном масштабе был теплее, чем любой предыдущий май за всю историю наблюдений. Рост концентрации в атмосфере углекислого газа и метана вызывает повышение температуры воздуха, температуры и уровня моря, содержания водяного пара в толще атмосфере. Для оценки параметров и мониторинга экстремальных явлений необходимы ежедневные сведения о полях ключевых климатических переменных в глобальном масштабе, получаемые по спутниковым активным (радиолокационным) и пассивным (радиометрическим) измерениям в микроволновом (МВ) диапазоне. Глобальное потепление ускоряется, что проявляется в увеличении количества и интенсивности тропических и глубоких внутритропических циклонов, осадков, наводнений, волн жары, засух и др. С ростом температуры поверхности океана (ТПО) увеличивается среднее количество осадков в тайфунах, и они становятся все более разрушительными. В работе рассмотрено применение МВ данных при исследовании экстремальных явлений в регионе Западная часть Тихого океана – Восточная Азия. ТПО в этой области была самой высокой за всю историю наблюдений, а Азия теплела быстрее, чем в среднем по миру, что отмечено в докладе ВМО о состоянии климата Азии в 2023 г. В последние годы здесь наблюдался заметный рост экстремальных явлений. По пассивным МВ данным, полученным многочастотными сканирующими радиометрами AMSR2, GMI и MTVZA-ГЯ над супертайфунами Hagibis (2019), Hinnamon (2022), Khanum (2023) и др. и над взрывными циклонами были восстановлены поля приводного ветра, осадков, водозапаса облаков и паросодержания атмосферы, определены зоны глубокой конвекции в атмосфере. Обработка данных и определение параметров атмосферы и океана выполнялись по усовершенствованным алгоритмам. Сведения о скорости приводного ветра, осадках, наводнениях были получены по измерениям дождевого радиолокатора (спутник GPM) и PCA со спутников Sentinel-1, Radarsat-2 и ALOS-2. Для интерпретации данных привлекались видимые и ИК-изображения со спутников Aqua и Terra, показания метеостанций и радиозондов, карты погоды. При анализе данных и результатов моделирования переноса МВ излучения показано возрастание роли рассеяния излучения в регистрируемую из космоса яркостную температуру. При исследовании экстремальных погодных систем отмечена высокая информативность измерений в области линии водяного пара с центром на частоте 183,31 ГГц.

## **Determination of spectral parameters for earthquakes of the Kliuchevskoi group of volcanoes**

A. Molokova, A. Skorkina

Institute of earthquake prediction theory and mathematical geophysics RAS, Moscow, Russia

In 2015-2016, 83 autonomous seismic stations were installed in the area of the Kliuchevskoi Group of Volcanoes (KGV) for a period of 1 year as part of the KISS experiment. In this paper, the data obtained from these stations were used to analyse the focal parameters of KGV earthquakes. Traditionally, volcanic earthquakes are divided into two main types: high-frequency (HF) and long-period (LP). Most HF earthquakes are caused by shear failure or fault slip occurring beneath volcanoes, while DP earthquakes are caused by processes directly occurring in the feeding magmatic system. In this work, we have estimated seismic moments using a spectral method based on the low-frequency site level of the amplitude displacement spectrum of bulk wave displacements for both types of events. For this purpose we selected records of one earthquake obtained from different stations with optimal signal-to-noise ratio, calculated their fast Fourier transform (time window 30 s from the first arrival, working frequency range – 0.5-15 Hz). The calculated spectrum was reduced to the conditions of a homogeneous elastic half-space by introducing corrections for geometric divergence and goodness-of-fit, and the level of the low-frequency area of the spectrum at zero frequency was estimated, and the seismic moment for an individual record was calculated. For seismic moment estimation, 146 volcanic earthquakes that participated in the first stage of the work were selected for processing using the spectral ratio method. A total of 92 individual seismic moment estimates were obtained: 36 for DP and 56 for HF. Further, the estimates were converted into moment magnitudes, after which they were compared with the regional magnitude estimates. The analysis showed that the ratio of moment and local magnitudes for the range  $M_w = 1-3$  is different for HF and DP earthquakes. The obtained results are important for forecasting of prepared eruptions, for seismic hazard assessment. The work was supported by RNF (grant No. 20-17-00180-P).

---

## **Определение спектральных параметров для землетрясений Ключевской группы вулканов**

А. П. Молокова, А. А. Скоркина

Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, Москва, Россия

В 2015–2016 гг. в районе Ключевской группы вулканов (КГВ) 83 автономных сейсмических станции были установлены сроком на 1 год в рамках эксперимента KISS. В данной работе для анализа очаговых параметров землетрясений КГВ использовались данные, полученные с этих станций. Традиционно вулканические землетрясения разделяют на два основных типа: высокочастотные (ВЧ) и длиннопериодные (ДП). Большинство ВЧ землетрясений вызваны сдвиговым разрушением или скольжением по разломам, происходящими под вулканами, ДП землетрясения – процессами, непосредственно происходящими в питающей магматической системе. В работе выполнена оценка сейсмических моментов с помощью спектрального метода по уровню низкочастотной площадки амплитудного спектра смещений объемных волн для обоих типов событий. Для этого подбирались записи одного землетрясения, полученные с разных станций с оптимальным соотношением сигнал-шум, рассчитывались их быстрое преобразование Фурье (временное окно 30 с от первого вступления, рабочий диапазон частот – 0.5–15 Гц). Рассчитанный спектр приводился к условиям однородного упругого полупространства путем введения поправок за геометрическое расхождение и добротность, и оценивался уровень низкочастотной площадки спектра на нулевой частоте, вычислялся сейсмический момент для индивидуальной записи. Для оценки сейсмического момента было выбрано 146 вулканических землетрясений, которые участвовали на первом этапе работ, при обработке методом спектральных отношений. Всего получено 92 индивидуальные оценки сейсмических моментов: 36 для ДП и 56 для ВЧ. Далее оценки были пересчитаны в моментные магнитуды, после чего проведено их сопоставление с оценками региональной магнитуды. Анализ показал, что соотношение моментной и локальной магнитуд для диапазона  $M_w = 1-3$  различается для ВЧ и ДП землетрясений. Полученные результаты важны для прогноза подготавливаемых извержений, для оценки сейсмической опасности. Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 20-17-00180-П).

## **Temporary seismological networks on Kuril-Kamchatka volcanoes: data processing**

S. Abramnikov, T. Stupina, N. Belovezhec, I. Koulakov

Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

The Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia

Skoltech, Moscow, Russia

More than a decade ago our scientific group (under the lead of Ivan Koulakov) started a long-running series of projects with deployment of temporary seismological networks on active volcanoes: first on Kamchatka Peninsula and later also on Kuril Islands. The general idea in essence stayed the same since 2012 up to this day. In a summer we install several autonomous broadband stations (usually around 20) for one-year period on a volcanic edifice and in surrounding area – the following summer we download continuous seismic records from the inner flash-memory and move equipment on another volcano. Processing and analysis of a temporary seismological network data supplemented by information from the permanent network (maintained by Kamchatka Branch of Geophysical Survey) opens up a way for detailed research about a particular volcano complex inner structure. Nowadays, the total amount of initial seismic records obtained by our team in the scope of these projects approaching first terabytes. Usually individual researchers and groups within the team as well as our colleagues tend to use various approaches and processing workflows, so these few terabytes of initial waveforms may extend in size further rather quickly. In this context we decided to develop a unified pipeline of data processing that will help balancing computational and storage cost. Many years of dedicated work now has to be organized to achieve next level of understanding and the uniqueness of data we working on is a huge factor in this endeavour. Volcano seismology does not have many examples of such datasets – contrary to traditional global tectonic seismology with vast catalogs of events and easy open access to waveforms. By unifying processing pipeline we may open a route to serious systematic approach with good perspective of the state-of-art machine learning applications – not for the trendiness but for real useful results.

---

## **Временные сейсмологические сети на вулканах Курильской и Камчатской гряды: обработка данных**

С. Абраменков, Т. Ступина, Н. Беловежек, И. Кулаков

Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия

Сколтех, Москва, Россия

Более десяти лет назад наша научная группа (под руководством Ивана Кулакова) начала многолетнюю серию проектов по развертыванию временных сейсмологических сетей на действующих вулканах: сначала на полуострове Камчатка, а затем и на Курильских островах. Общая идея, по сути, остается неизменной с 2012 года и по сей день. Летом мы устанавливаем несколько автономных широкополосных станций (обычно около 20) на один год на вулканическом сооружении и в окрестностях – следующим летом мы загружаем непрерывные сейсмические записи из внутренней флеш-памяти и переносим оборудование на другой вулкан. Обработка и анализ данных временной сейсмологической сети, дополненные информацией из постоянной сети (поддерживаемой Камчатским филиалом Геофизической службы), открывают путь к детальному изучению внутреннего строения конкретного вулканического комплекса. В настоящее время общий объем первичных сейсмических записей, полученных нашей командой в рамках этих проектов, приближается к первым терабайтам. Обычно отдельные исследователи и группы внутри команды, а также наши коллеги используют различные подходы и рабочие процессы обработки, поэтому эти несколько терабайт исходных волновых форм могут довольно быстро увеличиваться в размерах. В связи с этим мы решили разработать единый конвейер обработки данных, который поможет сбалансировать затраты на вычисления и хранение. Для достижения следующего уровня понимания необходимо организовать многолетнюю работу, и унифицированность данных, с которыми мы работаем, является огромным фактором в этом начинании. В вулканической сейсмологии не так много примеров таких наборов данных – в отличие от традиционной глобальной тектонической сейсмологии с огромными каталогами событий и легким открытым доступом к волновым формам. Унифицировав конвейер обработки, мы можем открыть путь к серьезному систематическому подходу с хорошей перспективой применения современного машинного обучения – не ради модных тенденций, а ради реальных полезных результатов.

## **Use of climate and geospatial data in the assessment of green energy potential and design of renewable energy systems**

P. Buchtский, S. Onishchenko, S. Teploukhov  
Adyghe State University, Maykop, Russia

The modern development of energy systems has led to the emergence of smart distribution networks combining several different energy sources, such as renewable, hydrocarbon and hydropower, which leads to the need to optimise the distribution of generation capacity between consumers, taking into account specific consumption profiles and emerging peak loads. The integration of 'green' energy sources makes it possible to implement hybrid and autonomous energy systems, which is especially important in some regions, as well as to reduce the amount of harmful emissions into the atmosphere, but the variable nature of generation introduces additional difficulties in organising a stable supply to end consumers. To solve this problem, it is necessary to use RES assessment and forecasting models that allow not only to determine the most suitable locations for such energy systems, but also to determine the potential volumes of energy generation taking into account the seasonal characteristics of a particular location. However, the construction of such models requires the availability of large samples of climatic data that allow to fully assess the behaviour of a particular resource in the area under consideration. This paper proposes to consider existing open data sources and geo-information systems, the use and integration with which will allow for a preliminary assessment of the RES potential and management of distributed energy systems through the realisation of short-term forecasts. However, such data sources have various limitations and uncertainties caused by limited spatial and temporal coverage (due to the inaccessibility of some settlements), which can be eliminated through the implementation of mobile autonomous systems for climate data collection, allowing not only to obtain sets of climatic parameters, but also information on the functioning of the operating energy system, which makes it possible to assess the theoretical and technical potential of the used type of 'green' energy.

---

## **Использование климатических и геопространственных данных при оценке потенциала «зеленой энергии» и проектировании энергетических систем с ВИЭ**

П. Ю. Бучацкий, С. В. Онищенко, С. В. Теплоухов  
Адыгейский государственный университет, Майкоп, Россия

Современное развитие энергетических систем привело к появлению интеллектуальных распределительных сетей, сочетающих в себе несколько различных источников энергии, таких как возобновляемая, углеводородная и гидроэнергетика, что приводит к необходимости оптимального распределения генерируемых мощностей между потребителями с учетом особенностей профилей потребления и возникающих пиковых нагрузок. Интеграция «зеленых» источников энергии позволяет реализовать гибридные и автономные энергетические системы, что особенно актуально в ряде регионов, а также снизить количество вредных выбросов в атмосферу, однако переменчивый характер генерации вносит дополнительные трудности при организации стабильного снабжения конечного потребителя. Для решения этой проблемы необходимо использовать модели оценки и прогнозирования ВИЭ, позволяющие не только определить наиболее подходящие места для размещения подобных энергетических систем, но и определить потенциальные объемы генерации энергии с учетом сезонных особенностей конкретной местности. Однако, построение подобных моделей требует наличия больших выборок климатических данных, позволяющих в полной мере оценить характер поведения того или иного ресурса в рассматриваемой области. В работе предлагается рассмотреть существующие открытые источники данных и геоинформационные системы, использование и интеграция с которыми позволит произвести предварительную оценку потенциала ВИЭ и осуществлять управление распределенными энергетическими системами, посредством реализации краткосрочных прогнозов. Но такие источники данных имеют различные ограничения и неопределенности, вызванные ограниченным пространственно-временным охватом (в силу труднодоступности некоторых населенных пунктов), которые могут быть устранены за счет реализации мобильных автономных систем по сбору климатических данных, позволяющих не только получить наборы климатических параметров, но и сведения о функционировании эксплуатируемой энергетической системы, что дает возможность оценки теоретического и технического потенциала используемого вида «зеленой» энергии.

## **Building regional integrated models with GIS INTEGRO tools**

M. Finkelstein, V. Spiridonov, E. Bolshakov, A. Shumikhin  
All-Russian research geological oil institute (VNIGNI), Moscow, Russia

For the regional stage of geological exploration, characterised by single wells and rather low density of seismic profiles, the distances between which reach several tens of km, it is relevant to combine seismic and gravimetry data in solving the problem of building a spatial model of the environment. A variant of solution of this problem is offered on the basis of INTEGRO geoinformation system tools. The INTEGRO GIS software system is created, supported and developed by the team of employees of the Geoinformatics Department of VNIGNI FGBU. In INTEGRO GIS the methods of solving direct and inverse problems of gravity and magnetic exploration for grid models are implemented. However, the model built by solving the inverse problem is only one of many due to the principle of equivalence and, as a rule, does not agree with other data. Therefore, it is necessary to select a suitable model more carefully, checking with the solution of the forward problem whether it fits the observed field and whether the results are consistent with well and seismic data. It is selected in the class of layered or gradient-layered models with consideration of embeddings. INTEGRO GIS has developed a range of tools for such fitting. A set of tools has been created that allow to determine velocity characteristics from all available seismic and borehole data, which makes it possible to go from time seismic sections to depth sections and vice versa, and thus to adequately match seismic and borehole data. Particularly complicated is the issue of determining the form of embedding. For this purpose, the system contains the so-called fitting method, which starts from geometric primitives (a set of ellipsoids) and then step-by-step approaches the shape of embedding, with the criterion of the correctness of the fitting direction being the reduction of the discrepancy between the field calculated from the model and the observed field. This approximation occurs when the utility takes into account a set of user-defined constraints based on seismic information. In addition, the geologist, analysing the results of the iterations, can stop not at the last one, but at the one that seems to him more adequate, or start the process again by changing the constraints. Such a selection could be performed on a desktop computer in a reasonable amount of time, using a video card and parallelisation of computations. The developed technology of integrating all available information when building a volumetric model has been successfully tested in the territory of the Yenisei-Khatanga regional trough.

---

## **Построение региональных комплексных моделей инструментами ГИС INTEGRO**

М. Я. Финкельштейн, В. А. Спиридонов, Е. М. Большаков, А. С. Шумихин  
Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт (ВНИГНИ), Москва, Россия

Для регионального этапа ГРП, характеризующегося единичными скважинами и достаточно низкой плотностью сейсмических профилей, расстояния между которыми достигают нескольких десятков км, актуальным является объединение данных сейсморазведки и гравиметрии в решении задачи построения пространственной модели среды. Вариант решения этой задачи предлагается на основе инструментария геоинформационной системы INTEGRO. Программный комплекс ГИС INTEGRO создан, поддерживается и развивается коллективом сотрудников отделения Геоинформатики ФГБУ «ВНИГНИ». В ГИС INTEGRO реализованы методы решения прямых и обратных задач грави- и магниторазведки для сеточных моделей. Однако модель, построенная с помощью решения обратной задачи, является лишь одной из многих из-за принципа эквивалентности и, как правило, не согласуется с другими данными. Поэтому приходится подбирать подходящую модель более аккуратно, проверяя с помощью решения прямой задачи, соответствует ли она наблюдаемому полю, а также согласуются ли результаты с скважинными и сейсмическими данными. Подбирается она в классе слоистых или градиентно-слоистых моделей с учетом внедрений. В ГИС INTEGRO разработан целый спектр инструментов для такого подбора. Создан набор инструментов, позволяющих определять скоростные характеристики по всем имеющейся сейсмической и скважинной информации, что позволяет переходить от временных сейсмических разрезов к глубинным и наоборот и, тем самым адекватно согласовывать сейсмическую и скважинную информацию. Особенно сложным является вопрос определения формы внедрения. Для этого в системе присутствует так называемый монтажный метод, который стартует от геометрических примитивов (набора эллипсоидов), а затем пошагово приближает к форме внедрения, причем критерием правильности направления подбора служит уменьшение невязки между полем, рассчитанным от модели, и наблюдаемым полем. Это приближение происходит при учете утилитой набора заданных пользователем ограничений, базирующихся на сейсмической информации. Кроме того, геолог, анализируя результаты итераций, может остановиться не на последней, а на той, которая кажется ему более адекватной, или запустить процесс заново, изменив ограничения. Такой подбор удалось осуществить на настольном компьютере в разумное время, используя видеокарту и распараллеливание вычислений. Разработанная технология комплексирования всей имеющейся информации при построении объемной модели успешно опробована на территории Енисей-Хатангского регионального прогиба.

## Application of induction-dynamic drive in pulse seismic sources

E. Glibin, A. Pryadilov, A. Shevtsov, K. Uzbekov  
Togliatti State University, Togliatti, Russia

Pulsed seismic sources are designed to create an impulsive mechanical impact on the ground, creating seismic waves. Reflecting from the interfaces in the ground, these waves are picked up by sensors located on the surface and after complex mathematical processing make it possible to draw conclusions about the structure of the earth. The wave formed in the ground depends on the properties of the ground itself, as well as the amplitude, shape and duration of the mechanical impact created on the ground. Electromagnetically driven seismic sources (e.g., Geoton, Yenisei-SEM, Yenisei-KEM) are now widely used in pulse non-explosive seismic exploration. Their main power element is an electromagnetic drive that creates a force on the ground when a current pulse is fed into its winding. Such drives have a number of both advantages and disadvantages. To improve the operational characteristics of pulse seismic sources, it is possible to use an induction-dynamic drive (IDD). Structurally, the IDD consists of a coil 1 and a copper ring 2 coupled with it. When passing through coil 1 a current pulse from a special power supply system around the coil creates a magnetic flux  $F$ , which tends to pass between coil 1 and ring 2. This is due to the presence of magnetic coupling with copper ring 2, which induces an induced current  $I_2$ , which has the opposite direction to the current  $I_1$ , and it in turn reduces the magnetic flux outside the ring, concentrating it in the gap. When the currents  $I_1$  and  $I_2$  flow, a force pushing the coil and the copper ring occurs, where  $M$  is the mutual inductance between the coil and the ring,  $x$  is the relative position of the coil and the copper ring. The disadvantage of the considered ADP (in comparison with the above-mentioned electromagnetic drive) is a lower efficiency, which should be compensated by a more powerful power supply system and capacitive storage  $C$ . Nowadays this is possible due to the emergence of higher capacity capacitors and progress in the field of electronics. The main advantage of the PDE is the ability to generate a significantly higher amplitude and shorter duration ground force with the same weight and dimensions of the actuator. The prospect of using this type of actuator makes it possible to increase the amplitude and width of the spectrum of created oscillations, which is an urgent task, as it makes it possible to obtain better seismic material.

---

## Применение индукционно-динамического привода в импульсных сейсмоисточниках

Е. С. Глибин, А. В. Прядилов, А. А. Шевцов, К. Х. Узбекиков  
Тольяттинский государственный университет, Тольятти, Россия

Импульсные сейсмоисточники предназначены для создания на грунт импульсного механического воздействия, создающего сейсмические волны. Отражаясь от границ раздела сред в грунте, эти волны улавливаются расположенными на поверхности датчиками и после сложной математической обработки дают возможность делать выводы о строении земли. Формируемая в грунте волна зависит от свойств самого грунта, а также амплитуды, формы и длительности создаваемого на грунт механического воздействия. В настоящее время широкое применение в импульсной невзрывной сейсморазведке нашли широкое практическое применение сейсмоисточники с электромагнитным приводом (например, Геотон, Енисей-СЭМ, Енисей-КЭМ). Их основным силовым элементом является электромагнитный привод, создающий усилие на грунт при подаче импульса тока в его обмотку. Такие привода обладают рядом как достоинств, так и недостатков. Для улучшения эксплуатационных характеристик импульсных сейсмоисточников возможно применение индукционно-динамического привода (ИДП). Конструктивно ИДП состоит из катушки 1 и сопряженного с ней медного кольца 2. При пропускании по катушке 1 импульса тока от специальной системы питания вокруг катушки создается магнитный поток  $\Phi$ , который стремится пройти между катушкой 1 и кольцом 2. Это объясняется наличием магнитной связи с медным кольцом 2, в котором наводится индуцированный ток  $I_2$ , имеющий противоположное относительно тока  $I_1$  направление, а он в свою очередь уменьшает магнитный поток за пределами кольца, концентрируя его в зазоре. При протекании токов  $I_1$  и  $I_2$  возникает расталкивающая катушку и медное кольцо сила, где  $M$  – взаимдуктивность между катушкой и кольцом,  $x$  – относительное положение катушки и медного кольца. Недостатком рассмотренного ИДП (по сравнению с вышеупомянутым электромагнитным приводом) является меньший КПД, что должно быть компенсировано более мощной системой питания и емкостным накопителем  $C$ . В настоящее время это стало возможным благодаря появлению более емких конденсаторов и прогрессу в области электроники. Основными достоинством ИДП является возможность создавать значительно большее по амплитуде и короткое по длительности усилие на грунт при той же массе и габаритах привода. Перспектива применения данного типа привода дает возможность увеличить амплитуду и ширину спектра создаваемых колебаний, что является актуальной задачей, поскольку позволяет получать более качественный сейсмический материал.

## **IKI-Monitoring – a platform for working with remote sensing data**

E. Loupian, M. Burtsev, A. Proshin, I. Balashov  
Russian Space Research Institute (IKI) RAS, Moscow, Russia

In recent decades, there has been a sharp increase in the scientific and applied tasks for which Earth remote sensing data are used. This is due both to the growth in the quantity and quality of Earth observation satellite systems and in the availability of data obtained from them, and to the development of methods and technologies for their processing. This has led to an explosive (exponential) growth in the information available to solve scientific and applied problems. In order to ensure the effective use of the new opportunities, it was necessary to develop new approaches that would provide researchers and developers not only with convenient access to satellite data and the results of their processing, but also with tools and powerful distributed computing resources for their processing and analysis. As the experience of recent years has shown, the solution of these problems can be provided by creating powerful (sometimes distributed) systems that provide collection, archiving, processing and, most importantly, the possibility of distributed analysis and processing of satellite data using computing power provided by these systems. The most famous foreign systems that are developing in this direction include Google Earth Engine or Microsoft Planetary Computer. In Russia, a vivid example of successful creation and operation of such systems is the Centre for collective use of satellite data archiving, processing and analysis systems of the Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences for solving problems of environmental studies and monitoring (IKI-Monitoring, <http://ckp.geosmis.ru/>), established in 2012. The Centre is based on the technologies developed by the Institute of Space Research of the Russian Academy of Sciences, which ensure the creation and support of systems for working with ultra-large distributed satellite data archives and formed and constantly updated data archives of various satellite systems (today their volume in direct access exceeds 7 PB). During the period of its operation, the IKI-Monitoring CDC has demonstrated its efficiency and relevance. Its capabilities are now used by about 150 organisations and several dozens of scientific and applied information systems for remote monitoring. The report is devoted to the presentation of the main capabilities of the IKI-Monitoring CKP, description of its structure and solutions based on it, as well as review of the main current capabilities of the Centre, experience of their use and prospects of its development. The work was supported by the Ministry of Education and Science (theme ‘Monitoring’, state registration No. 122042500031-8).

---

## **ЦКП «ИКИ-Мониторинг» – платформа для работы с данными ДЗЗ**

Е. А. Лупян, М. А. Бурцев, А. А. Прошин, И. В. Балашов  
Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

В последние десятилетия наблюдается резкий рост научных и прикладных задач, для решения которых используются данные дистанционного зондирования Земли. Это связано как с ростом количества и качества спутниковых систем наблюдения Земли и доступности, получаемых с них данных, так и с развитием методов и технологий их обработки. Это привело к взрывному (экспоненциальному) росту информации, доступной для решения научных и прикладных задач. Для обеспечения эффективного использования появившихся возможностей потребовалась разработка новых подходов, которые должны были обеспечить исследователям и разработчикам не только удобный доступ к спутниковым данным и результатам их обработки, но и к инструментам и мощным распределенным вычислительным ресурсам для их обработки и анализа. Как показал опыт последних лет, решение данных задач можно обеспечить за счет создания мощных (иногда распределенных) систем, которые обеспечивают сбор, архивацию, обработку и, главное, возможность распределённого анализа и обработки спутниковых данных с использованием вычислительных мощностей, предоставляемых этими системами. К наиболее известным зарубежным системам, которые развиваются в этом направлении, можно отнести Google Earth Engine или Microsoft Planetary Computer. В России ярким примером успешного создания и работы таких систем является Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных Института космических исследований Российской академии наук для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды (ЦКП «ИКИ-Мониторинг», <http://ckp.geosmis.ru/>), созданный в 2012 году. В основе Центра лежат разработанные ИКИ РАН технологии, обеспечивающие создание и поддержку систем работы со сверхбольшими распределёнными архивами спутниковых данных и сформированные и постоянно обновляющиеся архивы данных различных спутниковых систем (сегодня их объем в непосредственном доступе превышает 7 Пб). За время работы ЦКП «ИКИ-Мониторинг» показал свою эффективность и востребованность. Его возможностями сегодня пользуются около 150 организаций и несколько десятков научных и прикладных информационных систем дистанционного мониторинга. Доклад посвящен представлению основных возможностей ЦКП «ИКИ-Мониторинг», описанию его структуры и решений, положенных в его основу, а также обзору основных текущих возможностей центра, опыта их использования и перспективам его развития. Работа выполнена при поддержке Минобрнауки (тема «Мониторинг», госрегистрация № 122042500031-8).

## **Distributed system of shipboard instrumental observations STMK**

S. Serovetnikov, E. Kozlovskiy, T. Alekseeva, E. Afanasieva  
Arctic and Antarctic Research Institute, Saint Petersburg, Russia

Objective. Development of the concept of the automated distributed system of field observations of ice and meteorological parameters from the shipboard. Methods and Results. The report gives a brief review of modern data sources for special hydrometeorological support (SHS) of marine operations in the Arctic basin and freezing seas. The issue of insufficient availability of in-situ observation data for existing SHMS systems is discussed. A general justification of the necessity to integrate the stream of operational data from in-situ observations to improve the quality and resolution of GMSO at the modern level is given. The concept of the automated distributed system of in-situ observations STMK (shipboard television-meteorological complex) is considered. Conclusions. The distributed automated system of in-situ observations of STMK allows to carry out transition from episodic local observations to operational large-scale system monitoring of key ice and meteorological parameters. As the designed system develops and spreads, the accuracy and detail of sea ice mapping, operational forecasting of ice conditions in active shipping areas and meteorological forecasts will increase significantly. The work was supported by the Russian Science Foundation, grant No. 23-17-00161.

---

## **Распределенная система судовых инструментальных наблюдений STMK**

С. С. Сероветников, Е.В. Козловский, Т. А. Алексеева, Е. В. Афанасьева  
Арктический и Антарктический Научно-Исследовательский Институт, Санкт-Петербург, Россия

Цель. Разработка концепции автоматизированной распределённой системы натуральных наблюдений за ледовыми и метеорологическими параметрами с борта судна. Методы и результаты. В докладе приводится краткий обзор современных источников данных для осуществления специального гидрометеорологического обеспечения (СГМО) морских операций в Арктическом бассейне и замерзающих морях. Рассматривается вопрос о недостаточной обеспеченности существующих систем СГМО данными натуральных наблюдений. Приводится общее обоснование необходимости интеграции потока оперативных данных натуральных наблюдений для повышения качества и разрешающей способности СГМО на современном уровне. Рассматривается концепция автоматизированной распределённой системы натуральных наблюдений STMK (судовой телевизионно-метеорологический комплекс). Выводы. Распределенная автоматизированная система натуральных наблюдений STMK позволяет осуществлять переход от эпизодических локальных наблюдений к оперативному широкомасштабному системному мониторингу ключевых ледовых и метеорологических параметров. По мере развития и распространения проектируемой системы значительно возрастет точность и детализация картирования морского льда, оперативного прогнозирования ледовой обстановки в зонах активного судоходства и метеорологических прогнозов. Работа поддержана Российским научным фондом, грант № 23-17-00161.

## VolSatView information system for comprehensive analysis of volcanic activity

O. Girina<sup>1</sup>, E. Loupian<sup>2</sup>, A. Sorokin<sup>3</sup>, L. Kramareva<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

<sup>2</sup>Russian Space Research Institute (IKI) RAS, Moscow, Russia

<sup>3</sup>Computing Center FEB RAS, Khabarovsk, Russia

<sup>4</sup>Far-Eastern Center of the FSBI «State Research Center of Space Hydrometeorology «PLANETA», Khabarovsk, Russia

The information system ‘Remote Monitoring of Kamchatka and Kuril Volcanoes Activity’ (IS VolSatView, <http://volcanoes.smislab.ru>) was created in 2012. Scientists of the Institute of Volcanology and Seismology (IV&S) of the Far East RAS, the Institute of Space Research (ISR) of the Russian Academy of Sciences, the Computing Centre (CC) of the Far East RAS and the Far Eastern Centre (FEC) of SIC Planeta, primarily to support the work of the Kamchatka Volcanic Eruption Response Team (KVERT) of the Institute of Volcanology and Seismology of the Far East RAS, which performs the functions of the Volcanological Observatory of Russia to provide information on volcanic activity in the Far East to the international air navigation community. The VolSatView IS, a unique Russian development that combines the advanced scientific competences of scientists in various fields of knowledge, is constantly being developed, and at different stages it has been supported by the Russian Foundation for Basic Research, the Russian National Foundation and the Russian Ministry of Education and Science. The VolSatView IS allows to carry out complex analysis of various data, including: satellite data (more than 50 different observation systems), meteorological data and instrumental information from ground-based observation networks, as well as to perform modelling of ash clouds propagation from volcanoes. The system has a large number of tools for distributed data processing, including near real-time monitoring of volcano activity, assessing the degree of danger of explosive eruptions for aviation and population. In addition to operational data, the system is able to work with data archives with a depth of more than 40 years. The VolSatView IS is used for fundamental studies of volcanism in Kamchatka and the Kurils, so over the past 12 years 65 eruptions of 15 volcanoes and more than 2000 individual explosive events have been comprehensively studied. The report will present the main features of the VolSatView IS and the experience of its application. It should be noted that during the implementation of the system and support of its operation it was possible to effectively use information resources of various Russian scientific centres and organizations, including: collective use centres ‘IKI-Monitoring’ (IKI RAS) and ‘Centre for Processing and Storage of Scientific Data of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences’ (VC of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences), as well as DC SIC ‘Planeta’ and IV&S of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences.

---

## Информационная система VolSatView для комплексного анализа активности вулканов

О. А. Гирина<sup>1</sup>, Е. А. Лупян<sup>2</sup>, А. А. Сорокин<sup>3</sup>, Л. С. Крамарева<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия

<sup>2</sup>Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

<sup>3</sup>Вычислительный центр ДВО РАН, Хабаровск, Россия

<sup>4</sup>ДЦ Научно-исследовательский центр «Планета», Хабаровск, Россия

Информационная система «Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил» (ИС VolSatView, <http://volcanoes.smislab.ru>) создана в 2012 г. учеными Института вулканологии и сейсмологии (ИВиС) ДВО РАН, Института космических исследований (ИКИ) РАН, Вычислительного центра (ВЦ) ДВО РАН и Дальневосточного центра (ДЦ) НИЦ «Планета» в первую очередь для обеспечения работ Камчатской группы реагирования на вулканические извержения (KVERT) ИВиС ДВО РАН, которая выполняет функции Вулканологической Обсерватории России по обеспечению информацией о вулканической деятельности на Дальнем Востоке международного аэронавигационного сообщества. ИС VolSatView, уникальная российская разработка, объединившая передовые научные компетенции ученых в различных областях знаний, постоянно развивается, на разных этапах она поддерживалась РФФИ, РНФ и Минобрнауки России. ИС VolSatView позволяет проводить комплексный анализ оперативно получаемой различной информации, в том числе: спутниковых данных (более 50 различных систем наблюдений), метеоданных и инструментальной информации наземных сетей наблюдений, а также выполнять моделирование распространения пепловых облаков от вулканов. В системе реализовано большое число инструментов, позволяющих вести распределенную обработку данных, в том числе, практически в реальном времени отслеживать активность вулканов, оценивая степень опасности эксплозивных извержений для авиации и населения. Наряду с оперативными данными, в системе реализована работа с архивами информации глубиной более 40 лет. С помощью ИС VolSatView проводятся фундаментальные исследования вулканизма Камчатки и Курил, так за прошедшие 12 лет было всесторонне изучено 65 извержений 15 вулканов и более 2000 отдельных эксплозивных событий. В докладе будут представлены основные особенности ИС VolSatView и опыт ее применения. Необходимо отметить, что при реализации системы и обеспечении ее работы удалось эффективно задействовать информационные ресурсы различных российских научных центров и организаций, в том числе: центров коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» (ИКИ РАН) и «Центр обработки и хранения научных данных ДВО РАН» (ВЦ ДВО РАН), а также ДЦ НИЦ «Планета» и ИВиС ДВО РАН.

## **New opportunities for mercury gas imaging in the surface atmosphere**

N. Mashyanov<sup>1</sup>, A. Shashko<sup>1</sup>, V. Ryzhov<sup>1</sup>, A. Ruhlov<sup>2</sup>, H. Perkins<sup>3</sup>, W. Barnes<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Lumex-marketing, Saint Petersburg, Russia

<sup>2</sup> British Columbia Geological Survey, Victoria, BC, Canada

<sup>3</sup> Anomalous Exploration, Squamish, BC, Canada

<sup>4</sup> Finlay Minerals Ltd., Vancouver, BC, Canada

Elevated mercury content in primary and secondary scattering halos is observed in the vast majority of endogenous ore and a number of hydrocarbon deposits. This is the reason for the high search informativeness of geochemical methods of prospecting for deposits on primary and secondary litho-, and atmochemical halos of mercury scattering. Widely used earlier gazortooth survey by subsurface air has a number of limitations in the presence of inhomogeneous loose sediments, rocky outcrops, watered surface. The report presents new possibilities of express gazortooth survey in the surface atmosphere in the search for ore deposits using portable Zeeman atomic absorption spectrometer RA-915M. The detection limit of the spectrometer is lower than the background mercury content in atmospheric air; measurements are carried out in real time with a time constant of 1 s. The works carried out in recent years at a number of ore deposits have shown the possibility of express detection of ore mineralisation zones and ore-controlling faults in closed areas by mercury gas halos in the surface air layer. Examples of surveying at polymetallic and gold-silver deposits under different geological and climatic conditions are given.

---

## **Новые возможности газортутной съемки в приземной атмосфере**

Н. Р. Машьянов<sup>1</sup>, А. Д. Шашко<sup>1</sup>, В. В. Рыжов<sup>1</sup>, А. С. Рухлов<sup>2</sup>, Н. Perkins<sup>3</sup>, W. Barnes<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Люмэкс-маркетинг, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> British Columbia Geological Survey, Victoria, BC, Canada

<sup>3</sup> Anomalous Exploration, Squamish, BC, Canada

<sup>4</sup> Finlay Minerals Ltd., Vancouver, BC, Canada

Повышенные содержания ртути в первичных и вторичных ореолах рассеяния отмечаются на подавляющем большинстве эндогенных рудных и в ряде углеводородных месторождений. Этим обусловлена высокая поисковая информативность геохимических методов поисков месторождений по первичным и вторичным лито-, и атмохимическим ореолам рассеяния ртути. Широко применявшаяся ранее газортутная съемка по подпочвенному воздуху имеет ряд ограничений при наличии неоднородных рыхлых отложений, скальных выходов, обводненности поверхности. В докладе представлены новые возможности экспрессной газортутной съемки в приземной атмосфере при поисках рудных месторождений с использованием портативного Зеemanовского атомно-абсорбционного спектрометра РА-915М. Предел обнаружения спектрометра ниже величины фонового содержания ртути в атмосферном воздухе; измерения проводятся в реальном времени с постоянной времени 1 с. Работы, проведенные в последние годы на ряде рудных месторождений, показали возможность экспрессного выявления на закрытых участках зон рудной минерализации и рудоконтролирующих разломов по газовым ореолам ртути в приземном слое воздуха. Приведены примеры съемки на полиметаллических и золотосеребряных месторождениях при различных геологических и климатических условиях.

## **Monitoring of sea ice characteristics to study ice navigation conditions**

T. Alekseeva, E. Makarov, V. Tikhonov, E. Afanasieva  
Arctic and Antarctic Research Institute, Saint Petersburg, Russia

In recent years, shipping along the Northern Sea Route (NSR) has come close to fulfilling its most important strategic objective – continuous year-round transit navigation. The capacity and ice-clearance of modern vessels already allow for winter navigation along the NSR, which was previously impossible, and this is evidenced by the ultra-early and ultra-late voyages that have been carried out since 2020. To ensure safe, efficient and economically viable year-round navigation along the NSR, new approaches to the development of specialised hydrometeorological support for marine operations and their planning are required. First of all, for transit crossings, long-term forecasts (up to 1 month in advance) and ultra-long-term forecasts (more than 1 month) are important, which are based on the search for suitable year-homologues according to certain criteria. The development of such techniques requires continuous monitoring of ice conditions of navigation, i.e. all sea ice characteristics affecting navigation, and the creation of the most complete multi-year database. This paper reviews the existing information necessary for analysing ice navigation conditions, relates the need for this information to the peculiarities of ice navigation and substantiates the necessity to develop satellite data processing techniques and various information products based on satellite data. The work was supported by the Russian Science Foundation, grant No. 23-17-00161.

---

## **Мониторинг характеристик морского льда для изучения условий ледового плавания**

Т. А. Алексеева, Е.И. Макаров, В. В Тихонов, Е. В. Афанасьева  
Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

В последние годы судоходство по Северному морскому пути (СМП) вплотную приблизилось к решению важнейшей стратегической задачи – к осуществлению непрерывного круглогодичного транзитного плавания. Мощность и ледопроемкость современных судов уже позволяет плавание по СМП в зимнее время, что ранее было невозможно, и этому свидетельство – сверхранние и сверхпоздние рейсы, осуществляемые с 2020 года. Для обеспечения безопасного, эффективного и экономически целесообразного круглогодичного плавания по СМП необходимы новые подходы к развитию специализированного гидрометеорологического обеспечения морских операций и их планирования. В первую очередь для транзитных переходов важны долгосрочные прогнозы (заблаговременностью до 1 месяца) и сверхдолгосрочные (более 1 месяца), которые основываются на поиске подходящих годов-гомологов по определенным критериям. Для развития таких методик требуется непрерывный мониторинг ледовых условий плавания, то есть всех характеристик морского льда, влияющих на судоходство, и создание максимально полной многолетней базы данных. В данной работе проводится обзор существующей информации, необходимой для анализа ледовых условий плавания, связывается необходимость данной информации с особенностями ледового плавания и обосновывается необходимость развития методик обработки спутниковых данных и различных информационных продуктов, построенных на основе спутниковых данных. Работа поддержана Российским научным фондом, грант № 23-17-00161.

## **Analyses of seismic activity characteristics in coal mines and mine sites**

K. Romanevich, S. Mulev, G. Taratinskiy, M. Pital'

VNIMI, Saint Petersburg, Russia

Chinakal Institute of Mining SB RAS, Novosibirsk, Russia

Seismic activity is monitored at many fields in mining areas around the world to control geodynamic processes. Operation of seismic monitoring systems makes it possible to identify hazardous zones, predict geodynamic phenomena, develop recommendations on the parameters and anchoring of mine workings, as well as manage geodynamic risk by means of shock control measures and selection of methods and directions of mining development. One of the tasks of seismic monitoring is an effective and early forecast of preparation of dangerous geodynamic processes and phenomena, in particular, the activation of rupture faults in the massif. The VNIMI Institute has developed the GITS seismic monitoring system, which is currently operating at 16 mines and mines. With its help, seismic M-surfaces are identified in the rock massif, which makes it possible to identify potentially hazardous areas of mine workings even during the formation of a rupture or at the initial stage of its activation, to take the necessary unloading measures, to reinforce the support, and to protect personnel.

---

## **Анализ характеристик сейсмической активности в угольных шахтах и на рудниках**

К. В. Романевич, С. Н. Мулев, Г. М. Таратинский, М. Н. Питаль

ВНИМИ, Санкт-Петербург, Россия

Институт горного дела СО РАН, Новосибирск, Россия

На многих месторождениях в горнодобывающих районах мира ведется мониторинг сейсмической активности для контроля геодинамических процессов. Эксплуатация систем сейсмомониторинга позволяет выявлять опасные зоны, прогнозировать геодинамические явления, разрабатывать рекомендации по параметрам и креплению горных выработок, а также управлять геодинамическим риском с помощью противоударных мероприятий и выбора методов и направлений развития горных работ. Одной из задач сейсмомониторинга является эффективный и заблаговременный прогноз подготовки опасных геодинамических процессов и явлений, в частности активизации разрывных нарушений в массиве. Институтом ВНИМИ разработана система сейсмомониторинга GITS, которая в настоящее время функционирует на 16 шахтах и рудниках. С ее помощью в массиве горных пород выделяются сейсмические М-поверхности, что дает возможность еще в процессе формирования разрывного нарушения или на начальном этапе его активизации определить потенциально опасные участки горных выработок, выполнить необходимые разгрузочные мероприятия, усилить крепь, обезопасить персонал.

## **Retrospective analysis of underlying surface spectral properties to assess the hydrological condition of a road-crossed bog**

D. Ilyasov, A. Kaverin, Yu. Kupriyanova, A. Sabrekov  
Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

Wetland ecosystems are a sink for CO<sub>2</sub> and a source of CH<sub>4</sub>, possibly due to the near-surface water table. The largest wetland region is Western Siberia, but seismic cuts, power lines, roads, and pipelines disrupt runoff, water transpiration, and bog vegetation properties [Saraswati S., Strack M, 2019]. The aim of this work was to retrospectively assess changes in spectral properties of a marsh area crossed by a road across water flow. The data obtained are necessary to account for the area of drainage and watering in interpreting the magnitude of CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> fluxes and plant phytomass. The study was conducted in an oligotrophic bog (N60°50'41" and E70°06'20") 58 km SW of Khanty-Mansiysk. In 2007, a road was built across the flow lines here. Three observation sites were laid down at the site: 1) watering (WB) – 15 m to the SW of the road 2) drying (DW) – 45 m to the NE 3) control (C) – 120 m to the NE. CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> fluxes, phytomass stocks and environmental factors were measured as in [Ilyasov D. V. et al., 2023]. Retrospective analysis of the dynamics of spectral characteristics was performed on the basis of median (June to September) Landsat images (L7 for 2000-2005; L5 for 2007-2011 and L8 for 2013-2021), for which indices were calculated in Google Earth Engine: NDWI, NDMI and MNDWI, GVMi, EVI and CVI. A comparison of spectral indices in two groups: before and after road construction was made in Matlab using the Mann-Whitney test. Pixels significantly different in spectral indices were classified into two classes ('decreasing' index and 'increasing' index) and mapped; then their location relative to the road was analysed. The following results were obtained: 1) most of the pixels characterised by significant changes in spectral index values since 2007 are located in the 300 m zone from the road 2) most of them were in the OS plot, and decreased after the road construction, indicating a decrease in moisture and chlorophyll reserves in leaves 3) average (spatially) significant ( $p \leq 0.05$ ) reduction in the value of indices in groups from 2000-2006 and 2007-2021 were -14, -23, -125, -43, -13 and -29% for NDWI, NDMI and MNDWI, GVMi, EVI and CVI, respectively. The work was performed under the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation to organise a youth laboratory at Ugra State University (NIR 1022031100003-5-1.5.1) within the framework of the national project 'Science and Universities'.

---

## **Ретроспективный анализ спектральных свойств подстилающей поверхности для оценки гидрологического состояния болота, пересеченного дорогой**

Д. В. Ильясов, А. А. Каверин, Ю. В. Куприянова, А. Ф. Сабреков  
Югорский Государственный Университет, Ханты-Мансийск, Россия

Болотные экосистемы являются поглотителем CO<sub>2</sub> и источником CH<sub>4</sub>, что возможно вследствие близкого к поверхности уровня воды. Крупнейшим заболоченным регионом является Западная Сибирь, однако просеки сейсморазведки, ЛЭП, дороги и трубопроводы нарушают сток, транспирацию воды, и свойства растительности болот [Saraswati S., Strack M, 2019]. Цель работы состояла в ретроспективной оценке изменения спектральных свойств участка болота, пересеченного дорогой поперек стока воды. Полученные данные необходимы для учета территории осушения и обводнения в интерпретации величины потоков CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> и фитомассы растений. Исследование проведено на олиготрофном болоте (N60°50'41" и E70°06'20") в 58 км к ЮВ от г. Ханты-Мансийск. В 2007 году поперек линий стока здесь была построена дорога. На участке заложили 3 сайта наблюдений: 1) обводнение (ОБ) – в 15 м к ЮЗ от дороги 2) осушение (ОС) – в 45 м к СВ 3) контроль (К) в 120 м к СВ. Потоки CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub>, запасы фитомассы и экологические факторы были измерены так же, как в [Ilyasov D. V. et al., 2023]. Ретроспективный анализ динамики спектральных характеристик выполнен на основе медианных (с июня по сентябрь) снимков Landsat (L7 за 2000-2005; L5 за 2007-2011 гг. и L8 за 2013-2021 гг.), для которых в Google Earth Engine были рассчитаны индексы: NDWI, NDMI и MNDWI, GVMi, EVI и CVI. В Matlab при помощи теста Манна-Уитни произведено сравнение спектральных индексов в двух группах: до и после строительства дороги. Значимо отличающиеся по величине спектральных индексов пиксели были распределены в два класса («снижение» индекса и «рост») и нанесены на карту; затем выполнен анализ их местоположения относительно дороги. Получены следующие результаты: 1) большая часть пикселей, характеризующихся значимо изменившимися с 2007 года величинами спектральных индексов расположены в 300-метровой зоне от дороги 2) большинство из них оказались на участке ОС, и снижались после строительства дороги, что говорит об уменьшении увлажнения и запасов хлорофилла в листьях 3) среднее (по пространству) значимое ( $p \leq 0.05$ ) сокращение величины индексов в группах с 2000-2006 и 2007-2021 гг. составило -14, -23, -125, -43, -13 и -29% для NDWI, NDMI и MNDWI, GVMi, EVI и CVI соответственно. Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по организации молодежной лаборатории в Югорском государственном университете (НИР 1022031100003-5-1.5.1) в рамках реализации национального проекта «Наука и университеты».

## **Remote control of hazardous processes at large industrial facilities**

A. Liseikin, V. Seleznev, E. Kosyakina

Seismological department of Geophysical Survey RAS, Novosibirsk, Russia

A low-cost method of remote control of hazardous processes at large industrial facilities using low-amplitude seismic signals has been developed. The source material is the data of long-term monitoring in real time by highly sensitive devices of seismic stations in the vicinity of several kilometres from the object of study. The methodology is based on spectral-temporal analysis using spectrograms of registered seismic noise. Special software SpectrumSeism was developed for their visualisation. The software is equipped with tools of scaling and navigation on the spectrogram, which allow to select and analyse time- and frequency-limited signals from the multitude of other signals contained in the seismic noise, as well as to promptly identify interfering signals. In the man-made component of seismic noise, low-amplitude signals are recorded as responses from mechanical vibrations (vibration of operating equipment, natural vibrations of buildings and technical structures) of various objects. They are characterised by certain frequencies and duration in time, which makes it possible to separate signals of some sources contained in seismic noise from others and to increase the signal-to-interference ratio. During the period of accident-free operation of an industrial facility, the characteristics of low-amplitude signals are regularly determined from the materials of multi-year seismic noise monitoring. This provides representative statistical information necessary to identify in real time anomalous emissions signalling the beginning of destructive processes at the facility. For example, the imbalance of rotating mechanisms is manifested in the growth of signal amplitudes at the frequency of their rotation. The frequencies of natural vibrations of structures reveal new effects associated with changes in the water level in HPP reservoirs (ambiguous dependencies during filling and operation of the reservoir), temperature fluctuations, the impact of earthquakes on the objects, leading presumably to the discharge of stresses, as well as multi-year changes caused by aging or consolidation of structures. Taking into account these factors allows to determine which changes in amplitudes and frequencies are dangerous and can lead to the destruction of the object, and which are not. This increases the reliability of real-time monitoring of the serviceability of operating equipment and the stability of structures, which is essential for preventing damage and analysing the causes of abnormal situations.

---

## **Дистанционный контроль опасных процессов на крупных промышленных объектах**

А. В. Лисейкин, В. С. Селезнев, Е. Э. Косякина

Сейсмологический филиал ФИЦ ЕГС РАН, Новосибирск, Россия

Разработана малозатратная методика дистанционного контроля опасных процессов на крупных промышленных объектах по малоамплитудным сейсмическим сигналам. Исходный материал – данные многолетнего мониторинга в реальном времени высокочувствительными приборами сейсмических станций в окрестности нескольких километров от объекта исследования. В основе методики лежит спектрально-временной анализ по спектрограммам зарегистрированного сейсмического шума. Разработано специальное программное обеспечение SpectrumSeism для их визуализации. Программа снабжена инструментами масштабирования и навигации по спектрограмме, позволяющими выделять и анализировать ограниченные во времени и частоте сигналы из множества других сигналов, содержащихся в сейсмическом шуме, а также оперативно выявлять сигналы-помехи. В техногенной составляющей сейсмического шума регистрируются малоамплитудные сигналы как отклики от механических колебаний (вибрации работающего оборудования, собственных колебаний зданий и технических сооружений) различных объектов. Они характеризуются определенными частотами и длительностью во времени, что позволяет отделять содержащиеся в сейсмическом шуме сигналы одних источников от других и повышать отношение сигнал/помеха. За период безаварийной эксплуатации промышленного объекта регулярно определяются характеристики малоамплитудных сигналов по материалам многолетнего мониторинга сейсмического шума. Это дает представительную статистическую информацию, необходимую для выявления в реальном времени аномальных выбросов, сигнализирующих о начавшихся разрушительных процессах на объекте. Так, дисбаланс вращающихся механизмов проявляется в росте амплитуд сигналов на частоте их вращения. По частотам собственных колебаний сооружений выявляются новые эффекты, связанные с изменением уровня воды в водохранилищах ГЭС (неоднозначные зависимости при наполнении и сработке резервуара), температурными колебаниями, воздействием на объекты землетрясений, приводящем предположительно к разрядке напряжений, а также многолетние изменения, вызванные старением или консолидацией сооружений. Учет этих факторов позволяет определять какие изменения амплитуд и частот опасны и могут привести к разрушению объекта, а какие нет. Это повышает достоверность контроля исправности работающего оборудования и устойчивости сооружений в реальном времени, остро необходимый для предотвращения разрушений и анализа причин нештатных ситуаций.

## **Modelling the temperature-dependent variability of seismic properties of frozen multi-phase media**

G. Reshetova, E. Romenski

Sobolev Institute of Mathematics SB RAS, Novosibirsk, Russia

A mathematical model for modelling wave fields in geological media with porous structures saturated with a mixture of liquid and gas, such as gas hydrates and permafrost, is presented. The model is used to study the variability of wave fields with temperature change and, as a consequence, the variability of the phase composition of a multiphase medium. Our study considers a three-phase model of a deformable porous medium consisting of an elastic skeleton, a fluid which may be in the state of ice or water, and a natural gas. The derivation of the model is based on the theory of Symmetric Hyperbolic Thermodynamically Compatible (SHTC) systems as applied to a three-phase mixture of solid, liquid and gas. The resulting governing equations are hyperbolic and satisfy the laws of irreversible thermodynamics – conservation of energy and entropy growth. Numerical examples are given to illustrate the peculiarities of wave propagation in media with different porosities and different liquid/gas ratios. The work is supported by the Mathematical Center in Akademgorodok under the agreement No. 075-15-2022-281 with the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

---

## **Моделирование температурно-зависимой изменчивости сейсмических свойств замороженных многофазных сред**

Г. Решетова, Е. Роменский

Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия

Представлена математическая модель для моделирования волновых полей в геологических средах с пористыми структурами, насыщенными смесью жидкости и газа, таких как газовые гидраты и вечная мерзлота. Модель используется для изучения изменчивости волновых полей при изменении температуры и, как следствие, изменчивости фазового состава многофазной среды. Рассматривается трехфазная модель деформируемой пористой среды, состоящей из упругого скелета, флюида, который может находиться в состоянии льда или воды, и природного газа. Вывод модели основан на теории симметричных гиперболических термодинамически совместимых систем (СГТС) применительно к трехфазной смеси твердого тела, жидкости и газа. Полученные управляющие уравнения являются гиперболическими и удовлетворяют законам необратимой термодинамики – сохранению энергии и росту энтропии. Приведены численные примеры, иллюстрирующие особенности распространения волн в средах с различной пористостью и различным соотношением жидкость/газ. Работа выполнена при поддержке Математического центра в Академгородке по договору № 075-15-2022-281 с Министерством науки и высшего образования Российской Федерации.

## **On the applicability of the concept of seismotectonic domains in the task of seismic hazard assessment**

R. Tatevossian

Schmidt Institute of physics of the Earth RAS, Moscow, Russia

The model of seismotectonic domains forms the basis for seismic hazard assessment at the level of General Seismic Zoning (GSZ). By definition, a seismotectonic domain is a volume of the Earth's crust identified by a set of seismic and tectonic features, in each subarea of which an earthquake with the maximum magnitude possible in the domain may occur. The model was developed in connection with the OSR-97 map and is still in use. The length of some selected linear structures on the map domains is over 1,300 kilometres; area structures are over 400,000 km<sup>2</sup>. Although the domain sometimes includes tens and hundreds of active faults of different strike and length, nevertheless, the entire domain is assigned one value of the maximum expected magnitude  $M_{max}$ . Seismological data show a pronounced individual character of strong earthquakes. Some are accompanied by aftershock series, in which the magnitude of the strongest aftershock is more than 2 units inferior to the magnitude of the main shock, in other series the difference is 0.1, so that their destructive consequences are comparable. Surface manifestations differ significantly. Even for strong earthquakes of equal magnitude, the maximum coseismic displacement at the surface can differ by several times. The kinematic manifestations also differ: sometimes movements along one fault cause similar movements along the conjugate structure, sometimes compensatory movements are manifested in swarm activity. Perhaps, the level of generalisation of the domain model is acceptable for an overview scale level, mainly for the purposes of territorial development planning or insurance policy, but the model is not seismotectonically justified. Its application for the development of design solutions may not be justified.

---

## **О применимости концепции сейсмотектонических доменов в задаче оценки сейсмической опасности**

Р. Э. Татевосян

Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

Модель сейсмотектонических доменов составляет основу оценки сейсмической опасности на уровне Общего Сейсмического Районирования (ОСР). По определению сейсмотектонический домен – это объем земной коры, идентифицированный по набору сейсмических и тектонических признаков, в каждой подобласти которой может возникнуть землетрясение с максимально возможной в домене магнитудой. Модель разрабатывалась в связи с картой ОСР-97 и продолжает использоваться. Протяженность некоторых выделенных линейных структур на карте доменов свыше 1 300 км; площадных – свыше 400 000 км<sup>2</sup>. Хотя в домен иногда попадают десятки и сотни активных разломов различного простирания и протяженности, тем не менее, всему домену приписывается одна величина максимальной ожидаемой магнитуды  $M_{max}$ . Сейсмологические данные показывают ярко выраженный индивидуальный характер сильных землетрясений. Одни сопровождаются афтершоковыми сериями, в которых магнитуда сильнейшего афтершока более, чем на 2 единицы уступает магнитуде главного толчка, в других сериях разница равна 0.1, так что их разрушительные последствия сопоставимы. Существенно различаются поверхностные проявления. Даже у сильных землетрясений равной магнитуды максимальное косейсмичное смещение на поверхности может отличаться в несколько раз. Различаются также кинематические проявления: иногда подвижки по одному разлому вызывают схожие движения по сопряженной структуре, иногда в роевой активности проявляются компенсационные движения. Возможно, уровень генерализации доменной модели приемлем для обзорного масштабного уровня, в основном для целей планирования территориального развития или выработки политики страхования, но сейсмотектонически модель не обоснована. Ее применение для разработки проектных решений может оказаться неоправданным.

## **Hydroinformatics as a framework for data management, modelling and analysis in water resources management**

V. Moreido, B. Gartsman, V. Suchilina, V. Tolkacheva, K. Golovnin, S. Iglin, A. Katsura,  
D. Solomatin

Water Problems Institute RAS, Moscow, Russia

Modern hydrology is based on a large number of observations of water bodies, geoinformation data on the characteristics of river catchments, and multi-scale mathematical models of water rotation on land. Effective integration of these components into water resources management systems, including prevention of dangerous hydrological processes, is the task of a special branch of hydrology, which has been called hydroinformatics for the last decades. With the increasing amount of available observational data and the development of information technologies, there is an urgent need to integrate them into hydrological practice, which is the primary task of hydroinformatics. The paper presents various aspects of the problems to be solved, including the design of hydrological data base management systems, geoinformation analysis of relief for the construction of hierarchical models of river networks, methods of river flow modelling (probabilistic and deterministic), methods of verification of modelling results and examples of building information systems combining all the above components. The examples are based on real projects carried out in the Hydroinformatics Laboratory of the Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences.

---

## **Гидроинформатика как основа для управления данными, моделирования и анализа при управлении водными ресурсами**

В. М. Морейдо, Б. И. Гарцман, В. Ф. Сучилина, В. Ф. Толкачева, К. И. Головнин,  
С. А. Иглин, А. А. Кацура, Д. П. Соломатин

Институт водных проблем РАН, Москва, Россия

Современная гидрология основана на большом количестве данных наблюдений за водными объектами, геоинформационных данных о характеристиках речных водосборов и разномасштабных математических моделях влагооборота на суше. Эффективное объединение указанных компонентов в системы управления водными ресурсами, в том числе предупреждения развития опасных проявлений гидрологических процессов – это задача особого направления гидрологии, на протяжении последних десятилетий именуемого гидроинформатикой. С увеличением объема доступных данных наблюдений и развитием информационных технологий остро встала необходимость интегрировать их в гидрологическую практику, что является первоочередной задачей гидроинформатики. В докладе представлены различные аспекты решаемых задач, в том числе проектирование систем управления базами гидрологических данных, геоинформационный анализ рельефа для построения иерархических моделей речных сетей, методы моделирования речного стока (вероятностного и детерминированного), методы верификации результатов моделирования и примеры построения информационных систем, объединяющих все перечисленные компоненты. Примеры основаны на реальных проектах, выполняемых в Лаборатории гидроинформатики Института водных проблем РАН.

## Locations of the strongest earthquakes in the Pacific Belt and Java Trough

A. Gorshkov, M. Semka

Institute of earthquake prediction theory and mathematical geophysics RAS, Moscow, Russia

The Pacific belt is the most seismically active region of the Earth, where up to 90% of all earthquakes recorded on the planet occur. The purpose of this work is to identify potential locations of M8.5+ earthquakes along the troughs of the Pacific Belt and the Java Trough. Potential meta-earthquakes with M8.2+ in the Pacific Belt were first identified in (Guisciani et al., 1978, 1981) using pattern recognition techniques. For the entire Pacific Rim, the strongest earthquake zones were established in (Schäfer and Wenzel 2019) using machine analysis, and in (Schellart and Rawlinson, 2013) using linear correlation of subduction zone parameters with seismicity. In this work, recognition of M8.5+ earthquake locations in the Pacific Belt and Java Trough was performed using parameters based on morphometric and gravio-magnetic data, as well as indicators of subduction zone geometry. The recognition set consisted of 209 objects, represented by circles of radius 300 km, whose centres are located along the deep-sea troughs at 300 km spacing. Parameter values were determined using the GeomapApp database. Geometric parameters of subduction zones were determined on the basis of 209 vertical seismofocal sections constructed for each recognition object. A recognition algorithm with Kora-3 training was used to recognise possible earthquake locations with M8.5+. The task is to divide 209 objects into class *B*, where M8.5+ earthquakes can occur, and class *H*, where events of this magnitude are impossible. Training of class *B* consisted of 24 objects, where according to NEIC catalogue known events *c* M8.5+. As a result, 76 sites out of 209 sites were classified as class *B*. The result is important for assessments of seismic and tsunami hazards in the studied region. This work was financially supported by RNF, grant No. 24-27-00246.

---

## Места сильнейших землетрясений в Тихоокеанском поясе и Яванском желобе

А. И. Горшков, М. А. Семка

Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, Москва, Россия

Тихоокеанский пояс является наиболее сейсмоактивной областью Земли, где происходит до 90 % всех фиксируемых на планете землетрясений. Цель работы – определить потенциальные места землетрясений с M8.5+ вдоль желобов Тихоокеанского пояса и Яванского желоба. Впервые в Тихоокеанском поясе потенциальные мета землетрясений с M8.2+ были определены в работах (Гвишиани и др., 1978, 1981) с помощью методов распознавания образов. Для всего Тихоокеанского кольца зоны сильнейших землетрясений установлены в (Schäfer and Wenzel 2019) с использованием машинного анализа, а в (Schellart and Rawlinson, 2013) с помощью линейной корреляции параметров зон субдукции с сейсмичностью. В этой работе распознавание мест землетрясений с M8.5+ в Тихоокеанском поясе и Яванском желобе проведено с использованием параметров, основанных на морфометрических и гравиио-магнитных данных, а также показателей геометрии зон субдукции. Множество объектов распознавания составили 209 объектов, представленные кругами радиуса 300 км, центры которых расположены вдоль глубоководных желобов с шагом в 300 км. Значения параметров определены по базе данных «ГеомарApp». Геометрические параметры зон субдукции определены на основе 209 вертикальных сейсмофокальных разрезов, построенных для каждого объекта распознавания. Для распознавания возможных мест землетрясений с M8.5+ использован алгоритм распознавания с обучением Кора-3. Задача – разделить 209 объектов на класс *B*, где могут происходить землетрясения M8.5+, и класс *H*, где события такой силы невозможны. Обучение класса *B* составили 24 объекта, где согласно каталогу NEIC известны события с M8.5+. В результате из 209 объектов к классу *B* отнесено 76 объектов. Результат важен для оценок сейсмической и цунами опасностей в изученном регионе. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, грант № 24-27-00246.

## **Prospects of seismological monitoring in Priamurie: citizen science and neural network methods of data processing**

V. Pupatenko<sup>1,2</sup>, A. Lyakh<sup>2</sup>, K. Drachev<sup>2</sup>, N. Grib<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Yu. A. Kosygin Institute of tectonics and geophysics FEB RAS, Khabarovsk, Russia

<sup>2</sup> Pacific National University, Khabarovsk, Russia

<sup>3</sup> Technical university North-Eastern Federal University, Neryungri, Russia

Along with the regions with dense networks of seismic stations, there are many seismically hazardous regions in Russia where the number of observation points is minimal. One of such regions is Priamurye. The seismic activity of the Priamurye territory is uneven over the area and is estimated from insignificant to moderate. At the same time, in most of the territory, the seismological observation network provides representative earthquake magnitude 2.5-3.0 (Safonov, 2018). The paper discusses one of the ways to develop seismological monitoring in Priamurie – installation of a large number of inexpensive seismic stations equipped with geophones. An example of such a seismic station is the Raspberry Shake 3D. Studies of the intrinsic noise of these devices show that they are capable of detecting weak local earthquakes with magnitudes greater than 2, while maintaining a high signal-to-noise ratio at distances up to 100 km (Anthony et al., 2019). In this paper, we design a possible configuration of a network of 50 low-cost seismic stations in the southern and central regions of Khabarovsk Krai, Jewish Autonomous Oblast, eastern Amur Oblast, and northern Primorsky Krai. Evaluation of the registration capabilities of this network shows that such a network makes it possible to lower the average value of representative magnitude to almost 2.0 within its boundaries (this is an area of 800 thousand km<sup>2</sup>). On the one hand, such a network will allow obtaining more complete and accurate catalogues of earthquakes and will expand the list of possible seismological studies. On the other hand, its design, operation and maintenance, including the processing of the obtained data, will make rational use of two modern concepts in seismological monitoring: citizen science and neural network methods of data processing. Involvement of scientific volunteers in equipment installation and maintenance, and the use of machine learning methods for processing large datasets will make it possible to solve the problems arising in scaling seismological observations with small resources. This work was supported by RNF grant No. 24-17-20031.

---

## **Перспективы сейсмологического мониторинга в Приамурье: гражданская наука и нейросетевые методы обработки данных**

В. В. Пупатенко<sup>1,2</sup>, А. П. Лях<sup>2</sup>, К. А. Драчев<sup>2</sup>, Н. Н. Гриб<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, Хабаровск, Россия

<sup>2</sup> Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Россия

<sup>3</sup> Технический институт (филиал) СВФУ, Нерюнгри, Россия

Наряду с регионами, в которых существуют плотные сети сейсмостанций, в России есть немало сейсмически опасных регионов, в которых количество пунктов наблюдений минимально. Один из таких регионов – Приамурье. Сейсмическая активность территории Приамурья неравномерна по площади, оценивается от незначительной до умеренной. При этом на большей части территории сеть сейсмологических наблюдений обеспечивает представительную магнитуду землетрясений 2.5–3.0 (Сафонов, 2018). В работе обсуждается один из способов развития сейсмологического мониторинга в Приамурье – установка большого количества недорогих сейсмостанций, оснащённых геофонами. Пример такой сейсмостанции – Raspberry Shake 3D. Исследования собственного шума этих приборов показывают, что они способны регистрировать слабые локальные землетрясения с магнитудой, превышающей 2, сохраняя при этом высокое соотношение сигнал/шум на расстоянии до 100 км (Anthony et al., 2019). В работе спроектирована возможная конфигурация сети из 50 недорогих сейсмостанций в южных и центральных районах Хабаровского края, Еврейской автономной области, востоке Амурской области и севере Приморского края. Оценка регистрационных возможностей этой сети показывает, что такая сеть позволяет в её пределах (это территория площадью в 800 тыс. км<sup>2</sup>) понизить среднее значение представительной магнитуды практически до 2.0. С одной стороны, такая сеть позволит получить более полные и точные каталоги землетрясений, расширит перечень возможных сейсмологических исследований. С другой стороны, её устройство, функционирование и обслуживание, в том числе и обработка получаемых данных, сделают рациональным использование двух современных концепций в сейсмологическом мониторинге: гражданской науки и нейросетевых методов обработки данных. Привлечение научных волонтеров к установке и обслуживанию оборудования, и использование методов машинного обучения для обработки больших наборов данных позволят решить проблемы, возникающие при масштабировании сейсмологических наблюдений, малыми ресурсами. Работа выполнена при поддержке гранта РФ № 24-17-20031.

## **Methodology of decomposition of the main geomagnetic field models into ‘free’ eccentric magnetic dipoles**

E. Utemov, D. Nurgaliev  
Kazan Federal University, Kazan, Russia

The models of the Earth's main magnetic field and their secular variations are constructed by decomposing the mean annual values of the scalar geomagnetic potential field by the method of spherical harmonic analysis (SHA, Gauss series) on the basis of compiling the observational data of the world network observatories, satellite, aeromagnetic, ground and hydromagnetic surveys. In modern models of the Earth's main magnetic field, the magnetic potential is represented as a Gauss series. Examples of such models are The World Magnetic Model (WMM, 12 degree decomposition), International Geomagnetic Reference Field (IGRF, 13 degree), Enhanced Magnetic Model (EMM, 790 degree), BGS Global Geomagnetic Model (BGGM) (1440 degree). Despite the fact that the field decomposition into spherical harmonics is a good mathematical tool for building models of the Earth's main magnetic field and solving other problems, it is not optimal for the task of analysing the source structure of the non-dipole component of the main field. The Gauss coefficients, except for the first order coefficients, do not have a clear physical meaning. We also note that ‘cutting off’ the series – restricting the series to the n-th order – introduces significant distortions of global character into the field – because, in fact, some mathematical functions are subtracted from the field, about which it is known that they are partial solutions of the Laplace equation and have a zonal, sectoral, or tesseral periodic structure. Another, alternative approach is based on the idea of modelling the main geomagnetic field by fields of magnetic dipoles. In the theory of magnetism, the concept of a charge magnetic dipole – a pair of equal, closely located magnetic masses of different sign – is often used. The field of a charge magnetic dipole is equivalent to the field of a current dipole – a small loop with electric current. In this paper we propose a technique for decomposing the main geomagnetic field models into ‘free’ eccentric magnetic charge/current dipoles as a result of solving the inverse problem on the sphere. The term ‘free’ means that all seven parameters of each dipole – centre coordinates, axis/normal directional cosines and magnetic moment – are not fixed a priori and are subject to determination. As a result of solving the inverse problem in the class of ‘free’ eccentric magnetic dipoles, both the spatial distribution of dipole parameters and their evolution in time are of interest for analysis.

---

### **Методика разложения моделей главного геомагнитного поля на "свободные" эксцентричные магнитные диполи**

Э. В. Утемов, Д. К. Нургалиев  
Казанский федеральный университет, Казань, Россия

Модели главного магнитного поля Земли и их вековые вариации строятся путём разложения методом сферического гармонического анализа (СГА, ряды Гаусса) среднегодовых значений поля скалярного геомагнитного потенциала на основе компилирования данных наблюдений обсерваторий мировой сети, спутниковых, аэромагнитных, наземных и гидромагнитных съёмок. В современных моделях главного магнитного поля Земли магнитный потенциал представляют в виде ряда Гаусса. Примерами таких моделей являются The World Magnetic Model (WMM, 12 степень разложения), International Geomagnetic Reference Field (IGRF, 13 степень), Enhanced Magnetic Model (EMM, 790 степень), BGS Global Geomagnetic Model (BGGM) (1440 степень). Несмотря на то, что разложение поля на сферические гармоники – хороший математический инструмент для построения моделей главного магнитного поля Земли и решения других задач, он не является оптимальным для задачи анализа структуры источников недипольной составляющей главного поля. Коэффициенты Гаусса, за исключением коэффициентов первого порядка, не несут в себе ясного физического смысла. Также отметим, что «отсекание» ряда – ограничение ряда n-ым порядком привносит в поле значительные искажения глобального характера – ведь, по сути, из поля вычитаются некие математические функции, о которых известно, что они являются частными решениями уравнения Лапласа и имеют зональную, секторальную, либо тессеральную периодическую структуру. Другой, альтернативный подход основан на идее моделирования главного геомагнитного поля полями магнитных диполей. В теории магнетизма часто используется понятие зарядового магнитного диполя – пары равных, близко расположенных магнитных масс разного знака. Поле зарядового магнитного диполя эквивалентно полю токового диполя – маленькой петли с электрическим током. В данной работе предлагается методика разложения моделей главного геомагнитного поля на «свободные» эксцентричные магнитные зарядовые/токовые диполи как результат решения обратной задачи на сфере. Термин «свободные» означает, что все семь параметров каждого из диполей – координаты центра, направляющие косинусы оси/нормали и магнитный момент – априори не фиксированы и подлежат определению. В результате решения обратной задачи в классе «свободных» эксцентричных магнитных диполей интерес для анализа представляют, как пространственное распределение дипольных параметров, так и их эволюция во времени.

## Satellite gravimetry as a tool for forecasting oil and gas content

I. Ognev, D. Nurgaliev  
Kazan Federal University, Kazan, Russia

The location of hydrocarbon deposits is controlled by the structure and location of certain key elements of oil and gas bearing systems, namely reservoirs, covers, traps and oil-bearing rocks. The latter must be mature to increase the chances of successful exploration for hydrocarbons. The maturity of petroleum parent rocks depends on the heat flow, which consists of mantle and crustal components. Thus, knowledge of the crustal structure allows us to create models of the heat flow that affects the maturity of petroleum parent rocks and the localisation of hydrocarbon deposits. At present, the crustal structure can be investigated in many ways with seismic methods coming out on top in terms of accuracy in determining the geometry of reflecting boundaries. However, seismic surveys do not cover the entire Earth's surface, but only localised areas of it, and often the depths of seismic methods are limited to the sedimentary cover, preventing the crustal structure from being determined in its entirety. There is a demand for a method that has global coverage and can provide information about the structure of the Earth's crust with sufficient accuracy. Satellite gravimetry can be such a method. Inversion of the satellite gravity field makes it possible to determine the depth of the Moho boundary for the studied areas and, as a consequence, to build more accurate heat flow models and, hence, maps of the maturity of oil-bearing rocks. This paper shows how satellite gravimetry data were used to study the crustal structure of the Volga-Ural segment of the East European craton by inverting the satellite gravity field and constructing a geodensity model using an informalised fitting method. It is also demonstrated how the obtained crustal model was used for modelling the geothermal structure of Volga-Uralia by Monte Carlo method with Markov chains using surface heat flux measurements. The relationship between the thermal field of Volga-Uralia and the location of hydrocarbon deposits is evaluated.

---

## Спутниковая гравиметрия как инструмент прогноза нефтегазоносности

И. Н. Огнев, Д. К. Нурғалиев  
Казанский федеральный университет, Казань, Россия

Размещение месторождений углеводородов контролируется структурой и размещением отдельных основных элементов нефтегазоносных систем, а именно коллекторов, покрышек, ловушек и нефтематеринских пород. Последние должны быть зрелыми для увеличения шансов успешной разведки на углеводороды. Зрелость нефтематеринских пород зависит от теплового потока, состоящего из мантийной и коровой составляющих. Таким образом, знание строения земной коры позволяет создавать модели теплового потока, который влияет на зрелость нефтематеринских пород и локализацию залежей углеводородов. В настоящее время, строение земной коры может быть исследовано множеством способов с сейсмическими методами, выходящими на первую строчку в плане точности определения геометрии отражающих границ. Однако, сейсмические исследования покрывают не всю земную поверхность, а только локальные её участки и, зачастую, глубины исследования сейсмических методов ограничиваются осадочным чехлом, не давая определить структуру земной коры в полном объёме. Возникает запрос на метод, имеющий глобальное покрытие и способный давать сведения о структуре земной коры с достаточной точностью. Таким методом может выступить спутниковая гравиметрия. Инверсия спутникового поля силы тяжести позволяет определить глубину залегания границы Мохо для изучаемых территорий и, как следствие, построить более точные модели теплового потока, а значит, и карты зрелости нефтематеринских пород. В настоящей работе показано как данные спутниковой гравиметрии были использованы для изучения строения земной коры Волго-Уральского сегмента Восточно-Европейского кратона при помощи инверсии спутникового поля силы тяжести и построения геоплотностной модели методом неформализованного подбора. Также продемонстрировано каким образом полученная модель земной коры использовалась для моделирования геотермической структуры Волго-Уралии методом Монте-Карло с цепями Маркова с использованием данных измерений поверхностного теплового потока. Оценена взаимосвязь теплового поля Волго-Уралии с расположением месторождений углеводородов.

## Forecast of hydrocarbon accumulation distribution by size. Status and problems

L. Burshtein, V. Livshits

Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia

The most important element of HC resources structure is their distribution into accumulations of different size (Field Forecast..., 1981; Methodological Guide..., 2000). Studies in this direction appeared in the sixties and seventies of the XX century (Kaufman, 1963; Gutman, 1967; Bakirov, 1972; Buyalov, 1977, etc.). The size distributions of identified deposits or local objects controlling them were analysed. In the vast majority of cases, a unimodal distribution satisfactorily approximated by a log-normal law was recorded. The analysis of changes in the distribution of identified HC accumulations as the studied area becomes more and more explored led to the assumption that the distribution of accumulations in nature may have an amodal character in the observed area and be described by the steppe law (Shpilman, 1972, 1982). Weibull, Koch, beta-distributions of the first kind, etc. were considered as approximating for the natural population of HC accumulations. A generalisation of the Pareto distribution, the truncated Pareto distribution, proposed by A.E. Kontorovich and V.I. Demin (1977, 1979) became the most widespread in practice. These results were confirmed in the works (Krylov et al., 1986; Arsirius et al., 1986, etc.). Similar conclusions were also reached (probably independently) by some Western specialists (Schuenemeyer, Drew, 1983; Houghton, 1988). Further development led to the transition from the analysis of aggregates of fields to the analysis of aggregates of deposits, detailed development of formal aspects (Kontorovich and Livshits, 1988; Livshits, 2004, 2020, 2023, etc.), and the execution of estimates of the resource structure of some of the largest oil and gas bearing provinces of Russia (Kontorovich and Livshits, 2017, 2022; Kontorovich et al., 2021; Burstein et al., 2020, 2023). A separate important direction is the theoretical justification of the type of accumulation distribution and the establishment of the relationship between its parameters and the characteristics of the host geological objects (Kontorovich et al., 1988; Burshtein, 2004, 2006; Livshits 2014, 2017, etc.). Within the framework of these works it is shown that the steppe character of accumulation distribution, is determined by the ratio of HC accumulation and dissipation processes in the deposit. Despite a significant number of studies devoted to the nature of steppe distribution laws, the stable character of the degree index (~2) in relation to the distribution of HC accumulations has not yet been explained.

---

## Прогноз распределения скоплений углеводородов по крупности. Состояние и проблемы

Л. М. Бурштейн, В. Р. Лившиц

Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, Новосибирск, Россия

Важнейшим элементом структуры ресурсов УВ является их распределение по скоплениям различной крупности (Прогноз месторождений..., 1981; Методическое руководство..., 2000). Исследования этого направления появились в шестидесятых-семидесятых годах XX века (Kaufman, 1963; Гутман, 1967; Бакиров, 1972; Буялов, 1977 и др.). Анализировались распределения размеров выявленных месторождений или контролируемых их локальных объектов. В подавляющем большинстве случаев фиксировалось одномодальное распределение, удовлетворительно аппроксимируемое логарифмически нормальным законом. Анализ изменения распределения выявленных скоплений УВ по мере возрастания изученности исследуемой территории привел к предположению, что распределение скоплений в природе может иметь в наблюдаемой области амодальный характер и описываться степенным законом (Шпильман, 1972, 1982). В качестве аппроксимирующих для природной совокупности скоплений УВ рассматривались распределения Вейбула, Коха, бетта-распределение первого рода и т. д. Наибольшее распространение на практике получило обобщение распределения Парето – усеченное распределение Парето, предложенное А.Э. Конторовичем и В.И. Деминим (1977, 1979). Эти результаты были подтверждены в работах (Крылов и др., 1986; Арсирий и др., 1986 и т. д.). К аналогичным выводам пришли (возможно, независимо) и некоторые западные специалисты (Schuenemeyer, Drew, 1983; Houghton, 1988). Дальнейшее развитие привело к переходу от анализа совокупностей месторождений к анализу совокупностей залежей, детальной разработке формальных аспектов (Конторович, Лившиц, 1988; Лившиц, 2004, 2020, 2023 и т. д.), выполнению оценок структуры ресурсов ряда крупнейших нефтегазоносных провинций России (Конторович, Лившиц, 2017, 2022; Конторович и др., 2021; Бурштейн и др., 2020, 2023). Отдельным важным направлением является теоретическое обоснование вида распределения скоплений и установление связи его параметров с характеристиками вмещающих геологических объектов (Конторович и др., 1988; Бурштейн, 2004, 2006; Лившиц 2014, 2017 и т.д.). В рамках этих работ показано, что степенной характер распределения скоплений, определяется соотношением процессов аккумуляции и диссипации УВ в залежи. Несмотря на значительное количество исследований, посвященных природе степенных законов распределения устойчивый характер показателя степени (~2) применительно к распределению скоплений УВ объяснения пока не находит.

## **Use of GIS-technologies for assessment of ice spreading in the southern geocryological zone**

B. Tsydypov, V. Chernykh, A. Ayurzhanayev, B. Sodmonov, M. Zharnikova, E. Garmaev  
Baikal Institute of Nature Management of the SB RAS, Ulan-Ude, Russia

The development of geoinformation systems and remote sensing technologies has made it possible to make a great step in the study of glaciers. In recent years, based on remote sensing data, a series of catalogues of giant ice-tarns of the Northeast of Russia (Alekseev et al., 2021), ice sheets of different high-mountainous regions of the Earth (Brombierstäudl et al., 2021; Gagarin et al., 2022), etc. have been compiled. An important addition to these works is the map of ice spreading in the Russian part of the Selenga River basin, the territory of which belongs to the southern geocryological zone. The mapping of glaciers was made on the basis of Landsat-8 space imagery data (2022). Automated processing of satellite data was carried out using threshold values of the normalised snow and ice index NDSI. Additional detail of the hydrographic network was required to define the boundaries of the buffer zones within which the calculations were carried out. Watercourses were identified using the digital elevation model SRTM v. 4 using the Hydrology module of ArcGIS software. After NDSI calculation, the obtained raster images were converted to vector format. Visual interpretation and manual digitisation were also applied in the process. GIS-analysis was used to obtain regularities of ice distribution by various characteristics: terrain elevation, slope exposure and steepness, average annual air temperature and precipitation, landscapes, soils, etc. The result of this work was a map of ice distribution (map of ice cover distribution). The result of this work was a distribution map (in vector format) and a database of basic morphometric characteristics of more than 15.5 thousand glaciers with a total area of more than 361 km<sup>2</sup>. The study was supported by RNF, Project No. 23-27-00402 'Ice in the northern (Russian) part of the Selenga River basin'.

---

## **Использование ГИС-технологий для оценки распространения наледей в южной геокриологической зоне**

Б. З. Цыдыпов, В. Н. Черных, А. А. Аюджанаев, Б. В. Содномов, М. А. Жарникова,  
Е. Ж. Гармаев  
Байкальский институт природопользования СО РАН, Улан-Удэ, Россия

Развитие геоинформационных систем и технологий дистанционного зондирования позволило сделать большой шаг в изучении наледей. За последние годы на основе дистанционных данных составлены серии каталогов гигантских наледей-тарынов Северо-Востока России (Алексеев и др., 2021), наледей разных высокогорных районов Земли (Brombierstäudl et al., 2021; Gagarin et al., 2022) и др. Важным дополнением к перечисленным работам является карта распространения наледей в российской части бассейна р. Селенга, территория которого относится к южной геокриологической зоне. Картографирование наледей выполнено на основе данных космической съемки Landsat-8 (2022 г.). Автоматизированная обработка спутниковых данных проведена по пороговым значениям нормированного снежно-ледового индекса NDSI. Для определения границ буферных зон, в пределах которых проводились расчеты, потребовалась дополнительная детализация гидрографической сети. Водотоки выделены по цифровой модели рельефа SRTM v. 4 с помощью модуля ПО ArcGIS «Гидрология». После вычисления NDSI полученные растровые изображения конвертированы в векторный формат. В процессе работы применялось также визуальное дешифрирование и ручная оцифровка. С помощью ГИС-анализа получены закономерности распределения наледей по различным характеристикам: высота местности, экспозиция и крутизна склонов, среднегодовая температура воздуха и количество осадков, ландшафты, почвы и др. Результатом данной работы стала карта распространения (в векторном формате) и база данных основных морфометрических характеристик более 15,5 тыс. наледей общей площадью более 361 км<sup>2</sup>. Исследование выполнено при поддержке РНФ, проект № 23-27-00402 «Наледи северной (российской) части бассейна р. Селенга».

## **Arktika-M geoinformation system: current status**

M. Kuchma, E. Kholodov, Ю. Shamilova

Far-Eastern Center of the FSBI «State Research Center of Space Hydrometeorology «PLANETA», Khabarovsk, Russia

At present, technologies for processing and analysing data received from various spacecraft are being intensively developed and improved. Measurement data from satellite instruments make it possible to obtain a wide range of thematic products for solving a variety of fundamental and applied problems. At the same time, there are practically no platforms available for the Russian constellation of meteorological satellite systems that can link in a single technological cycle the formation of finished products for consumer needs and the ability to display and analyse them using standard and special tools. With the launch of the Arktika-M satellite No. 2 on 16 December 2023, a constellation of two satellites in a highly elliptical orbit was formed, which provides a continuous mode of receiving information on the Arctic region of the Earth (above 60°N) with a high frequency. That region is not accessible to observation from satellites in geostationary orbit, and low-Earth orbiting meteorological satellites do not make it possible to observe high-latitude areas with the required periodicity. The report discusses the capabilities of the Arktika-M geoinformation system (GIS) developed at SIC Planeta for the benefit of a wide range of consumers. The developers have implemented a full automatic cycle of processing and preparation of satellite data: opening of initial data, calculation of thematic products using machine learning methods, transformation of information into required formats. The GIS uses modern technologies providing access to data through cartographic services united in a web-interface. In the course of operational use GIS 'Arktika-M' demonstrated high efficiency of work due to high reliability of information, prompt delivery of products to end users, a large number of displayed products. All this contributes to improving the accuracy of forecasts and storm warnings, and as a consequence, the prevention of natural emergencies. GIS 'Arktika-M' combines into a single information system data from various sources, which complement each other and in general represent an effective monitoring and forecasting tool. Placement of such resources on the Internet allows for prompt informing both interested services and the population.

---

## **Геоинформационная система «Арктика-М»: текущее состояние**

М. О. Кучма, Е. И. Холодов, Ю. А. Шамилова

ДЦ Научно-исследовательский центр «Планета», Хабаровск, Россия

В настоящее время интенсивно разрабатываются и совершенствуются технологии обработки и анализа данных, получаемых с различных космических аппаратов (КА). Данные измерений спутниковых приборов позволяют получать широкий спектр тематической продукции для решения множества фундаментальных и прикладных задач. При этом, платформ, которые могут связать в единый технологический цикл формирование готовых продуктов под нужды потребителя и возможность их отображения и анализа стандартными и специальными инструментами, для российской группировки метеорологических спутниковых систем практически нет. С запуском 16 декабря 2023 г. КА Арктика-М № 2 сформирована группировка из двух аппаратов на высокоэллиптической орбите, которая обеспечивает непрерывный режим получения с высокой периодичностью информации по Арктическому региону Земли (выше 60° с. ш.). Этот регион недоступен для наблюдения со спутников на геостационарной орбите, а низкоорбитальные метеорологические спутники не дают возможности проводить наблюдение высокоширотных районов с требуемой периодичностью. В докладе рассматриваются возможности геоинформационной системы (ГИС) «Арктика-М», разработанной в НИЦ «Планета» в интересах широкого круга потребителей. Разработчиками реализован полный автоматический цикл обработки и подготовки спутниковой информации: открытие исходных данных, расчет тематической продукции с использованием методов машинного обучения, преобразование информации в необходимые форматы. В ГИС использованы современные технологии, обеспечивающие доступ к данным посредством картографических сервисов, объединенных в веб-интерфейсе. В ходе оперативной эксплуатации ГИС «Арктика-М» продемонстрировала высокую эффективность работы за счёт высокой достоверности информации, оперативности доведения продукции до конечных пользователей, большого количества отображаемых продуктов. Все это способствует повышению точности прогнозов и штормовых оповещений, и как следствие, предупреждению чрезвычайных ситуаций природного характера. ГИС «Арктика-М» объединяет в единую информационную систему данные из различных источников, которые дополняют друг друга и в целом представляют собой эффективное средство мониторинга и прогнозирования. Размещение подобных ресурсов в сети Интернет позволяет оперативно информировать как заинтересованные службы, так и население.

## **Regularities of decrease in the area occupied by arable land in the central part of the Russian Plain, according to HILDA+ data**

G. Aleksandrov

A. M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, Moscow, Russia

HILDA+ (HISToric Land Dynamics Assessment+) is a dataset containing land use information at a spatial resolution of 0.01 degrees' longitude and latitude for each year from 1899 to 2019, in the form of integers denoting the type of land use. Using these data, the percentage of arable land was calculated in grid cells in 0.5 degree increments in latitude and longitude. In the central part of the Russian Plain (more precisely in the area enclosed between the 31st and 42nd meridians and the 59th and 51st parallels) arable land occupied 42.149% in 1962, 40.645% in 1968, 39.495% in 1988, 34.519% in 2008, and from 2008 to 2019 its area remained practically unchanged. The decrease in the area of arable land in the central part of the Russian Plain generally confirms the hypothesis discussed in modern scientific literature that the decrease in the area of arable land seems to be a natural result of economic development. The alternation of periods of relative stabilisation and periods of relatively rapid decline in the area of arable land in the central part of the Russian Plain can be associated, within the framework of this hypothesis, with the alternation of periods of acceleration and deceleration of economic development, or, more precisely, with the alternation of periods of relatively rapid and slow changes in quantitative indicators of those aspects of economic development that determine land use change.

---

## **Закономерности снижения площади, занимаемой пахотными землями в центральной части Русской равнины, по данным HILDA+**

Г. А. Александров

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

HILDA+ (HISToric Land Dynamics Assessment+) – набор данных, содержащих информацию о землепользовании с пространственным разрешением 0.01 градус по долготе и широте для каждого года, начиная с 1899 и заканчивая 2019 годом, в виде целых чисел, обозначающих вид землепользования. По этим данным был вычислен процент пахотных земель в ячейках координатной сетки с шагом 0.5 градусов по широте и долготе. В центральной части Русской равнины (точнее на территории, заключенной между 31-м и 42-м меридианами и 59-й и 51-й параллелями) пахотные земли занимали в 1962 году 42.149%, в 1968 – 40.645%, в 1988 – 39.495%, в 2008 – 34.519%, а с 2008 по 2019 год их площадь практически не изменялась. Снижение площади пахотных земель в центральной части Русской равнины в целом подтверждает обсуждаемую в современной научной литературе гипотезу о том, что снижение площади пахотных земель, по-видимому, является закономерным результатом экономического развития. Чередование периодов относительной стабилизации и периодов относительно быстрого снижения площади пахотных земель в центральной части Русской равнины может быть связано, в рамках этой гипотезы, с чередованием периодов ускорения и замедления экономического развития, или точнее – с чередованием периодов относительно быстрых и медленных изменений количественных индикаторов тех аспектов экономического развития, которые определяют изменение землепользования.

## About stages of manifestation of seismic regime anomalies before earthquakes

V. Smirnov<sup>1</sup>, A. Petrushov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Schmidt Institute of physics of the Earth RAS, Moscow, Russia

The world practice of seismological research has revealed a number of statistical parameters of the seismic regime, anomalous changes in which are considered as indicators of key earthquake preparation processes. These include, first of all, characteristics of the energy 'spectrum' of seismicity: the slope of the recurrence plot, various characteristics of seismic activity, characteristics of the spatial, temporal or spatial-temporal density of released seismic energy, as well as parameters of earthquake clustering and interaction. Two seismic regime parameters widely used in prognostic studies were selected for analysis: the seismicity energy spectrum parameter (Gutenberg-Richter parameter) and the complex RTL parameter, which characterises the interaction of earthquakes and reflects the stages of quiescence and foreshock activation of seismicity. Spatial and temporal anomalies of these parameters were found before relatively strong earthquakes in areas with different general tectonic types: subduction zones (Kamchatka and Japan as an example), rift zones (Iceland), shear transform fault zones (California, Turkey, Iran). On the basis of comparison of the main characteristics of anomalies (durations, spatial sizes, distances from the epicentre of the earthquake) the peculiarities of the stages of anomalies manifestation in the considered areas were revealed. Staging is understood as the ratio of time and spatial areas of formation and development of anomalies. In spite of the practice of complexing various seismicity statistics in solving prognostic problems, the questions about the regularities of anomalies manifestation stages, about similarities and differences of this stage manifestation in different tectonic conditions and on different energy scales, about the physical causes of stages remain open at present. These issues are discussed in the report.

---

## О стадийности проявления аномалий сейсмического режима перед землетрясениями

В. Б. Смирнов<sup>1</sup>, А. А. Петрушов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>2</sup> Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

Мировая практика сейсмологических исследований выявила ряд статистических параметров сейсмического режима, аномальные изменения которых рассматриваются как индикаторы ключевых процессов подготовки землетрясений. К ним, в первую очередь, относятся характеристики энергетического «спектра» сейсмичности: наклон графика повторяемости, различные характеристики сейсмической активности, характеристики пространственной, временной или пространственно-временной плотности высвобождающейся сейсмической энергии, а также параметры кластеризации и взаимодействия землетрясений. Для анализа были выбраны два широко используемых в прогностических исследованиях параметра сейсмического режима: показатель энергетического спектра сейсмичности (параметр Гутенберга-Рихтера) и комплексный параметр RTL, характеризующий взаимодействие землетрясений и отражающий стадии затишья и форшоковой активизации сейсмичности. Пространственно-временные аномалии этих параметров были выявлены перед относительно сильными землетрясениями в областях с различными генеральными тектоническими типами: зоны субдукции (на примере Камчатки и Японии), рифтовые зоны (Исландия), зоны сдвиговых трансформных разломов (Калифорния, Турция, Иран). На основе сопоставления основных характеристик аномалий (продолжительностей, пространственных размеров, расстояний от эпицентра землетрясения) выявлены особенности стадийности проявления аномалий в рассмотренных областях. Под стадийностью понимается соотношение времен и пространственных областей формирования и развития аномалий. Несмотря на ставшую нормой практику комплексирования различных статистик сейсмичности при решении прогностических задач вопросы о закономерностях стадийности проявления аномалий, о сходстве и различиях проявления этой стадийности в различных тектонических условиях и на различных энергетических масштабах, о физических причинах стадийности остаются в настоящее время открытыми. Эти вопросы обсуждаются в докладе.

## **On maintenance of the Unified State Data Fund on the state of the environment, its pollution**

V. Shaimardanov, E. Kolesnikov  
RIHMI-WDC, Obninsk, Russia

Information on the state of the natural environment, its pollution (hereinafter referred to as information) is one of the key factors in achieving the goal of sustainable economic development of each state. Such information is a valuable and demanded material, as changes in natural conditions have a constant impact on human life, affecting various sectors of the economy and the social sphere of society. Regular collection and storage of information on the territory of Russia has been carried out for a century and a half. As a result of this activity, the Unified State Data Fund (USDF) on the State of the Environment and its Pollution is formed. The All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information – World Data Centre (VNIIGMI-MDC) is responsible for maintaining the USDF. The main objective of VNIIGMI-MDC is to provide information to the population, executive authorities, armed forces of the Russian Federation, and sectors of the economy. In order to achieve this goal, a number of tasks of the USDF are solved: 1) Collection, recording, archiving, long-term storage and dissemination of information. Methodological support of organisations in terms of keeping the USDF. 2) Development, implementation and maintenance of technologies for data collection, processing and archiving, automated information retrieval systems for recording and long-term storage of the USDF information. 3) Serving consumers with specialised information and products created on its basis. 4) Climate research. Marine research. 5) Damage assessment and works in the field of economic meteorology. The data in the USDF are structured by types of information, stored on technical, paper and photo media. The data collection of the USDF (about 50 million files) is unique and its information component fulfils the Big Data criteria. To perform the functions of the USDF, the following advisory technologies and systems have been developed and implemented: Automated Data Transfer System; Systems for processing, accumulation and analysis of hydrometeorological observation data at stations and posts; Automated Information System for processing of regime information, etc. The following systems have been developed and implemented. Further development of the USDF consists in increasing the efficiency, completeness and quality of information provision of public authorities, legal entities and population with information products based on observation data through the development of software, tools and technologies for collection, storage and monitoring of information provided to the USDF by organisations of Roshydromet and other ministries and departments.

---

## **О ведении Единого государственного фонда данных о состоянии окружающей среды, её загрязнении**

В. М. Шаймарданов, Е. В. Колесников  
ВНИИГМИ-МЦД, Обнинск, Россия

Информация о состоянии окружающей природной среды, её загрязнении (далее информация) является одним из ключевых факторов достижения цели устойчивого экономического развития каждого государства. Такие сведения являются ценным и востребованным материалом, поскольку изменение природных условий оказывает постоянное влияние на жизнь человека, оказывая воздействие на различные отрасли экономики и социальную сферу общества. Регулярный сбор и хранение информации на территории России, осуществляется на протяжении полутора веков. В результате этой деятельности образуется Единый государственный фонд данных (ЕГФД) о состоянии окружающей среды, её загрязнении. Функции ведения ЕГФД возложены на Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных (ВНИИГМИ-МЦД). Основная цель ВНИИГМИ-МЦД – обеспечение информацией населения, органов исполнительной власти, вооруженных сил РФ, секторов экономики. Для достижения цели решается ряд задач по ведению ЕГФД: 1) Сбор, учет, архивация, долговременное хранение и распространение информации. Методическое обеспечение организаций в части ведения ЕГФД. 2) Разработка, внедрение и сопровождение технологий сбора, обработки и архивации данных, автоматизированных информационно-поисковых систем учета и долговременного хранения информации ЕГФД. 3) Обслуживание потребителей специализированной информацией и созданной на её основе продукцией. 4) Исследования в области климата. Морские исследования. 5) Оценка ущербов и работы в области экономической метеорологии. Данные в ЕГФД структурированы по видам информации, хранятся на технических, бумажных и фото носителях. Коллекция данных ЕГФД (около 50 млн. файлов) является уникальной, и ее информационный компонент соответствует критериям Больших Данных (Big Data). Для выполнения функций ЕГФД, разработаны и внедрены советующие технологии и системы: Автоматизированная система передачи данных; Системы обработки, накопления и анализа данных гидрометеорологических наблюдений на станциях и постах; Автоматизированная информационная система обработки режимной информации и др. Дальнейшее развитие ЕГФД состоит в повышении эффективности, полноты и качества информационного обеспечения органов государственной власти, юридических лиц и населения информационной продукцией на основе данных наблюдений посредством развития ПО, средств и технологий сбора, хранения и мониторинга информации, предоставляемой в ЕГФД организациями Росгидромета и других министерств и ведомств.

## **Dynamics of the anomalous magnetic field as a possible indicator of changes in heat flux intensity**

Yu. Turbin

Arctic and Antarctic Research Institute, Saint Petersburg, Russia

The secular variations of the Earth's magnetic field (EMF) were studied using data from the high-latitude stations Mys Baranov and Vostok and the IGRF-2020 model. The purpose of this work is to assess the dynamics of the Earth's anomalous magnetic field (AMF), the magnitude of which is determined by the intensity of lithospheric rock magnetisation. The dynamics of two main sources of the AMPF (deep currents and ionospheric-magnetospheric current systems) has been studied in detail, while the third source (magnetised rocks) is considered to be unchanged. Active geological processes occurring, in fact, in real time cannot but affect the changes in the physical properties of lithospheric rocks and, in particular, in their magnetisation. The high accuracy of the IGRF-2020 model, a long series of absolute values of the magnetisation modulus at the stations, relatively low activity of the Sun during its 24th cycle and the use of regression analysis to determine the magnitude of the secular variation at magnetic stations make it possible to achieve the goal set. The data on the magnitude of the modulus at the stations were obtained using proton magnetometers during the determination of the baseline values of the magnetovariation stations. The magnitude of AMPZ at a selected station is defined as the difference between the measured value and the value of the normal field – the IGRF model field. The AMPZ value at the ‘Cape Baranova’ station during the period from 04.11.2016 to 29.09.2021 changed by 28 nTa, and at the NIS ‘Cape Baranova’ station for the period from 22.06.2010 to 10.06.2022 – by 6 nTa (18% and 25% of the initial value, respectively). The obtained changes in AMPZ can be explained by the change in the magnetisation of rocks when their temperature changes, and the changes in the AMPZ value can serve as an indicator of the change in the heat flux from the Earth's depths. In 2023-2024, the northern magnetic pole reached the area of increased heat flow activity – the spreading zone (Gakkel Ridge). A change here in the intensity of the heat flow could lead to a change in the value of the AMPZ and cause the magnetic pole to move here at a stable position of the geomagnetic pole. If we accept this assumption, the movement of the magnetic pole, if it continues, then within the geologically active zone – the spreading zone in the Arctic Ocean.

---

### **Динамика аномального магнитного поля как возможный индикатора изменений интенсивности теплового потока**

Ю. Г. Турбин

Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

Исследован вековой ход магнитного поля Земли (МПЗ) по данным высокоширотных станций НИС «Мыс Баранова» и «Восток» и по данным модели IGRF-2020. Целью работы является оценить динамику аномального магнитного поля Земли (АМПЗ), величина которого определяется интенсивностью намагниченности пород литосферы. Динамика двух основных источников МПЗ (глубинные токи и ионосферно-магнитосферные токовые системы) изучена довольно детально, а третий источник (намагниченные породы) считается неизменным. Активные геологические процессы, протекающие, фактически, в реальном масштабе времени не могут не сказаться на изменении физических свойств пород литосферы и, в частности, на их намагниченности. Высокая точность модели IGRF-2020, длинный ряд абсолютных значений модуля МПЗ на станциях, относительно низкая активность Солнца в период его 24-го цикла и использование регрессионного анализа для определения величины вековой вариации на магнитных станциях дают возможность достичь поставленной цели. Данные о величине модуля на станциях получены с использованием протонных магнитометров во время определения базисных значений магнитовариационных станций. Величина АМПЗ в выбранном пункте определяется как разность измеренного значения и значения нормального поля – поля модели IGRF. Величина АМПЗ на станции «Мыс Баранова» в период с 04.11.2016 года по 29.09.2021 года изменилась на 28 нТл, а на станции НИС «Мыс Баранова» за период с 22.06.2010 по 10.06.2022 – на 6 нТл (18% и 25% от первоначального значения, соответственно). Полученные изменения АМПЗ могут быть объяснены изменением величины намагниченности пород при изменении их температуры, а изменения величины АМПЗ могут служить индикатором изменения теплового потока из глубин Земли. В 2023-2024 годах северный магнитный полюс достиг района повышенной активности теплового потока – зоны спрединга (хребет Гаккеля). Изменение здесь интенсивности теплового потока могло привести к изменению величины АМПЗ и стать причиной перемещения сюда магнитного полюса при стабильном положении полюса геомагнитного. Если принять это предположение, то движение магнитного полюса, если и продолжится, то в пределах геологически активной зоны – зоны спрединга в Северном Ледовитом океане.

## Modelling of mantle-crust migrant systems – a new approach to system analysis of seismic events

V. Vasiliev, E. Vasilieva

Dobretsov Geological Institute SB RAS, Ulan-Ude, Russia

In the plastic medium at depth  $H$  under the subhorizontal strength barrier  $S$ , the inflow of deep fluid and/or magma forms a chamber with density  $D$ , which is lower than the density of the host medium  $R$ . The vertical size of the chamber  $L$  increases with the accumulation of matter. With the accumulation of matter, the vertical dimension of the chamber  $L$  increases. The density difference  $(R-D)$  leads to the fact that at critical  $L$  the overpressure in the chamber reaches and exceeds the strength of the barrier:  $R \cdot g \cdot (H+L) - R \cdot g \cdot H - D \cdot g \cdot L \geq S$  ( $g$  is the acceleration of gravity); a subvertical cavity is formed in the barrier due to fracturing, which is instantly filled with the chamber substance – the rising mantle-crust migrant (MCM). This theory was put forward by N.S. Zhatnuev and then developed and substantiated using tectonophysical and numerical experiments with the author's participation (Zhatnuev, 2005, 2010, 2016; Vasiliev et al., 2008, 2009, 2012, 2019, 2021). The occurrence of MCM is a trigger for relaxation of the external environment stress accumulated in the process of chamber growth, i.e. the cause of seismic events of different power. Such consecutive events in time (due to accumulation of subsequent chambers on this strength barrier) and in space (due to other strength barriers on the way of MCM rise) are the cause of various hard-to-explain seismic events, including 'seismic nails' (according to Vadkovsky, 2012) in the areas of modern endogenous activity, an example of which is the origin of the Kultuk earthquake of 2008, as well as earthquakes of the Kurilo-Kamchatka, Japanese and other island arcs. Consequently, system analysis of such processes should include: 1) numerical and tectonophysical modelling of MCMs and their systems; 2) study of petrophysical and rheological structure of lithosphere in different geodynamic conditions and at different scales; 3) study of spatial and temporal swarms of earthquakes from positions of MCM theory; 4) creation and implementation of software for modelling of MCMs and their systems, as well as for analysis of results of tectonophysical modelling. We have registered in Rospatent a number of applied computer programs: Vladi OverPressure – a program for simulation of MCM formation on some strength barrier and its evolution; Vladi DiStat – a program for calculation of two-dimensional distributions of petrophysical parameters of MCM host medium; Vladi Gead – a program for thermophysical calculations in the range of plume adiabatic – regional geotherm; Vladi Joint – a program for statistical modelling of behaviour of systems of random rising MCMs in plastic medium.

---

## Моделирование систем мантийно-коровых мигрантов – новый подход к системному анализу сейсмических событий

В. И. Васильев, Е. В. Васильева

Геологический институт им. Н. Л. Добрецова СО РАН, Улан-Удэ, Россия

В пластичной среде на глубине  $H$  под субгоризонтальным прочностным барьером  $S$  поступление глубинного флюида и/или магмы формирует камеру с плотностью  $D$ , пониженной относительно плотности вмещающей среды  $R$ . С накоплением вещества вертикальный размер камеры  $L$  растёт. Разность плотностей  $(R-D)$  ведёт к тому, что при критическом  $L$  избыточное давление в камере достигает и превосходит прочность барьера:  $R \cdot g \cdot (H+L) - R \cdot g \cdot H - D \cdot g \cdot L \geq S$  ( $g$  – ускорение силы тяжести); в барьере за счёт гидроразрыва образуется субвертикальная полость, мгновенно заполняемая веществом камеры, – поднимающийся мантийно-коровый мигрант (МКМ). Эта теория выдвинута Н.С. Жатнуевым, а затем развита и обоснована с помощью тектонофизических и численных экспериментов при участии автора (Жатнуев, 2005, 2010, 2016; Васильев и др., 2008, 2009, 2012, 2019, 2021). Возникновение МКМ является триггером для релаксации напряжения внешней среды, накапливающегося в процессе роста камеры, т.е. причиной сейсмических событий различной мощности. Такие последовательные во времени (за счёт накопления последующих камер на этом прочностном барьере) и в пространстве (за счёт других прочностных барьеров на пути подъёма МКМ) события являются причиной различных труднообъяснимых сейсмических явлений, в том числе «сейсмических гвоздей» (по Вадковскому, 2012) в областях современной эндогенной активности, примером которых является очаг Култукского землетрясения 2008 г., а также землетрясения Курило-Камчатской, Японской и других островных дуг. Следовательно, системный анализ таких процессов должен включать: 1) численное и тектонофизическое моделирование МКМ и их систем; 2) изучение петрофизического и реологического строения литосферы в разных геодинамических обстановках и в разном масштабе; 3) изучение пространственных и временных роёв землетрясений с позиций теории МКМ; 4) создание и внедрение программного обеспечения для моделирования МКМ и их систем, а также для анализа результатов тектонофизического моделирования. Нами зарегистрирован в Роспатенте ряд прикладных компьютерных программ: Vladi OverPressure – программа для моделирования образования МКМ на некотором прочностном барьере и его эволюции; Vladi DiStat – программа для расчёта двумерных распределений петрофизических параметров вмещающей МКМ среды; Vladi Gead – программа для теплофизических расчётов в диапазоне плюмовая адиабата – региональная геотерма; Vladi Joint – программа для статистического моделирования поведения систем случайных поднимающихся МКМ в пластичной среде.

## **Variations of the effective elastic thickness of the lithosphere unveil diverse tectonic regimes in Northeastern Eurasia**

M. Kaban<sup>1,2</sup>, B. Chen<sup>3</sup>, R. Sidorov<sup>1</sup>, A. Petrunin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Geophysical Center RAS, Moscow, Russia

<sup>2</sup> GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam, Germany

<sup>3</sup> Central South University, Changsha, China

Based on a cross-spectral analysis of the surface load and gravity field, we computed a high-resolution map of the effective elastic thickness (EET) of the lithosphere for northeastern Eurasia. To accomplish this, we employed the fan wavelet coherence technique, applying it to the Bouguer gravity anomalies and topography/bathymetry data, which were appropriately adjusted to account for the influence of density variations within the sediments. The results obtained provide insights into diverse tectonic regimes within this predominantly understudied region. Specifically, we identify the boundary between the Eurasian and North American plates in Siberia as a diffusive zone extending from the Verkhoyansk and Sette-Daban Ranges to the eastern boundary of the Chersky Range. Unlike the Sette-Daban and Verkhoyansk ranges, formed through plate collision and exhibiting an EET of 30-50 km, other mountainous regions have considerably lower EET values, usually below 15 km. These areas have recently experienced tectonic activities, weakening the lithosphere.

---

## **Вариации эффективной упругой толщины литосферы, выявляющие различные тектонические режимы в Северо-Восточной Евразии**

М. К. Кабан<sup>1,2</sup>, В. Chen<sup>3</sup>, Р. В. Сидоров<sup>1</sup>, А. Г. Петрунин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Геофизический центр РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup> Постдамский центр имени Гельмгольца, Постдам, Германия

<sup>3</sup> Центральный Южный университет, Чанша, Китай

На основе кросс-спектрального анализа поверхностной нагрузки и гравитационного поля мы составили карту эффективного упругого утолщения (ЭУТ) литосферы северо-восточной Евразии с высоким разрешением. Для этого мы использовали метод веерной вейвлет-когеренции, применив его к гравитационным аномалиям Бугера и данным топографии/батиметрии, которые были соответствующим образом скорректированы для учета влияния вариаций плотности в осадочных породах. Полученные результаты дают представление о различных тектонических режимах в этом преимущественно малоизученном регионе. В частности, мы идентифицируем границу между Евразийской и Северо-Американской плитами в Сибири как диффузионную зону, простирающуюся от Верхоянского и Сетте-Дабанского хребтов до восточной границы хребта Черского. В отличие от хребтов Сетте-Дабан и Верхоянский, образовавшихся в результате столкновения плит и демонстрирующих ЭПТ 30-50 км, другие горные районы имеют значительно меньшие значения ЭПТ, обычно менее 15 км. В этих районах недавно произошли тектонические процессы, ослабившие литосферу.

## Thermodynamic response to El Niño/La Niña in the polar latitudes of the Northern Hemisphere

D. Gushchina, A. Gvozdeva

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Ocean surface temperature (OST) variability in the equatorial Pacific Ocean associated with the El Niño/Southern Oscillation (ENSO) phenomenon is a major contributor to natural global climate variations on interannual scales. The sharp increase in the tropical Pacific Ocean OST and the displacement of the deep convection region causes significant atmospheric circulation anomalies around the world, most pronounced in the tropics but also extending to extratropical latitudes. ENSO also has a significant impact on climate variability in the Arctic region. On the basis of ERA5 reanalysis data, the thermodynamic response to El Niño and La Niña events in polar latitudes was investigated, taking into account the differentiation of two types of El Niño with different localisation of OST anomalies: in the eastern Pacific Ocean – ET type and in the centre – CT type. It was revealed that both ET and CT El Niño are accompanied by the weakening of the circumpolar vortex (CMV), and the corresponding warming, in the stratosphere. However, the circulation response to a ET El Niño begins much later and decays earlier than that of a CT El Niño. In the years of CT events, the stratosphere is characterised by an unstable weakening of the CMV, which begins earlier than for ET events, but from March is replaced by an intensification of the cyclonic circulation, which penetrates into the troposphere. The Arctic circulation and temperature response to La Niña is generally opposite to that of El Niño, namely, from October to March there is a strengthening of the CMV that extends into the troposphere, which corresponds to a general cooling. However, the temperature response often has a two-layer or even three-layer structure. In the surface layer of the ET, El Niño is accompanied by predominantly negative temperature anomalies, whereas the response to the event CT is almost opposite, with a predominance of warming at polar latitudes. The response to La Niña varies significantly during the cold half-year and is characterised by warming at the beginning of the period and significant cooling at the end (February-March). The reproduction of the thermodynamic response to El Niño/La Niña in the model of the Institute of Computational Mathematics of the Russian Academy of Sciences was evaluated and it was shown that the incorrect reproduction of the response is mainly due to deficiencies in modelling the stratosphere-troposphere interaction realised through the wave activity flux. The study was financially supported by RNF under the scientific project No. 22-17-00190.

---

## Термодинамический отклик на Эль-Ниньо/Ла-Нинья в полярных широтах Северного полушария

Д. Ю. Гущина, А. В. Гвоздева

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия

Изменчивость температуры поверхности океана (ТПО) в экваториальной части Тихого океана, связанная с явлением Эль-Ниньо/Южное колебание (ЭНЮК) вносит главный вклад в естественные глобальные вариации климата на межгодовом масштабе. Резкое повышение ТПО в тропической части Тихого океана и смещение области глубокой конвекции вызывает значительные аномалии атмосферной циркуляции по всему миру, наиболее ярко выраженные в тропиках, но также распространяющиеся во внетропические широты. ЭНЮК в том числе оказывает значительное влияние на климатическую изменчивость в Арктическом регионе. На основании данных реанализа ERA5 исследован термодинамический отклик на события Эль-Ниньо и Ла-Нинья в полярных широтах с учетом дифференциации двух типов Эль-Ниньо с различной локализацией аномалий ТПО: на востоке Тихого океана – ВТ тип и в центре – ЦТ тип. Выявлено, что как ВТ, так и ЦТ Эль-Ниньо сопровождаются ослаблением циркумполярного вихря (ЦПВ), и соответствующим потеплением, в стратосфере. Однако отклик циркуляции на ВТ Эль-Ниньо начинается значительно позже и затухает раньше, чем на ЦТ. В годы ЦТ событий стратосфера характеризуется неустойчивым ослаблением ЦПВ, которое начинается раньше, чем при ВТ событиях, но с марта сменяется усилением циклонической циркуляции, которое проникает в тропосферу. Отклик циркуляции и температуры в Арктике на Ла-Нинья в целом противоположен отклику на Эль-Ниньо, а именно с октября по март наблюдается усиление ЦПВ, распространяющееся в тропосферу, которому соответствует общее похолодание. Однако температурный отклик часто имеет двуслойную или даже трехслойную структуру. В приземном слое ВТ Эль-Ниньо сопровождается преимущественно отрицательными аномалиями температуры, тогда как отклик на ЦТ события практически противоположен – с преобладанием потепления в полярных широтах. Отклик на Ла-Нинья существенно изменяется в течение холодного полугодия и характеризуется потеплением в начале периода и значительным похолоданием в конце (февраль-март). Проведена оценка воспроизведения термодинамического отклика на Эль-Ниньо/Ла-Нинья в модели института вычислительной математики РАН и показано, что некорректное воспроизведение отклика в основном связано с недостатками в моделировании стратосферно-тропосферного взаимодействия, реализуемого через поток волновой активности. Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ в рамках научного проекта № 22-17-00190.

## **Method of separation of potential fields by depth**

D. Byzov, P. Martyshko

Y. P. Bulashevich Institute of geophysics UrB RAS, Ekaterinburg, Russia

As a rule, it is known from a priori data that the investigated field anomalies are caused by geological structures occurring at a certain depth below the day surface. The separation of observed potential field anomalies by depth and their relation to deep objects can form the basis of interpretation schemes for modelling tasks. The classical method of field separation includes spectral filtering followed by analytical continuation of the separated anomalies. We propose an original technique for elevation transformations of potential fields based on the solution of the inverse problem of analytical continuation of harmonic functions from the plane into the 'inner' half-space. It is reduced to the solution of the Fredholm integral equation of the 1st genus for the Poisson integral, which can be used to represent the harmonic function in the 'outer' half-space by its boundary values on the plane. The technique is formalised as a parallel algorithm, which is implemented using NVidia CUDA and AMD ROCm software libraries in application software that uses the computational capabilities of graphics accelerators of the mentioned manufacturers. The methodology is considered on the example of separation of the vertical component of the gravity field in the Bouguer reduction for the territory of the Middle Urals within sheets O-40, O-41.

---

## **Метод разделения потенциальных полей по глубине**

Д. Д. Бызов, П. С. Мартышко

Институт геофизики им. Ю. П. Булашевича УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Как правило, из априорных данных известно, что исследуемые аномалии поля вызваны геологическими структурами, залегающими на определенной глубине под дневной поверхностью. Разделение аномалий наблюдаемого потенциального поля по глубине и их связь с глубинными объектами может составлять основу интерпретационных схем для задач моделирования. Классический способ разделения полей включает спектральную фильтрацию с последующим аналитическим продолжением разделенных аномалий. Мы же предлагаем оригинальную методику повысотных трансформаций потенциальных полей, основанную на решении обратной задачи аналитического продолжения гармонических функций с плоскости во «внутреннее» полупространство. Она сводится к решению интегрального уравнения Фредгольма 1-ого рода для интеграла Пуассона, которым можно представить гармоническую функцию во «внешнем» полупространстве по ее граничным значениям на плоскости. Методика формализована в виде параллельного алгоритма, который реализован с использованием программных библиотек NVidia CUDA и AMD ROCm в прикладном программном обеспечении, использующем вычислительные возможности графических ускорителей указанных производителей. Методика рассмотрена на примере разделения вертикальной компоненты гравитационного поля в редукции Буге для территории Среднего Урала в рамках листов O-40, O-41.

## **A new integrated approach to earthquake forecasting**

M. Rodkin

Institute of earthquake prediction theory and mathematical geophysics RAS, Moscow, Russia

Despite decades of intensive research, the task of earthquake prediction remains unsolved. The main difficulties in obtaining forecasts are considered to be the strong variability of the seismic regime (which makes it difficult to identify predictive features), the lack of a developed physical earthquake model, and the lack of actual data. Significant advances have recently been made on all of these issues. The average type character of fore- and aftershock anomalies can be reliably identified and quantitatively parameterised as a result of the construction and analysis of a generalised strong earthquake neighbourhood. From here we obtain a detailed model of a set of typical precursors. It should be noted that the identification of such precursors, as well as the experience of using a number of real-time forecasting algorithms, convincingly testify against the concept of fundamental unpredictability of earthquakes. The analysis of the generalised neighbourhood and parameters of different-depth earthquakes has allowed us to identify certain differences, at the same time corresponding to the expected differences in the physical mechanisms of different-depth earthquakes. Such differences clarify the physics of the seismic process and allow us to raise the issue of forecast detailing, indicating also the expected depth of the event. A fundamentally important question is how much average precursor anomalies are detectable in the source regions of individual strong earthquakes? To answer this question, a number of world and regional earthquake catalogues were analysed. The target earthquakes in this case were events from M6.3+ to 7.5+. The share of strong events in the vicinity of which the expected precursor anomalies are statistically reliably detected varies for different catalogues from <10 to half of cases. At the same time, the share of such events increases with the growth of the number of weak earthquakes registered in their preparation area. In the case of a large number of events in the preparation region, the probability of retrospective prediction reaches 80%. Hence, it seems possible for a given region to raise the question of the requirements for the seismic monitoring system to ensure the detection of forecast anomalies of target M+ events with the required probability. In this way, the question of the required amount of data is partly specified. At the present stage, the most painful task remains the problem of ensuring a sufficiently low number of false alarms. Acknowledgements. This work was supported by RNF (project No. 23-27-00395 ‘Complex anomalies in the generalised vicinity of a strong earthquake; process physics and use for forecasting purposes’).

---

## **Новый комплексный подход к прогнозу землетрясений**

М. В. Родкин

Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, Москва, Россия

Несмотря на десятилетия интенсивных исследований, задача прогноза землетрясений остается нерешенной. Основными трудностями на пути получения прогноза считаются сильная изменчивость сейсмического режима (что затрудняет выявление прогнозных признаков), отсутствие развитой физической модели землетрясения, и недостаток фактических данных. По всем этим вопросам недавно получены значимые продвижения. Средний типовой характер фор- и афтершоковых аномалий удается надежно выделить и количественно параметризовать в результате построения и анализа обобщенной окрестности сильного землетрясения. Отсюда получаем детальную модель набора типовых предвестников. Заметим, что выявление таких предвестников, как и опыт применения ряда алгоритмов прогноза в реальном времени, убедительно свидетельствуют против концепции принципиальной непредсказуемости землетрясений. Анализ обобщенной окрестности и параметров разноглубинных землетрясений позволил выявить определенные различия, при этом отвечающие ожидаемым различиям физических механизмов разноглубинных землетрясениях. Такие отличия уточняют физику сейсмического процесса и позволяют ставить вопрос детализации прогноза, с указанием также и ожидаемой глубины события. Принципиально важный вопрос, насколько средние предвестниковые аномалии выявляемы в очаговых областях отдельных сильных землетрясений? Для ответа на это вопрос был проанализирован ряд мировых и региональных каталогов землетрясений. Целевыми землетрясения при этом были события от M6.3+ до 7.5+. Доля сильных событий, в окрестности которых статистически достоверно выявляются ожидаемые предвестниковые аномалии изменяется для разных каталогов от <10 до половины случаев. При этом доля таких событий растет с ростом числа слабых землетрясений, зарегистрированных в их области подготовки. В случае большого числа событий в области подготовки вероятность ретроспективно прогноза достигает 80%. Отсюда представляется возможным для данного региона ставить вопрос о требованиях к системе сейсмического мониторинга, чтобы обеспечить выявление прогнозных аномалий целевых M+ событий с требуемой вероятностью. Тем самым, отчасти, конкретизируется вопрос о требуемом объеме данных. На настоящем этапе наиболее болезненной остается задача обеспечения достаточно малого числа ложных тревог. Благодарности. Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 23-27-00395 «Комплекс аномалий в обобщенной окрестности сильного землетрясения; физика процесса и использование в целях прогноза»).

## **Instrumental support of ionospheric, magnetic and heliogeophysical observations**

V. Minligareev

Institute of Applied Geophysics, Moscow, Russia

At the peak of the 25th solar activity cycle dangerous space weather phenomena (dangerous heliogeophysical phenomena), their impact on technical means and systems, including spacecraft, technical means of navigation, communication, power engineering, radiation safety during air travel, operation of pipelines, etc. is becoming more and more urgent. Reliability, accuracy and ensuring the uniformity of measurements of instrumental means of ionospheric, magnetic and heliogeophysical observations of the ground platform and space constellation come to the forefront. The report considers ground-based observational instruments – ionosondes, magnetometers, rheometers and technical means of ionospheric tomography. On spacecraft of hydrometeorological and heliogeophysical purpose of ‘Meteor-M’, ‘Elektro-L’, ‘Arktika-M’ series heliogeophysical instrumentation complexes of GGAC with geophysical instruments (sensors of radiation fluxes, ultraviolet and X-ray radiation of the Sun, magnetometers, etc.) allowing to determine the parameters of heliogeophysical situation in the ECS are functioning. Accuracy and reliability of their parameters are determined by a complex of measures on metrological support of measuring instruments – carrying out of appropriate calibrations on the created distributed reference base.

---

## **Инструментальное обеспечение ионосферных, магнитных и гелиогеофизических наблюдений**

В. Т. Минлигареев

Институт прикладной геофизики, Москва, Россия

В пик 25 цикла солнечной активности опасные явления космической погоды (опасные гелиогеофизические явления), влияние их на технические средства и системы, включая космические аппараты, технические средства навигации, связи, электроэнергетики, радиационную безопасность при авиаперелетах, эксплуатацию трубопроводов и др. становится все более актуальным. Достоверность, точность и обеспечение единства измерений инструментальных средств ионосферных, магнитных и гелиогеофизических наблюдений наземной платформы и космической группировки выходит на первый план. В докладе рассмотрены наземные средства наблюдений – ионозонды, магнитометры, реометры, технические средства томографии ионосферы. На космических аппаратах гидрометеорологического и гелиогеофизического назначения серии «Метеор-М», «Электро-Л», «Арктика-М» функционируют гелиогеофизические аппаратные комплексы ГГАК с геофизическими приборами (датчиками радиационных потоков, ультрафиолетового и рентгеновского излучения Солнца, магнитометров и др.), позволяющими определять параметры гелиогеофизической обстановки в ОКП. Точность и достоверность их параметров определяется комплексом мер по метрологическому обеспечению средств измерений – проведение соответствующих калибровок на созданной распределенной эталонной базе.

## Problems of studying coseismic and postseismic processes

V. Mikhailov<sup>1,2</sup>, M. Volkova<sup>1</sup>, A. Konvisar<sup>1,2</sup>, V. Smirnov<sup>1,2</sup>, E. Timoshkina<sup>1</sup>, S. Hairetdinov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Schmidt Institute of physics of the Earth RAS, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

A wide range of ground-based and satellite data is currently actively used in the study of coseismic and postseismic processes. These are data on the Earth surface displacements registered by Global Navigation Satellite Systems, optical and radar images. Important information is provided by models of the global gravity field obtained by the GRACE and GRACE-FO satellite missions. Data on the origin mechanism, hypocentre coordinates, distribution of aftershock activity in space and time, data on fault tectonics, and rupture outbursts to the surface are used. Interpretation of such heterogeneous data is performed within the framework of geodynamic models. For example, to build a model of a seismic rupture or postseismic creep, we use the solution of the problem of displacements of the Earth's surface and changes in the gravity field as a result of movement on a rectangular site located in a homogeneous elastic half-space or in a spherical, radially stratified planet. To describe the viscoelastic stress relaxation process, the solution of F. Pollitz (USGS) for a spherical planet whose properties depend on the radius is used. The gravitational anomaly resulting from an earthquake of magnitude greater than 8.6 is recorded by the GRACE satellites and used in the construction of models of coseismic processes. Importantly, for earthquakes in the zone of oceanic plate collision, displacement data can be obtained only on islands, usually very distant from the source zone. Gravity data that uniformly cover the earth's surface. Gravity models also record a slow increase in gravity anomaly in areas of earthquakes of much lower magnitude (often from 8.2). These anomalies are most likely related to the postseismic creep occurring around the source zone and on its continuation in depth. The inverse problem of determining the rupture surface parameters has a single solution but is unstable. The problem of simultaneous estimation of the contribution of the postseismic creep and viscoelastic relaxation has no single solution. The paper will discuss the regularisation of incorrectly posed problems. Examples of joint interpretation of ground and satellite data in building models of coseismic and postseismic processes for a number of recent earthquakes will be presented. The research was funded by the Russian Science Foundation grant No. 23-17-00064 (<https://rscf.ru/project/23-17-00064>).

---

## Проблемы изучения косейсмических и постсейсмических процессов

В. О. Михайлов<sup>1,2</sup>, М. С. Волкова<sup>1</sup>, А. М. Конвисар<sup>1,2</sup>, В. Б. Смирнов<sup>1,2</sup>, Е. П. Тимошкина<sup>1</sup>,  
С. А. Хайретдинов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия

При исследовании косейсмических и постсейсмических процессов в настоящее время активно используется широкий комплекс наземных и спутниковых данных. Это данные о смещениях земной поверхности, зарегистрированные Глобальными навигационными спутниковыми системами, оптические и радарные снимки. Важную информацию доставляют модели глобального гравитационного поля, получаемые с помощью спутниковой миссии GRACE и GRACE-FO. Привлекаются данные о механизме очага, координатах гипоцентра, распределение афтершоковой активности в пространстве и во времени, данные о разломной тектонике, выходе разрывов на поверхность. Интерпретация таких разнородных данных выполняется в рамках геодинамических моделей. Например, для построения модели сейсмического разрыва или постсейсмического крипа используются решение задачи о смещениях земной поверхности и изменении гравитационного поля в результате подвижки на прямоугольной площадке, расположенной в однородном упругом полупространстве или в сферической, радиально расслоенной планете. Для описания процесса вязкоупругой релаксации напряжений используется решение Ф. Поллитца (USGS) для сферической планеты, свойства которой зависят от радиуса. Гравитационная аномалия, возникающая в результате землетрясения магнитудой более 8.6, регистрируется спутниками GRACE и используется при построении моделей косейсмических процессов. Важно, что для землетрясений в зоне коллизии океанических плит данные о смещениях могут быть получены только на островах, обычно весьма удаленных от очаговой зоны. Гравитационные данные, равномерно покрывающие земную поверхность. Также гравитационные модели регистрируют медленный рост гравитационной аномалии в областях землетрясений значительно меньшей магнитуды (часто от 8.2). Эти аномалии вероятнее всего связаны с постсейсмическим крипом происходящим вокруг очаговой зоны и на ее продолжении в глубину. Обратная задача определения параметров поверхности разрыва имеет единственное решение, но является неустойчивой. Задача одновременной оценки вклада постсейсмического крипа и вязкоупругой релаксации не имеет единственного решения. В докладе будут рассмотрены вопросы регуляризации некорректно поставленных задач. Будут представлены примеры совместной интерпретации наземных и спутниковых данных при построении моделей косейсмических и постсейсмических процессов для ряда недавних землетрясений. Исследования выполнены за счёт гранта Российского научного фонда № 23-17-00064 (<https://rscf.ru/project/23-17-00064>).

## Analysing spatial heterogeneity in the carbon sink capacity of ecosystems using satellite data

K. Myachina<sup>1,2</sup>, I. Kerimov<sup>1</sup>, R. Ryakhov<sup>2</sup>, A. Shchhavelev<sup>2</sup>, S. Dubrovskaya<sup>1,2</sup>, R. Bezborodnikova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Steppe OFIC UrB RAS, Orenburg, Russia

<sup>2</sup>Grozny State Oil Technical University, Grozny, Russia

Assessing the carbon sequestration capacity of ecosystems is the primary ecological and economic challenge of our time. At the moment, natural methods – absorption by terrestrial phytomass of ecosystems – play a key role in carbon sequestration. Information on phytomass parameters allows estimating carbon stocks, and monitoring changes in its state in areas of different geographical scales is directly related to monitoring changes in the carbon balance. The objectives of the study were to assess the carbon sequestration capacity of terrestrial vegetation in mountain-forest, mountain-forest-steppe and steppe landscapes of Russia, and to identify spatial and temporal variations in sequestration capacity based on satellite data. The analysis was performed for seven key sites selected in two regions: the Chechen Republic and the Orenburg Oblast. When selecting the sites, it was required that their natural, climatic and geo-ecological characteristics differed. At the first stage, the dynamics of Net Primary Productivity C (NPPC) at the key sites for 2000-2020 was calculated based on available MOD17A3 products that allow estimating Gross Primary Productivity (GPP) and Net Primary Productivity (NPP). The foothill site with perennial mixed forest and no anthropogenic load was found to show the maximum atmospheric carbon sequestration capacity of 2.6 to 3.5 kgC/m<sup>2</sup>/year. The plot of natural perennial dry steppe is characterised by the minimum carbon sequestration capacity – from 0.5 to 1.5 kgC/m<sup>2</sup>/year. Regression models of dependence of the net carbon sequestration index on climatic and meteorological characteristics were formed, demonstrating the relative stability of the ability of perennial natural vegetation cover to absorb carbon from the atmosphere. At the same time, it can be seen that in the zones dominated by forests, the multiyear increase in NPPC values is minimal. The existing hypotheses explain this both by the decrease of NPP in age-old forests due to stabilisation of GPP and continuous increase of autotrophic respiration, and by the fact that the decrease of NPP in perennial forests is primarily due to the decrease of GPP. The proposed models for forest, steppe and mid-mountain areas with perennial natural vegetation can be applied to areas with similar geo-ecological characteristics.

---

## Анализ пространственной неоднородности поглотительной способности экосистем в отношении углерода на основе спутниковых данных

К. В. Мячина<sup>1,2</sup>, И. А. Керимов<sup>1</sup>, Р. В. Ряхов<sup>2</sup>, А. Н. Щавелев<sup>2</sup>, С. А. Дубровская<sup>1,2</sup>, Р. М. Безбородникова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт степи ОФИЦ УрО РАН, Оренбург, Россия

<sup>2</sup>ГГНТУ им. акад. М. Д. Миллионщикова, Грозный, Россия

Оценка способности экосистем поглощать углерод является первоочередной эколого-экономической задачей нашего времени. На данный момент естественные методы – поглощение наземной фитомассой экосистем – играют ключевую роль в улавливании углерода. Информация о параметрах фитомассы позволяет оценить запасы углерода, а мониторинг изменения её состояния на территориях различного географического масштаба напрямую связан с мониторингом изменений углеродного баланса. Цели исследования – оценить возможности поглощения углерода наземной растительностью горно-лесных, горно-лесостепных и степных ландшафтов России, выявить пространственно-временные вариации улавливающей способности на основе спутниковых данных. Анализ выполнялся для семи ключевых участков, выделенных в двух регионах: Чеченской Республике и Оренбургской области. При выборе участков требовалось, чтобы различались их природно-климатические и геоэкологические характеристики. На первом этапе рассчитывалась динамика показателя поглощения чистого углерода растительностью (Net Primary Productivity C, (NPPC)) на ключевых участках за 2000-2020 гг. на основе доступных продуктов MOD17A3, позволяющих оценить валовую первичную продуктивность (Gross Primary Productivity, (GPP)) и чистую первичную продуктивность (Net Primary Productivity, (NPP)). Выявлено, что предгорный участок с многолетним смешанным лесом и отсутствием антропогенной нагрузки демонстрирует максимальную способность к улавливанию углерода из атмосферы – от 2,6 до 3,5 кгС/м<sup>2</sup>/год. Участок естественной многолетней сухой степи характеризуется минимальной способностью к улавливанию углерода – от 0,5 до 1,5 кгС/м<sup>2</sup>/год. Сформированы регрессионные модели зависимости показателя поглощения чистого углерода от климато-метеорологических характеристик, демонстрирующие относительную стабильность способности многолетнего естественного растительного покрова поглощать углерод из атмосферы. В то же время видно, что в зонах с преобладанием лесов многолетний прирост значений NPPC минимален. Существующие гипотезы объясняют это как снижением NPP в возрастных лесах за счет стабилизации GPP и непрерывного повышения автотрофного дыхания, так и тем, что снижение NPP в многолетних лесах в первую очередь обусловлено снижением GPP. Предложенные модели для лесного, степного и среднегорного участков с многолетней естественной растительностью могут применяться для территорий со схожими геоэкологическими характеристиками.

## **Major natural catastrophes in the Holocene and their impact on climate variations and Earth's ecosystems**

V. Gussyakov

The Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia

Major natural disasters of the early 21st century (the 2004 Indonesian tsunami, the 2005 Kashmir earthquake, the 2005 Katrina hurricane in the USA, the 2008 Myanmar flooding) have drawn the attention of the scientific community to the problem of their prediction and assessment of possible risk. However, these disasters are still regional in scale and stand out from the general series of natural disasters only on a very short geological time scale – 100-200 years. Going beyond these time frames leads to the realisation of the possibility and reality of natural disasters, much larger in their energy and spatial scales, which occurred in the recent geological past of the Earth and, therefore, are quite possible in the future. The largest climatic catastrophe covering almost the entire northern hemisphere of the Earth at the Pleistocene/Holocene boundary (about 12,820 years ago), pronounced climatic anomalies (environmental downturns), recorded everywhere by annual tree rings, anomalous layers in lake sediments and glacier drilling columns, in 4370, 3195, 2350, 1628, 1159, 207, 44 B.C., as well as in 536-540, 1292-1295 and 1348 A.D., were almost global in scope. Traces of these catastrophes have been preserved as geological evidence (anomalous layers in bottom sediments, buried soils and dunes), biological evidence (disappearance or appearance of new species of animals and plants in the area, anomalies of dendrochronological series), archaeological facts indicating sudden migrations and desolation of habitats. Due to the scale of the problem and the level of its interdisciplinarity, the question of the sources and mechanisms of the spread of these climatic anomalies is acutely debatable. Much of the scientific community in certain disciplines (e.g. history) ignores their existence, considering data from other sciences to be sketchy, contradictory and therefore unreliable. In other disciplines dealing with direct observations and quantitative measurements of natural processes, the existence of such global anomalies is not denied, but there are divergent views on their causes. The paper analyses the geological, archaeological and historical evidence for the three major natural catastrophes that occurred on Earth 12,820, 4,350 years ago and in 536-540 AD, analysing their possible causes and consequences for the Earth's climate and population.

---

## **Крупнейшие природные катастрофы в голоцене и их влияние на вариации климата и экосистемы Земли**

В. К. Гусьяков

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск, Россия

Крупные природные катастрофы начала XXI века (Индонезийское цунами 2004 года, землетрясение в Кашмире 2005 года, ураган Катрина 2005 года в США, наводнение в Мьянмаре 2008 года) привлекли внимание научного общества к проблеме их предсказания и оценки возможного риска. Однако эти катастрофы являются все же региональными по масштабу и выделяются из общего ряда стихийных бедствий только на очень коротком по геологическим меркам временном масштабе – 100-200 лет. Выход за эти временные рамки приводит к осознанию возможности и реальности природных катастроф, значительно более крупных по своим энергетическим и пространственным масштабам, которые происходили в недавнем геологическом прошлом Земли, и, следовательно, вполне возможны в будущем. Крупнейшая, охватившая практически все северное полушарие Земли климатическая катастрофа на рубеже плейстоцен/голоцен (около 12,820 лет тому назад), выраженные климатические аномалии (environmental downturns), повсеместно фиксируемые по годовым кольцам деревьев, наличию аномальных слоев в озерных осадках и колонках бурения ледников, в 4370, 3195, 2350, 1628, 1159, 207, 44 годах до нашей эры, а также в 536-540, 1292-1295 и в 1348 годах нашей эры, были практически глобальными по охвату. Следы этих катастроф сохранилось как в виде геологических свидетельств (аномальные слои в донных осадках, погребенные почвы и дюны), биологических свидетельств (исчезновение либо появление в ареале новых видов животных и растений, аномалии дендрохронологических рядов), археологических фактов, указывающих на внезапные миграции и запустения привычных ареалов обитания. В силу масштабности проблемы и уровня ее междисциплинарности, вопрос об источниках и механизмах распространения этих климатических аномалий является остро дискуссионным. Значительная часть научного сообщества в отдельных дисциплинах (например, в исторических) игнорирует их существование, считая данные, поступающие от других наук отрывочными, противоречивыми и, следовательно, недостоверными. В других дисциплинах, имеющих дело с прямыми наблюдениями и количественными измерениями природных процессов, существование таких глобальных аномалий не отрицается, однако мнения об их причинах расходятся. В докладе анализируются геологические, археологические и исторические свидетельства о трех крупнейших природных катастрофах, происходивших на Земле 12,820, 4350 лет тому назад и в 536-540 гг. нашей эры, анализируются их возможные причины и последствия для климата и населения Земли.

## Mapping of the fault network of the Sikhote-Alin orogenic belt in geophysical fields

A. Bronnikov<sup>1</sup>, M. Nosyrev<sup>1</sup>, A. Didenko<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Institute of tectonics and geophysics FEB RAS, Khabarovsk, Russia

<sup>2</sup> Geological Institute RAS, Moscow, Russia

The report is devoted to the study of fault tectonics of the Sikhote-Alin orogenic belt. It is studied by profiles of magnetotelluric soundings made over the last 9 years by ITiG FEB RAS. In the course of the analysis, complex characteristics (electrical, density, magnetic) of a number of regional faults of the study area were obtained. The following faults were involved in the analysis: Manominsky, Central Sikhote-Alin, Kabuli-Khor, Verkhneanuysky, East Sikhote-Alin, Srednekhankaisky, Arsenyevsky, Samarkinsky, Meridionalny, Partizansky, Dalnerechensky, Kabarginsky. Most of the regional faults are specifically mapped in geophysical data. According to the results of magnetotelluric studies, these are mainly zones of relative decrease in electrical resistivity or contrasting geoelectric boundaries in the section. According to gravity field modelling data, faults are usually shown as contrasting petrodensity boundaries developed to depths of tens of km, and less frequently as systems of linearly oriented local density depressions in the upper part of the Earth's crust. In the magnetic field, faults often coincide with zones of its increased horizontal gradient, and in some cases coincide with narrow magnetic bodies oriented along the fault. When interpreting the induction vectors of the geoelectric field, the depth of conductive zones corresponding to faults was estimated. Based on this, it can be concluded that there exists a deep conductive channel going below the Earth's crust into the upper mantle for the Partizansky, Arsenyevsky, and Samarkinsky faults. This work was supported by a grant from the Russian Science Foundation (project No. 22-17-00023).

---

## Отображение разломной сети Сихотэ-Алинского орогенного пояса в геофизических полях

А. К. Бронников<sup>1</sup>, М. Ю. Носырев<sup>1</sup>, А. Н. Диденко<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Институт тектоники и геофизики ДВО РАН, Хабаровск, Россия

<sup>2</sup> Геологический институт РАН, Москва, Россия

Доклад посвящён изучению разломной тектоники Сихотэ-Алинского орогенного пояса. Он изучен профилями магнитотеллурических зондирований, сделанными за последние 9 лет ИТиГ ДВО РАН. В ходе анализа были получены комплексные характеристики (электрические, плотностные, магнитные) ряда региональных разломов площади исследования. В анализ были вовлечены следующие разломы: Маноминский, Центральный Сихотэ-Алинский, Кабули-Хорский, Верхнеанюйский, Восточно-Сихотэ-Алинский, Среднеханкайский, Арсеньевский, Самаркинский, Меридиональный, Партизанский, Дальнереченский, Кабаргинский. Большая часть региональных разломов специфически отображается в геофизических данных. По результатам магнитотеллурических исследований это в основном зоны относительного понижения электрического сопротивления или контрастные геоэлектрические границы в разрезе. По данным моделирования поля силы тяжести разломы, как правило, отображаются контрастными петроплотностными границами, развитые до глубин в десятки км, реже – системами линейно ориентированных локальных понижений плотности в верхней части земной коры. В магнитном поле разломы часто совпадают с зонами его повышенного горизонтального градиента, в ряде случаев совпадают с узкими магнитными телами, ориентированными вдоль разлома. При интерпретации индукционных векторов геоэлектрического поля была оценена глубинность проводящих зон, соответствующим разломам. На основании этого можно сделать вывод о существовании глубинного проводящего канала, уходящего ниже земной коры в верхнюю мантию для Партизанского, Арсеньевского и Самаркинского разломов. Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-17-00023).

## **Development of the magnetic observatory network in Russia and neighboring countries: recent achievements and current issues**

R. Krasnoperov, A. Soloviev, R. Sidorov, D. Kudin, A. Grudnev, V. Sergeev  
Geophysical Center of the Russian Academy of Sciences

Modern magnetic observatories are the main source of data on the Earth's magnetic field and its dynamics within different time scales. Observatory data are widely used in solving a number of fundamental and applied problems. The presented report is devoted to a brief outlook of the current state and recent achievements in the development of the network of magnetic observatories in Russia and neighboring countries. Nowadays the International Real-Time Magnetic Observatory Network (INTERMAGNET) provides geomagnetic data of the highest quality. Currently 10 Russian observatories ("Arti", "Borok", "Vostok" (Antarctica), "Irkutsk", "Magadan", "Novosibirsk", "Paratunka", "St. Petersburg", "Khabarovsk", "Yakutsk") are certified in the INTERMAGNET network. Observatories that in many aspects meet the standards of this network, but for various reasons have not passed the certification procedure, are being actively developed on the territory of the Russian Federation. However, the existing spatial coverage of the Russian territory by such full-scale observatories is insufficient. This sparsity is critical for the high-latitude regions and the Arctic zone of the Russian Federation. This fact justifies the need for further active development of the national geomagnetic observation network. At the same time, the improvement of the geophysical equipment is also of great importance: increase of the instrument accuracy and sampling frequency, data transmission in near real time, introduction of modern tools for data processing and analysis. Since the late 2000s, the Geophysical Center of the Russian Academy of Sciences in cooperation with academic and research institutes has been actively working on the development of the observatory network in Russia and neighboring countries. Brief information on recent results and topical problems will be presented.

---

## **Развитие сети магнитных обсерваторий в России и сопредельных странах: последние достижения и актуальные проблемы**

Р. И. Красноперов, А. А. Соловьев, Р. В. Сидоров, Д. В. Кудин., А. А. Груднев, В. Н. Сергеев  
Геофизический центр Российской академии наук, Москва, Россия

Современные магнитные обсерватории являются основным источником данных о параметрах магнитного поля Земли и его динамике в различных временных масштабах. Обсерваторские данные находят широкое применение при решении целого ряда фундаментальных и прикладных задач. Представляемый доклад посвящен краткому обзору текущего состояния и последних достижений в развитии сети магнитных обсерваторий в России и сопредельных странах. На данный момент международная сеть магнитных обсерваторий ИНТЕРМАГНЕТ (International Real-Time Magnetic Observatory Network – INTERMAGNET) представляет наиболее высокий стандарт качества временных рядов геомагнитных наблюдений. На сегодняшний день 10 российских обсерваторий («Арти», «Борок», «Восток» (Антарктида), «Иркутск», «Магадан», «Новосибирск», «Паратунка», «Санкт-Петербург», «Хабаровск», «Якутск») сертифицированы в сети ИНТЕРМАГНЕТ. Также на территории РФ активно развиваются обсерватории, по многим параметрам соответствующие стандартам этой сети, но по разным причинам не прошедшие процедуру сертификации. Однако существующий пространственный охват территории России полномасштабными обсерваториями недостаточен, особенно это касается высокоширотных областей и Арктической зоны РФ. Данное обстоятельство диктует необходимость дальнейшего активного развития отечественной геомагнитной наблюдательной сети. При этом большое значение имеет и совершенствование используемой геофизической аппаратуры: повышение точности приборов, увеличение частоты дискретизации регистрируемых данных, передача данных во времени, близком к реальному, внедрение современных инструментов обработки и анализа данных. С конца 2000-х гг. Геофизический центр РАН совместно с рядом академических и отраслевых институтов ведет активную работу по развитию обсерваторской сети на территории России и сопредельных стран. В докладе будут представлены некоторые последние результаты этой деятельности и затронуты основные актуальные проблемы.

## Some results of studies of volcanic processes using satellite radar interferometry methods

M. Volkova, V. Mikhailov

Schmidt Institute of physics of the Earth RAS, Moscow, Russia

In volcanic and seismically active areas, it is very important to assess land surface displacements, which can be detected by a variety of modern methods, both ground-based and satellite-based, including satellite radar interferometry. Displacements observed on volcanic slopes are often induced by internal and external processes related in one way or another to the movement of magma in the Earth's crust. For example, landslides and rockfalls caused by volcanic earthquakes, lava and pyroclastic flows forming new relief on the surface, or slope uplift/sedimentation as magma advances to the surface or, conversely, retreats from the magma source. Data on the registration of such displacements can be used to study volcanic activity in general and magmatic systems in particular. One of the approaches to the study of processes related to volcanic activity is the interpretation of measured displacements of the volcanic surface by means of building mathematical models and solving inverse problems, which is reduced to the determination of model parameters, at which the best agreement of the numerical solution with the observed data is achieved. Depending on the object of study, the model parameters make it possible to estimate the velocities of magma movement, scale, depth of occurrence and physical characteristics of the magma centre, etc. The paper presents some results of studies of volcanoes of the Kuril-Kamchatka subduction zone on the basis of data on earth surface displacements calculated by PCA interferometry methods. The recorded displacements allowed us to study in detail with the help of mathematical models the causes of anomalously rapid subsidence of the upper part of the lava field of Tolbachik in 2012-2013, eight times higher than average values, to obtain quantitative estimates of porosity, glass content and lava temperature 7 years after the volcanic eruption. We will also present estimates of the contribution of various processes to the shrinkage of the pyroclastic flow on 29.08.2019 at Shiveluch volcano, and a model of the intrusive body emplacement that formed the uplift on the western slope of Shiveluch volcano in the post-paroxysmal phase of the eruption on 11.04.2023. The research was funded by the Russian Science Foundation grant No. 23-17-00064 (<https://rscf.ru/project/23-17-00064>).

---

## Некоторые результаты исследований вулканических процессов с помощью методов спутниковой радарной интерферометрии

М. С. Волкова, В. О. Михайлов

Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

В вулканических и сейсмически активных районах очень важна оценка смещений земной поверхности, которые можно обнаружить различными современными методами как наземными, так и спутниковыми, в том числе с помощью спутниковой радарной интерферометрии. Смещения, наблюдаемые на склонах вулканов, часто индуцированы внутренними и внешними процессами так или иначе связанными с движением магмы в земной коре. Например, оползни и обвалы, вызванные вулканическими землетрясениями, лавовые и пирокластические потоки, формирующие новый рельеф на поверхности, или поднятие/оседание склонов при продвижении магмы к поверхности или, наоборот, отступлении из магматического очага. Данные о регистрации таких смещений могут быть использованы для исследования вулканической активности в целом и магматических систем в частности. Одним из подходов к изучению процессов, связанных с вулканической деятельностью, является интерпретация измеренных смещений поверхности вулкана с помощью построения математических моделей и решение обратных задач, которое сводится к определению параметров модели, при которых достигается наилучшее согласование численного решения с наблюдаемыми данными. В зависимости от объекта исследования, параметры модели позволяют оценить скорости перемещения магмы, масштабы, глубину залегания и физические характеристики магматического очага и т.д. В работе представлены некоторые результаты исследований вулканов Курило-Камчатской зоны субдукции на основе данных о смещениях земной поверхности, рассчитанных методами PCA интерферометрии. Зарегистрированные смещения позволили детально изучить с помощью математических моделей причины anomalously быстрого оседания верхней части лавового поля Толбачика 2012-2013 гг, восьмикратно превышающего средние значения, получить количественные оценки пористости, содержания стёкол и температуры лавы спустя 7 лет после извержения вулкана. Также будут представлены оценки вклада различных процессов в усадку пирокластического потока 29.08.2019 г. на вулкане Шивелуч, и модель внедрения интрузивного тела, сформировавшего поднятие на западном склоне вулкана Шивелуч в постпароксизмальную фазу извержения 11.04.2023 г.и. Исследования выполнены за счёт гранта Российского научного фонда № 23-17-00064 (<https://rscf.ru/project/23-17-00064>).

## Technogenic talik as an indicator of permafrost condition interacting with hydraulic structures

S. Velikin<sup>1</sup>, S. Milanovskiy<sup>2,3</sup>, V. Istratov<sup>2,4</sup>, Yu. Ivanov<sup>1</sup>, A. G. Petrunin<sup>2,5</sup>

<sup>1</sup> VPRS Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Chernyshevskiy, Russia

<sup>2</sup> Schmidt Institute of physics of the Earth RAS, Moscow, Russia

<sup>3</sup> Sergeev Institute of Environmental Geoscience RAS, Moscow, Russia

<sup>4</sup> Radionda, Moscow, Russia

<sup>5</sup> Geophysical Center RAS, Moscow, Russia

Global and regional changes in the cryolithozone are rather slow in time and laterally heterogeneous, which complicates their assessment and forecast. However, there are engineering objects (reservoirs, fuel and energy facilities, nuclear power plants) that create local thermal load on permafrost rocks, changing their state up to thaw in relatively short time. This allows us to consider them as natural models with acceleration of complex processes occurring in the cryosphere. Taliks are associated with the ice↔water phase transition, which determines the peculiarities of changes in the geophysical characteristics of water-saturated rocks. These features allow to use geophysical fields associated with them to identify, control and predict both natural and anthropogenic taliks. The aim of the study is to systematically analyse the results of geophysical monitoring of the state of frozen rocks exposed to the calving effect of hydraulic structures, since the overwhelming majority of accidents and failures at hydraulic structures (HS) in the northern regions are associated with the manifestation of filtration. According to the experience of studying the geocryological condition of the bases of hydraulic structures of Western Yakutia in the course of long-term operation under the conditions of natural-technogenic influences that caused the development of filtration processes as part of the necessary informative geophysical observation complex can be used: electrotomography; borehole logger measuring systems capable of autonomous mode to conduct sessions of simultaneous temperature, piezometric and resistivity measurements; seismometric and HS surveys; inter-borehole surveys; geophysical monitoring systems. The latter method, in 3D/4D format, provides information on the structure and permafrost/melt state of the massif, and allows controlling the development of cryological processes in space and time. At the same time, the sensitivity of the method is sufficient to record changes in the electrical properties of rocks at the initial stage of thawing (the reverse process – freezing – can also be recorded). The paper will present the results of complex studies on HS. The modelling studies included the solution of a non-stationary problem of heat and mass transfer in a fractured porous saturated permafrost medium. The model analyses the conditions causing the occurrence and development of talik near the reservoir, such as air temperature fluctuations, snow cover, seasonal changes in reservoir water temperature, changes in the permeability of the frozen ground and the internal structure of the frozen massif.

---

### Техногенный талик как индикатор состояния мерзлоты взаимодействующей с гидротехническими объектами

С. А. Великин<sup>1</sup>, С. Ю. Милановский<sup>2,3</sup>, В. А. Истратов<sup>2,4</sup>, Ю. Г. Иванов<sup>1</sup>, А. Г. Петрунин<sup>2,5</sup>

<sup>1</sup> ВНИМС Института Мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН, Чернышевский, Россия

<sup>2</sup> Институт Физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

<sup>3</sup> Институт Геоэкологии им. Е. М. Сергеева РАН, Москва, Россия

<sup>4</sup> Радионда, Москва, Россия

<sup>5</sup> Геофизический Центр РАН, Москва, Россия

Глобальные и региональные изменения криолитозоны довольно медленны во времени и латерально неоднородны, что затрудняет их оценку и прогноз. Однако, имеются инженерные объекты (водохранилища, объекты ТЭК, АЭС), которые создают локальную тепловую нагрузку на многолетнемерзлые породы, меняя их состояние вплоть до талого за относительно малые времена. Это позволяет рассматривать их как натурные модели с ускорением сложных процессов протекающих в криосфере. Талики связаны с фазовым переходом лед↔вода, определяющим особенности изменения геофизических характеристик водонасыщенных горных пород. Эти особенности позволяют использовать геофизические поля, связанные с ними, для выделения, контроля и прогноза как природных, так и техногенных таликов. Цель исследования – системный анализ результатов геофизического мониторинга состояния мерзлых пород, подверженных отепляющему воздействию гидротехнических сооружений, поскольку подавляющее большинство аварий и отказов на гидротехнических сооружениях (ГТС) в северных регионах связаны с проявлением фильтрации. По опыту изучения геокриологического состояния оснований ГТС Западной Якутии в процессе многолетней эксплуатации в условиях природно-техногенных воздействий обусловивших развитие фильтрационных процессов в составе необходимого информативного геофизического наблюдательного комплекса можно использовать: электротомографию; скважинные логгерные измерительные системы, способные в автономном режиме проводить сеансы одновременных температурных, пьезометрических и резистивиметрических измерений; сейсмометрические и георадарные съёмки; межскважинное радиоволновое просвечивание. Последний метод, в формате 3D/4D дает информацию о строении и мерзло/талом состоянии массива, позволяет контролировать развитие криологических процессов в пространстве и времени. При этом, чувствительности метода достаточно, чтобы фиксировать изменения в электрических свойствах пород на начальной стадии процесса растепления (возможна фиксация и обратного процесса – промерзания). В докладе будут представлены результаты комплексных исследований на ГТС. Модельные исследования включали решение нестационарной задачи тепломассопереноса в трещиновато-пористой насыщенной мерзлой среде. Модель анализирует условия, вызывающие возникновение и развитие талика вблизи водохранилища, такие как колебания температуры воздуха, снежный покров, сезонное изменение температуры воды в водохранилище, изменение проницаемости мерзлого грунта и внутренней структуры мерзлого массива.

## **Development of internal crustal displacement deficit from GNSS data before and during the earthquake Hualien, Taiwan (03 April 2024, Mw=7.4)**

P. Dokunin<sup>1</sup>, V. Kaftan<sup>2</sup>, A. Melnikov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Geophysical Center RAS, Moscow, Russia

The study analyses the evolution of internal crustal movements in Taiwan in relation to the seismic process over the last 10 years. The primary data were time series of continuous GPS observations, earthquake catalogue and location of the main tectonic structures. Vectors of horizontal displacements of GPS stations were determined for each day with respect to the initial epoch. An internal reference system was used, when the general movement of the territory defined in the global coordinate system was excluded. A video animation was constructed to synoptically analyse the evolution of internal motions in relation to seismicity and tectonics. It is shown that most of the strong  $M > 6$  earthquakes occurred inside and at the boundaries of zones of deficit of internal crustal motions. This allows us to consider such areas of increased crustal density as a prognostic sign. They are detected as GPS observations accumulate over several years and are destroyed by strong seismic events as well as by large groups of moderate and weak earthquakes. At the time of 2024, a high-density zone has formed on the island, extending in a band from the east to west coast. It connects the convergence of the Ryukyu and Manila Deep Troughs with the land of the island territory. It can be assumed that this area marks a zone of increased seismic-generating stresses, which is important to take into account in further seismic hazard assessment.

---

## **Развитие дефицита внутренних смещений земной коры по данным ГНСС до и во время землетрясения Hualien, Taiwan (03 April 2024, Mw=7.4)**

П. А. Докукин<sup>1</sup>, В. И. Кафтан<sup>2</sup>, А. Ю. Мельников<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, Москва, Россия

<sup>2</sup> Геофизический центр РАН, Москва, Россия

Исследование посвящено анализу эволюции внутренних движений земной коры территории Тайваня, в связи с ходом сейсмического процесса за последние 10 лет. Первичными данными послужили временные ряды непрерывных GPS наблюдений, каталог землетрясений и расположение основных тектонических структур. На каждые сутки по отношению к начальной эпохе определялись векторы горизонтальных смещений станций GPS. Использовалась внутренняя система отсчета, когда общее движение территории, определенное в глобальной системе координат, исключалось. Была построена видео-анимация для синоптического анализа эволюции внутренних движений в связи с сейсмичностью и тектоникой. Показано, что большинство сильных  $M > 6$  землетрясений произошло внутри и на границах зон дефицита внутренних движений земной коры. Это позволяет рассматривать такие области повышенной плотности земной коры в качестве прогностического признака. Они обнаруживаются по мере накопления GPS наблюдений за несколько лет и разрушаются сильными сейсмическими событиями, а также большими группами умеренных и слабых землетрясений. На момент 2024 г. на территории острова образовалась зона повышенной плотности, вытянутая полосой от восточного к западному побережью. Она связывает места сближения глубоководных желобов Рюкю и Манила с сушей островной территории. Можно полагать, что эта область маркирует зону повышенных сейсмогенерирующих напряжений, что важно принимать во внимание при дальнейшей оценке сейсмической опасности.

## **Risk assessment of hazardous space weather impacts on Arctic infrastructure facilities: study of variability of magnetotelluric fields along the Messoyakha-Norilsk pipeline line**

E. Sokolova<sup>1,2</sup>, O. Kozyreva<sup>2</sup>, I. Kupriyanova<sup>1</sup>, D. Epishkin<sup>3</sup>, D. Yakovlev<sup>3</sup>

<sup>1</sup> All-Russian research geological oil institute (VNIGNI), Moscow, Russia

<sup>2</sup> Schmidt Institute of physics of the Earth RAS, Moscow, Russia

<sup>3</sup> «NordWest», Moscow, Russia

Development of the Arctic regions is associated with the risks of negative impacts of space weather anomalies on the industrial facilities being constructed. Anomalous corpuscular-wave phenomena in the near-Earth plasma generate perturbations of the magnetosphere and ionosphere (geomagnetic storms, substorms, etc.) and, as a consequence, geomagnetically induced electric currents (GICs) in conductive earthed structures. Particularly intense in the auroral zone, GICs threaten accidents on railways, in power transmission systems and control electronics. Pipelines experience the cumulative effect of GICs: the associated variations in the ground-pipe potential difference often exceed cathodic protection thresholds, which accelerates electrochemical corrosion and pipe wear. Forecasting of extreme values of GICs, which is important for pipeline design, is impossible without analysing the variability of their ‘drivers’ – geoelectric (magnetotelluric, MT) fields, responses of the conducting Earth to geomagnetic variations. Their magnitude and direction are determined by both external excitation and crustal geoelectric inhomogeneities. The report presents methods and results of studying the spatial and temporal variability of MT fields within the Yenisei-Khatanga trough and the adjacent section of the Messoyakha-Norilsk gas pipeline line. Information on the geoelectric structure of the region is provided by a unique array of MT data (the result of regional oil and gas prospecting works of «North-West»). Records of anomalous magnetic events are taken from the archive of geomagnetic monitoring data in the Arctic. The geoelectric responses were evaluated in both the private and time domains. The first approach produced ‘geoelectric hazard’ maps for the region's infrastructure facilities: the areas of extreme ULF band responses are most at risk. The temporal analysis revealed the section of the Messoyakha-Norilsk gas pipeline line traced by intensive geoelectric responses, where the probability of destruction is the highest and accumulates with each series of anomalous geomagnetic perturbations. Estimates of the potential difference induced on it by GICs, even under moderate magnetic storm, exceeded the conventional level of cathodic protection. The first experience of statistical analysis of the amplitude level of geoelectric responses in the pipeline area was obtained. The study laid the basis for the necessary work on forecasting the negative impact of GICs on the infrastructure of the subpolar regions of the Russian Federation. It is shown that for adequate assessment of their risks it is necessary to take into account the geoelectric structure of the region of works.

---

### **К оценке рисков опасных воздействий космической погоды на инфраструктурные объекты Арктики: изучение variability магнитотеллурических полей вдоль линии газопровода «Мессояха-Норильск»**

Е. Ю. Соколова<sup>1,2</sup>, О. В. Козырева<sup>2</sup>, И. С. Куприянов<sup>1</sup>, Д. В. Епишкин<sup>3</sup>, Д. В. Яковлев<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт (ВНИГНИ), Москва, Россия

<sup>2</sup> Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

<sup>3</sup> «Северо-Запад», Москва, Россия

Освоение арктических областей сопряжено с рисками негативных воздействий аномалий космической погоды на возводимые промышленные объекты. Аномальные корпускулярно-волновые явления в околоземной плазме порождают пертурбации магнитосферы и ионосферы (геомагнитные бури, суббури и др.) и, как следствие, геомагнитно-индуцированные электрические токи (ГИТ) в проводящих наземных конструкциях. Особо интенсивные в авроральной зоне, ГИТ грозят авариями на железных дорогах, в системах ЛЭП и управляющей электроники. Трубопроводы испытывают кумулятивный эффект ГИТ: сопутствующие вариации разности потенциала земля-труба часто превышают пороги катодной защиты, что ускоряет электрохимическую коррозию и износ труб. Прогноз экстремальных величин ГИТ, важный для проектирования трубопроводов, невозможен без анализа variability их «драйверов» – геоэлектрических (магнитотеллурических, МТ) полей, откликов проводящей Земли на геомагнитные вариации. Их величина и направление определяются как внешним возбуждением, так и коровыми геоэлектрическими неоднородностями. В докладе представлены методы и результаты изучения пространственно-временной изменчивости МТ полей в пределах Енисей-Хатангского прогиба и прилегающего участка линии газопровода «Мессояха-Норильск». Сведения о геоэлектрическом строении региона обеспечены уникальным массивом МТ данных (результат региональных нефтегазопроисковых работ ООО «Северо-Запад»). Записи аномальных магнитных событий взяты из архива данных геомагнитного мониторинга в Арктике. Оценка геоэлектрических откликов проводилась как в частной, так и во временной областях. Первый подход позволил получить карты «геоэлектрической опасности» для инфраструктурных объектов региона: зоны экстремальных откликов ULF диапазона подвержены наибольшему риску. Временной анализ выявил участок линии газопровода «Мессояха-Норильск», трассируемый интенсивными геоэлектрическими откликами, где вероятность деструкций наибольшая и накапливается с каждой серией аномальных геомагнитных пертурбаций. Сделанные оценки разности потенциалов, наводимой на нем ГИТ, даже при умеренной магнитной буре превысили конвенционный уровень катодной защиты. Получен первый опыт статистического анализа амплитудного уровня геоэлектрических откликов в районе газопровода. Исследование заложило базу для необходимых работ по прогнозу негативных воздействий ГИТ на инфраструктуру субполярных областей РФ. Показано, что для адекватной оценки их рисков необходим учет геоэлектрического строения региона работ.

## **Principles of creation of regional structural weight prognostic and prospecting models of ore-forming systems based on geoinformation technologies and Earth remote sensing data processing on the example of some areas of the Russian Federation**

S. Ustinov, V. Petrov, V. Minaev, A. Svecherevskiy

Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry (IGEM) RAS, Moscow, Russia

Given the current geological and economic factors of the country's mineral resource base development, there is an urgent need for a clearer definition and justification of the objectives of prospecting and appraisal geological exploration to discover new deposits, especially strategic metals and scarce types of solid minerals (SM). The majority of areas potentially prospective for various types of mineral resources are located within inaccessible and poorly explored territories. With the development of modern satellite imagery technologies and the availability of high spatial resolution multidimensional remote sensing data, it is now possible to accurately identify the tectonic structure of territories, carry out geodynamic reconstructions, assess the stress-strain state of rock massifs, determine the kinematics of displacements in the zones of major faults, carry out mineral mapping, and identify emanation anomalies over the prospective areas. Taking into account the established geological structure, results of earlier geological exploration works and ground surveys on the basis of GIS technologies, remote sensing data processing, construction of a digital elevation model, use of structural-geomorphological (lineament analysis), spatial-geometric, spatial-density and tectonophysical methods for areas on a regional scale (1:5 000 000 – 1:200 000), the author's approach is presented, which allows to formulate and visualise spatially, in the form of thematic schemes. By means of normalisation and determination of weight coefficients of each criterion, structural weighted predictive-search models corresponding to the scales of the investigated areas were created. These models serve as an important basis for a clearer setting of prospecting and exploration works within the boundaries of the corresponding multi-scale sheets of the state geological map. The research was funded by the Russian Science Foundation grant No. 24-27-00218, <https://rscf.ru/project/24-27-00218/>

---

## **Принципы создания региональных структурных весовых прогнозно-поисковых моделей рудообразующих систем на основе геоинформационных технологий и обработки данных дистанционного зондирования Земли на примере отдельных площадей Российской Федерации**

С. А. Устинов, В. А. Петров, В. А. Минаев, А. Д. Свечеревский

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ) РАН, Москва, Россия

Учитывая современные геолого-экономические факторы развития минерально-сырьевой базы страны возникает острая необходимость более четкой постановки и обоснования задач поисково-оценочных геологоразведочных работ с целью обнаружения новых месторождений, особенно стратегических металлов и дефицитных видов твердых полезных ископаемых (ПИ). Большинство потенциально перспективных на различные типы ПИ площадей располагаются в пределах труднодоступных слабоизученных территорий. С развитием технологий современной спутниковой съемки и доступностью получаемых разноплановых данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) высокого пространственного разрешения появляется возможность достаточно точного выявления особенностей тектонического строения территорий, проведения геодинамических реконструкций, оценки напряженно-деформированного состояния массивов горных пород, установления кинематики перемещений в зонах основных разломов, проведения минерального картирования, выявления эманационных аномалий над предполагаемыми крупными рудными скоплениями. С учетом установленного геологического строения, результатов ранее проведенных геологоразведочных работ и наземных съемок на основе применения ГИС технологий, обработки данных ДЗЗ, с построением цифровой модели рельефа, использованием структурно-геоморфологических (линеamentный анализ), пространственно-геометрических, пространственно-плотностных и тектонофизических методов для площадей в региональном масштабе (1:5 000 000 – 1:200 000) представлен авторский подход, позволяющий сформулировать и пространственно, в виде тематических схем, визуализировать структурные и тектонофизические критерии, определяющие размещение рудной минерализации в пределах рассматриваемых территорий. С помощью нормирования и определения коэффициентов веса каждого критерия созданы структурные весовые прогнозно-поисковые модели, соответствующие масштабам исследуемых площадей. Данные модели служат важной основой для более четкой постановки поисковых геологоразведочных работ в границах соответствующих разномасштабных листов государственной геологической карты. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-27-00218, <https://rscf.ru/project/24-27-00218/>

## **IZMIRAN magnetic field models for oil and gas complex.**

V. Petrov, R. Rytov

Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radiowave Propagation RAS, Moscow, Russia

In recent decades, the oil and gas industry has increasingly used directional and horizontal directional drilling, where many wells are drilled from one section in different directions. This significantly reduces the cost of drilling, but significantly increases the requirements for the accuracy of well tracing. To determine the direction of the well, it is necessary to know its orientation in two directions – deviation from the vertical and direction in the horizontal plane (azimuth). Accelerometers are traditionally used to determine vertical direction, while magnetometers or gyroscopes are used to determine azimuth. Usually gyroscope, especially in a non-inertial system, has large drifts and the main device for determining azimuth is a magnetometer. It also has the disadvantages of being subject to local and global interference and being referenced to the local magnetic field rather than to a geographic coordinate system. To convert magnetic azimuth to geographic azimuth, magnetic declination must be known, which can be determined from magnetic field models or direct measurements, but direct measurements at a single point cannot be converted to depth and models are still needed. The Earth's magnetic field is produced by three sources – currents in the Earth's core and mantle (the main field), the magnetisation of the Earth's crust (the anomalous field) and currents in the Earth's ionosphere and magnetosphere (the alternating field). Properties of these fields, models describing them and methods of model construction are considered. Also modern IZMIRAN models for the epoch of 2024 of high (790) and low (15 harmonics) resolution are described and compared with other models. Examples of software based on these models for use by drilling companies are given.

---

## **Модели магнитного поля ИЗМИРАН для нефтегазового комплекса.**

В. Г. Петров, Р. А. Рытов

Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН, Москва, Россия

Последние десятилетия в нефтегазовой отрасли все более широко применяется наклонное и горизонтально направленное бурение скважин, когда из одного участка бурятся много скважин в различных направлениях. Это заметно удешевляет бурение, но существенно повышает требования к точности трассировки скважины. Для определения направления скважины необходимо знать ее ориентацию в двух направлениях – отклонение от вертикали и направление в горизонтальной плоскости (азимут). Для определения вертикали традиционно используется акселерометры, для определения азимута – магнитометры или гироскопы. Обычно гироскоп, особенно в неинерциальной системе, имеет большие дрейфы и основным прибором для определения азимута является магнитометр. Он так же имеет свои недостатки – подверженность местным и глобальным помехам и привязкой к местному магнитному полю, а не к географической системе координат. Для пересчета магнитного азимута в географический необходимо знать магнитное склонение, что можно определить из моделей магнитного поля или прямыми измерениями, однако прямые измерения в одной точке не могут быть пересчитаны на глубину и модели все равно необходимы. Магнитное поле Земли создается тремя источниками -токи в ядре и мантии Земли (главное поле), намагниченностью земной коры (аномальное поле) и токами в ионосфере и магнитосфере Земли (переменное поле). Рассмотрены свойства этих полей, модели их описывающие и способы построения моделей. Также описаны современные модели ИЗМИРАН на эпоху 2024 г. высокого (790) и низкого (15 гармоник) разрешения и проведено их сравнение с другими моделями. Приведены примеры программного обеспечения на основе этих моделей для использования буровыми компаниями.

## **Parallel algorithms for solving direct and inverse gravimetric problems**

P. Martyshko, D. Byzov, I. Ladovskiy, A. Tsydaev

Y. P. Bulashevich Institute of geophysics UrB RAS, Ekaterinburg, Russia

The process of interpreting geophysical data is reduced to solving direct and inverse problems of mathematical physics. Inverse problems of gravimetry are reduced to the solution of the integral equation of the first kind. The problem of determining the density in the considered volume inside the Earth is reduced to a linear equation, for the 'ore' (determining the boundary of the area generating a gravity anomaly) and structural (determining the surface separating layers with different density values) inverse problems we obtain a nonlinear equation. Numerical methods (using the idea of localisation) and regularised algorithms implemented in computer technologies using graphic accelerators have been developed for solving these problems on grids of large dimensionality. Solutions of inverse problems are determined on the set of correctness using zero approximation models constructed from a priori information (interpretation of seismic and other data). Parallel algorithms are tested on theoretical examples and applied to build models of the Earth's crust of the Urals and neighbouring regions. The work was financially supported by RSF (grant No. 20-17-00058).

---

## **Параллельные алгоритмы решения прямых и обратных задач гравиметрии**

П. С. Мартышко, Д. Д. Бызов, И. В. Ладовский, А. Г. Цидаев

Институт геофизики им. Ю. П. Булашевича УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Процесс интерпретации геофизических данных сводится к решению прямых и обратных задач математической физики. Обратные задачи гравиметрии сводятся к решению интегрального уравнения первого рода. Задача определения плотности в рассматриваемом объеме внутри Земли сводится к линейному уравнению, для «рудной» (определение границы области, порождающей гравитационную аномалию) и структурной (определение поверхности, разделяющей слои с разными значениями плотности) обратной задачи получаем нелинейное уравнение. Для решения этих задач на сетках большой размерности разработаны численные методы (с использованием идеи локализации) и регуляризованные алгоритмы, реализованные в компьютерных технологиях с использованием графических ускорителей. Решения обратных задач определяется на множестве корректности с использованием моделей нулевого приближения, построенных по априорной информации (интерпретации сейсмических и других данных). Параллельные алгоритмы опробованы на теоретических примерах и применены для построения моделей земной коры Урала и сопредельных регионов. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант № 20-17-00058).

## **New possibilities of morphometric analysis of relief and computer geodynamic modelling for delineation of zones of possible earthquake sources in areas of active recent tectogenesis**

A. Sobisevich, A. Agibalov, A. Sentsov  
Schmidt Institute of physics of the Earth RAS, Moscow, Russia

Significant aspects of the development of remote geological and geomorphological methods include increasing the accuracy of digital elevation models (DEM) and improving the software for their automated processing. This allowed to expand the possibilities of structural-geomorphological and morphometric analysis of relief, which along with computer modelling of modern geodynamics can be used in solving an urgent scientific and practical problem – delineation of zones of possible earthquake sources (WHO). On the example of regions of active recent tectogenesis (the Greater Caucasus, Sakhalin Island, Altai-Sayan region) a new algorithm for the identification of such zones has been proposed and tested. It involves the selection of several morphometric characteristics of relief, positive anomalies of which are best related to the spatial distribution of earthquake epicentres. By processing these parameters with  $\gamma$ -operator of fuzzy logic the scheme of neotectonic activity index (I) is constructed. The areas of localisation of increased values of compressive stresses, where I varies from 0.6 to 0.9, are identified as WHO zones. Relative values of maximum compressive stresses are calculated by computer modelling using DEM, information on orientation of main normal stress axes and configuration of active faults (reliable and identified by structural-geomorphological method), as well as Poisson's and internal friction coefficients. For the selected regions, the informativeness of the proposed approach is proved, since a significant part of earthquake epicentres, including high-magnitude earthquakes ( $M \geq 5.5$ ), fall in small WHO zones. The obtained result allows us to conclude that it is reasonable to apply this algorithm in the analysis of seismicity of poorly studied and hard-to-reach regions, since it is based on the processing of publicly available source materials and does not require a detailed study of seismicity by instrumental and paleoseismological methods. The research was carried out within the framework of the State Assignment of the Institute of Physics of the RAS.

---

## **Новые возможности морфометрического анализа рельефа и компьютерного геодинамического моделирования для выделения зон возможных очагов землетрясений в областях активного новейшего тектогенеза**

А. Л. Собисевич, А. О. Агибалов, А. А. Сенцов  
Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

К значимым аспектам развития дистанционных геолого-геоморфологических методов относится повышение точности цифровых моделей рельефа (ЦМР) и совершенствование программного обеспечения для их автоматизированной обработки. Это позволило расширить возможности структурно-геоморфологического и морфометрического анализа рельефа, который наряду с компьютерным моделированием современной геодинамики может использоваться при решении актуальной научно-практической задачи – выделении зон возможных очагов землетрясений (ВОЗ). На примере регионов активного новейшего тектогенеза (Большого Кавказа, о. Сахалин, Алтае-Саянской области) предложен и апробирован новый алгоритм выделения таких зон. Он предполагает выбор нескольких морфометрических характеристик рельефа, положительные аномалии которых наилучшим образом связаны с пространственным распределением эпицентров землетрясений. Путем обработки этих параметров  $\gamma$ -оператором нечеткой логики строится схема индекса неотектонической активности (I). В качестве зон ВОЗ выделяются области локализации повышенных значений сжимающих напряжений, где I варьирует от 0.6 до 0.9. Относительные величины максимальных сжимающих напряжений рассчитываются методом компьютерного моделирования, для проведения которого используется ЦМР, информация об ориентировке главных нормальных осей напряжений и конфигурации активных разломов (достоверных и выделенных структурно-геоморфологическим методом), а также коэффициенты Пуассона и внутреннего трения. Для выбранных регионов доказана информативность предложенного подхода, поскольку в небольшие по площади зоны ВОЗ попадает значительная часть эпицентров землетрясений, в том числе высокомагнитудных ( $M \geq 5.5$ ). Полученный результат позволяет сделать вывод о целесообразности применения данного алгоритма при анализе сейсмичности слабо изученных и труднодоступных регионов, поскольку он основан на обработке общедоступных исходных материалов и не требует детального изучения сейсмичности инструментальными и палеосейсмологическими методами. Исследование выполнено в рамках Госзадания ИФЗ РАН.

## **Representative catalogue of the Neva floods. Principles of construction**

A. Rodionov, A. Lobanov, T. Malova

Shirshov Institute of Oceanology RAS (Saint Petersburg department), Saint Petersburg, Russia

Saint Petersburg Scientific Center RAS, Saint Petersburg, Russia

The Neva River floods should be studied as a phenomenon, the origin and characteristics of which are the result of direct and indirect manifestations of natural factors, significantly different in their spatial and temporal scales. The problem should be approached in an interdisciplinary manner. In the process of studying the historical floods of the Neva, in particular the restoration of data on their heights, scientific principles of building a representative catalogue of floods have been formulated, which has not yet been created, which creates additional difficulties in studying the evolution of the hydrodynamic system including Lake Ladoga, the Neva and the Gulf of Finland: a comprehensive methodological approach to solving the problem; unconditional priority of primary sources; refusal to 'correct' historical series post factum; cataloguing errors and discrepancies in versions for all times; and the use of the historical data for the whole period of time. However, it is necessary to take into account that the available materials and information about the heights of historical floods of the Neva are fragmentary, contradictory and contain an abundance of emotional characterisations. Besides, they are obtained from observations at different points, represented by measurements from different local ordinaries and in different height counting systems, as well as deformed by extrapolation of later or even modern Baltic height system to tens and hundreds of years ago. A database of the Neva floods of the XVIII c. has been created in the SPbF IO RAS, which generalises the collected material. In addition, the database includes data on catastrophic floods of 7 (19) November 1824 and 23 September 1924 as reference events. The database provides systematisation of data on floods of the XVIII century, gives a comprehensive view of each specific episode under consideration from qualitative and quantitative points of view, allows searching for information by date (in different systems of chronology), height of water rise relative to different ordinaries (in different systems of altitude counting), author of the description (if available), reference to the source. The use of the database allows visual assessment of distorted flood series and verification of flood information. All events reflected in the currently existing flood catalogues, as well as in the reviewed library and unique, first-time published archival sources, are covered.

---

## **Репрезентативный каталог наводнений Невы. Принципы построения**

А. А. Родионов, А. А. Лобанов, Т. И. Малова

Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН (Санкт-Петербургский филиал), Санкт-Петербург, Россия

Санкт-Петербургский научный центр РАН, Санкт-Петербург, Россия

Наводнения Невы необходимо исследовать как феномен, происхождение и характеристики которого есть результат прямых и косвенных проявлений природных факторов, существенно различных по своим пространственно-временным масштабам. К решению проблемы необходимо подходить междисциплинарно. В процессе изучения исторических наводнений Невы, в частности реставрации данных об их высотах, были сформулированы научные принципы построения репрезентативного каталога наводнений, который до сих пор так и не создан, что создает дополнительные сложности при изучении эволюции гидродинамической системы, включающей Ладожское озеро, Неву и Финский залив: комплексный методологический подход к решению проблемы; безусловный приоритет первоисточников; отказ от «исправлений» исторических рядов post factum; каталогизация описок и расхождений версий за все время наблюдений; разработка и внедрение в практику унифицированной программы оценки репрезентативности рядов; поиск новых сведений об уровнемерных наблюдениях. Однако необходимо учитывать, что имеющиеся материалы и сведения о высотах исторических наводнений Невы фрагментарны, противоречивы и содержат обилие эмоциональных характеристик. Кроме того, они получены из наблюдений на различных пунктах, представлены измерениями от разных локальных ординаров и в различных системах счета высот, а также деформированы при экстраполяции более поздних или даже современной Балтийской системы высот на десятки и сотни лет назад. В СПбФ ИО РАН создана база данных наводнений Невы XVIII в., обобщающая собранный материал. Дополнительно, в качестве реперных событий в базу включены данные по катастрофическим наводнениям 7 (19) ноября 1824 г. и 23 сентября 1924 г. База обеспечивает систематизацию данных о наводнениях XVIII в., дает комплексное представление о каждом конкретном рассматриваемом эпизоде с качественной и количественной точек зрения, позволяет осуществлять поиск информации по дате (в разных системах летосчисления), высоте подъема воды относительно разных ординаров (в разных системах счета высот), автору описания (при его наличии), ссылке на источник. Использование базы данных позволяет визуально оценивать искаженные ряды наводнений и верифицировать сведения о них. Информационно охваченными оказываются все события, отраженные в ныне существующих каталогах наводнений, а также в рассмотренных библиотечных и уникальных, впервые опубликованных архивных источниках.

## **Digital processing of geomagnetic observations based on approximation model methods**

V. Getmanov<sup>1,2</sup>, A. Gvishiani<sup>1,2</sup>, V. Pilipenko<sup>2,1</sup>, D. Stukov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Geophysical Center RAS, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Schmidt Institute of physics of the Earth RAS, Moscow, Russia

The methods of digital processing of geomagnetic observations based on the use of approximation models, including the use of local approximations and weighted averaging for sequences of local models, are proposed for consideration. The proposed methods are focused on obtaining solutions to the problems of analysing the estimation of geomagnetic observation parameters. The algorithms for computing local approximation of piecewise sinusoidal models, piecewise sinusoidal models with linear frequency and amplitude modulation, piecewise sinusoidal models with additive linear trend functions, and piecewise sinusoidal polyharmonic models have been developed. Algorithms for computing approximation weighted averages for sequences of local models based on systems of sliding piecewise linear and piecewise parabolic functions are developed. The developed methods and mathematical apparatus are intended for solving the problems of parameter estimation – amplitude-frequency and trend functions, noise filtering and calculation of spectral characteristics of geomagnetic observation signals.

---

## **Цифровая обработка геомагнитных наблюдений на основе методов аппроксимационных моделей**

В. Г. Гетманов<sup>1,2</sup>, А. Д. Гвишиани<sup>1,2</sup>, В. А. Пилипенко<sup>2,1</sup>, Д. А. Стуков<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Геофизический центр РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup> Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

Предлагаются к рассмотрению методы цифровой обработки геомагнитных наблюдений на основе применения аппроксимационных моделей, включающие использование локальных аппроксимаций и взвешенного усреднения для последовательностей локальных моделей. Предложенные методы ориентированы на получение решений задач анализа оценивания параметров геомагнитных наблюдений. Разработаны алгоритмы вычислений локальных аппроксимационных кусочно-синусоидальных моделей, кусочно-синусоидальных моделей с линейной частотной и амплитудной модуляцией, кусочно-синусоидальных моделей с аддитивными линейными трендовыми функциями, кусочно-синусоидальных полигармонических моделей. Разработаны алгоритмы вычисления аппроксимационных взвешенных усреднений для последовательностей локальных моделей на основе систем, скользящих кусочно-линейных и кусочно-параболических функций. Сформированные методы и математический аппарат предназначены для решений задач оценивания параметров – амплитудно-частотных и трендовых функций, фильтрации шумов и вычисления спектральных характеристик сигналов геомагнитных наблюдений.

## Enhanced convergence of atmospheric and oceanic heat fluxes in the Barents Sea region under present climate warming

M. Latonin<sup>1</sup>, I. Bashmachnikov<sup>1,2</sup>, V. Semenov<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup>Nansen International Environmental and Remote Sensing Centre, Saint Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

<sup>3</sup>A. M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, Moscow, Russia

<sup>4</sup>Institute of Geography RAS, Moscow, Russia

The most rapid present warming of the Arctic climate in recent decades has occurred in the Barents Sea region, with this process affecting both the atmosphere and the ocean. A distinctive feature of the Barents Sea climate system is the existence of positive feedback in the ocean–sea ice–atmosphere system, the mechanism of which over time remains unclear. The objective of this study is to assess the effectiveness of this positive feedback for the advective heat fluxes in the winter season using the ORAS4 ocean reanalysis and ERA5 atmospheric reanalysis data for the period 1959–2017. Based on the analysis of the temporal variability of the oceanic heat flux at the western boundary of the Barents Sea, two periods were identified for further analysis: 1959–1987 with a negative linear trend and 1987–2017 with a positive linear trend. Composite maps of surface wind fields indicate an increase in the effectiveness of the positive feedback in the Barents Sea region during the present period relative to the previous one. This is manifested in the strengthening of the southern winds over the southeastern part of the sea in years with the maximum oceanic heat flux and in the weakening of the northern winds over the northwestern part of the sea in years with the minimum oceanic heat flux. The convergence of atmospheric sensible heat transport over the Barents Sea is maximum in the layer of the lower troposphere 1000–900 hPa. An analysis of the temporal variability of convergences of the atmospheric and oceanic heat fluxes showed that in the present period, the effectiveness of the positive feedback in the Barents Sea region has increased. This is manifested in the fact that the correlation coefficient between the convergences of the heat fluxes for the period 1997–2017 reaches 0.73. This result indicates an increasing synchronization of the convergence of atmospheric and oceanic heat fluxes in the Barents Sea region, which contributes to strengthening the local warming. This study was funded by the Russian Science Foundation (RSF), grant number 23-77-01046 (<https://rscf.ru/en/project/23-77-01046/>).

---

## Усиление конвергенции атмосферных и океанических потоков тепла в районе Баренцева моря при современном потеплении климата

М. М. Латонин<sup>1</sup>, И. Л. Башмачников<sup>1,2</sup>, В. А. Семенов<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup>Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию имени Нансена, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

<sup>4</sup>Институт географии РАН, Москва, Россия

Наиболее быстрое современное потепление климата Арктики в последние десятилетия происходит в районе Баренцева моря, причём данный процесс затрагивает как атмосферу, так и океан. Особенность климатической системы Баренцева моря – существование положительной обратной связи в системе океан – морской лёд – атмосфера, механизм действия которой во времени остаётся неясным. Цель данного исследования – оценить эффективность работы этой положительной обратной связи в зимний сезон для адвективных потоков тепла по данным океанического реанализа ORAS4 и атмосферного реанализа ERA5 за период 1959–2017 гг. На основе анализа временной изменчивости океанического притока тепла на западной границе Баренцева моря было выделено два периода для последующего анализа: 1959–1987 гг. с отрицательным линейным трендом и 1987–2017 гг. с положительным линейным трендом. Композитные карты полей приземного ветра указывают на усиление эффективности положительной обратной связи в районе Баренцева моря за современный период относительно предыдущего периода. Это проявляется в усилении южных ветров над юго-восточной частью моря в годы с максимумами океанического потока тепла и в ослаблении северных ветров над северо-западной частью моря в годы с минимумами океанического потока тепла. Конвергенция атмосферного переноса явного тепла над Баренцевым морем максимальна в нижнем слое тропосферы 1000–900 гПа. Анализ временной изменчивости конвергенций атмосферного и океанического потоков тепла показал, что в современный период эффективность положительной обратной связи в районе Баренцева моря возросла. Это проявляется в том, что коэффициент корреляции между конвергенциями потоков тепла за период 1997–2017 гг. достигает 0,73. Такой результат указывает на возрастающую синхронизацию конвергенции атмосферных и океанических потоков тепла в районе Баренцева моря, что способствует усилению локального потепления. Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 23-77-01046 (<https://rscf.ru/project/23-77-01046/>).

## **Methods and instruments for rock mass diagnostics and monitoring**

S. Serdukov, M. Kurlenya, A. Khmelinin  
Chinakal Institute of Mining SB RAS, Novosibirsk, Russia

When developing mineral deposits, geomechanical monitoring of the rock massif condition is mandatory. Stress concentration and unloading zones formed in the geological environment are a consequence of perturbations introduced into the initial equilibrium state of the massif. Control of such zones and assessment of their influence on the stability of engineering structures are actual scientific tasks. The basis of geomechanical monitoring consists of observations of variations of physical fields in the vicinity of the excavated space. To assess the behaviour of the rock massif in the conditions of mining, an auto-oscillation model that takes into account its block structure is proposed. The model consists of elements combining the properties of frictional and oscillatory quasi-harmonic systems. It explains the peculiarities of behaviour of the rock massif being in a non-equilibrium state, its sensitivity to external influences, for example, the reaction of an oil deposit to irradiation by seismic waves. Obtaining reliable estimates of the state of the geological environment requires the creation of special instruments, measurement methods and interpretation of experimental results. Research and development in this field have been carried out for a long time in IGD SB RAS, aimed at increasing the informativeness and reliability of experimental data and ensuring the safety of work. Implementation of new methods of research of phenomena such as rock impacts and sudden coal and gas emissions is carried out with the help of the developed devices realising multi-channel passive and active seismic observations, including the use of surface waves propagating along the workings, multiple registration of permeability changes, deformations and stresses in the rock mass, as well as electromagnetic and acoustic radiation. The actual task of stress determination is solved by the methods of parallel wells and local hydraulic fracturing of various modifications developed at the Institute of Geological Research of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. The created devices can work both in autonomous mode and in remote access mode, which provides operative control of geomechanical situation at the mining enterprise by qualified personnel.

---

## **Методы и приборы для диагностики и мониторинга массива горных пород**

С. В. Сердюков, М. В. Курленя, А. П. Хмелинин  
Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, Новосибирск, Россия

При освоении месторождений полезных ископаемых обязательным является проведение геомеханического мониторинга состояния массива горных пород. Формируемые в геологической среде зоны концентрации напряжений и разгрузки являются следствием возмущений, вносимых в исходное равновесное состояние массива. Контроль таких зон и оценка их влияния на устойчивость инженерно-технических сооружений являются актуальными научными задачами. Основу геомеханического мониторинга составляют наблюдения за вариациями физических полей в окрестности выработанного пространства. Для оценки поведения массива горных пород в условиях отработки предложена автоколебательная модель, учитывающая его блочное строение. Модель состоит из элементов, сочетающих свойства фрикционной и колебательной квазигармонической систем. Она объясняет особенности поведения породного массива, находящегося в неравновесном состоянии, его чувствительность к внешним воздействиям, например, реакцию нефтяной залежи на облучение сейсмическими волнами. Получение надежных оценок состояния геологической среды требует создания специальных приборов, методов измерений и интерпретации результатов экспериментов. В ИГД СО РАН длительное время проводятся исследования и разработки в этой области, направленные на повышение информативности и достоверности экспериментальных данных, обеспечение безопасности работ. Внедрение новых методов исследования явлений типа горных ударов и внезапных выбросов угля и газа осуществляется при помощи разработанных приборов, реализующих многоканальные пассивные и активные сейсмические наблюдения, в том числе с использованием поверхностных волн, распространяющихся вдоль выработок, многократную регистрацию изменения проницаемости, деформаций и напряжений в массиве горных пород, а также электромагнитного и акустического излучений. Актуальная задача определения напряжений решается разработанными в ИГД СО РАН методами параллельных скважин, локального гидроразрыва различных модификаций. Созданные приборы могут работать как в автономном режиме, так и в режиме удаленного доступа, что обеспечивает оперативный контроль геомеханической обстановки на горнодобывающем предприятии квалифицированным персоналом.

## Seismicity of the western sector of the Russian Arctic

A. Morozov<sup>1</sup>, N. Vaganova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Schmidt Institute of physics of the Earth RAS, Moscow, Russia

<sup>2</sup>N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research UrB RAS, Arkhangelsk, Russia

The peculiarities of the development of instrumental observations, the need to assess potential natural and technogenic risks and ensure safe operation of industrial systems and facilities during the development of large fields in the western sector of the Russian Arctic and the infrastructure of the Northern Sea Route impose the need to conduct studies to summarise and refine the main parameters (hypocentre, magnitude) of earthquakes recorded over the entire period of instrumental observations. Such studies should be carried out using new and modern location algorithms, tested regional velocity models, refined local magnitude scale, and all currently available source data and bulletins of seismic stations operating in the region. In the course of many years of research on the consolidation, refinement and unification of the main parameters of seismic events registered within the western sector of the Russian Arctic, a single refined and unified catalogue of earthquakes for the period from 1908 to 2020 has been created. The catalogue also includes data on the modern seismicity of areas previously inaccessible for detailed seismic monitoring. The results of the research allowed to clarify the spatial distribution of earthquakes in the region and to compare the instrumental data with the parameters of lineament-domain-focal (LDF) models of the General Seismic Zoning (GSZ) maps -97 and -2016. Within the western sector of the Russian Arctic, the greatest seismicity is manifested within the 'continent-ocean' transition zone and on Novaya Zemlya Island, Bely, Novaya Zemlya and Severnaya Zemlya archipelagos. The shelf of the Barents and Kara Seas itself is characterised by rare and scattered seismicity. The study area also includes fragments of seismicity characteristic of the Taimyr Peninsula and the north of Fennoscandia. Configuration, values of maximum possible magnitudes and depth of seismogenic layers of domains of LDF-models of GSZ-97 and -2016 maps for the western sector of the Russian Arctic do not always correspond to the instrumental data and their correction is required. The created consolidated updated catalogue of earthquakes can serve as a basis for subsequent studies related to the assessment of seismic hazard of the territory, construction of geodynamic models, and investigation of the stress-strain state of the Earth's crust.

---

## Сейсмичность западного сектора Российской Арктики

А. Н. Морозов<sup>1</sup>, Н. В. Ваганова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>ФИЦ комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН, Архангельск, Россия

Особенности развития инструментальных наблюдений, необходимость оценки потенциальных природно-техногенных рисков и обеспечения безопасной эксплуатации промышленных систем и объектов при освоении крупных месторождений в западном секторе Российской Арктики и инфраструктуры Северного морского пути накладывают необходимость в проведении исследований по обобщению и уточнению основных параметров (гипоцентр, магнитуда) землетрясений, зарегистрированных за весь период инструментальных наблюдений. Такие исследования необходимо проводить с применением новых и современных алгоритмов локации, апробированных региональных скоростных моделей, уточненной шкалы локальной магнитуды, и всех доступных в настоящее время исходных данных и бюллетеней функционировавших в регионе сейсмических станций. В ходе многолетних исследований по сведению, уточнению и унификации основных параметров сейсмических событий, зарегистрированных в пределах западного сектора Российской Арктики, создан единый уточнённый и унифицированный каталог землетрясений за период с 1908 по 2020 гг. Созданный каталог включает также данные о современной сейсмичности районов, ранее недоступных для детального сейсмического мониторинга. Результаты исследований позволили уточнить пространственное распределение землетрясений в регионе и сопоставить инструментальные данные с параметрами линейно-доменно-фокальных (ЛДФ) моделей карт общего сейсмического районирования (ОСР) -97 и -2016. В пределах западного сектора Российской Арктики наибольшая сейсмичность проявляется в пределах зоны перехода «континент-океан» и о. Белый, архипелагов Новая Земля и Северная Земля. Сам шельф Баренцева и Карского морей характеризуется редкой и рассеянной сейсмичностью. Также в район исследования попадают фрагменты сейсмичности, характерной для полуострова Таймыр и севера Фенноскандии. Конфигурация, значения максимально возможных магнитуд и глубина сейсмогенных слоёв доменов ЛДФ-моделей карт ОСР-97 и -2016 для западного сектора Российской Арктики не всегда соответствуют инструментальным данным и требуется их корректировка. Созданный сводный уточнённый каталог землетрясений может служить основой для последующих исследований, связанных с оценкой сейсмической опасности территории, построением геодинамических моделей, исследованием напряженно-деформированного состояния земной коры.

## Monitoring of strong man-made tectonic earthquakes. Necessity and feasibility

S. Kishkina

Institute of Geosphere Dynamics RAS, Moscow, Russia

Russian regulatory documents require that earthquakes of any genesis capable of affecting the safety of the facility be considered during engineering surveys and studies of the area and site of the location of critical facilities. At the same time, in practice, no attention is paid to the assessment of the occurrence of a man-made event. The results of the performed review indicate the necessity to take into account in more detail the possibility of occurrence of large man-made earthquakes when analysing site safety. First of all, it concerns strong technogenic-tectonic (trigger) events, the main role in the occurrence of which is played by the presence of tectonic load in the massif, and technogenic impact is only an initiating mechanism. Analysis of modern data on hypocentral zones of the strongest anthropogenic earthquakes demonstrates that the deformation accumulated in the rock massif is realised in the form of slip along already existing faults. Dynamic slip can be initiated only on those faults for which a number of geomechanical conditions of instability occurrence are fulfilled: Coulomb stresses on the fault plane must be close to the local strength limit; conditions of velocity de-strengthening of the contact must be fulfilled; and the fault stiffness must be sufficiently large. In addition to recognised types of anthropogenic effects, such as fluid injection or seismic vibration, possible triggering effects from rock removal and movement during mining are considered. Calculations demonstrate that although rock excavation in a large mining pit results in a negligible change of  $\sim 1$  MPa in Coulomb stresses on the fault plane, this may be sufficient to initiate seismic-generating motions along stressed faults because the changes occur over areas much larger than the size of the nucleation zone of magnitude earthquakes. There is evidence that the process of changing the mechanical properties of the contact begins long before the macroscopic displacement of the fault banks is realised. Consequently, the effect of the beginning of slip formation can be detected instrumentally in full-scale conditions. The work was carried out under the state task 1021052706247-7-1.5.4 (FMWN-2022-0015).

---

## Мониторинг сильных техногенно-тектонических землетрясений. Необходимость и возможность

С. Б. Кишкина

Институт динамики геосфер РАН, Москва, Россия

Российские нормативные документы требуют при проведении инженерных изысканий и исследований района и площадки размещения особо важных объектов рассматривать землетрясения любого генезиса, способные оказать влияние на безопасность объекта. При этом на практике оценке возникновения техногенного события внимание не уделяется. Результаты выполненного обзора свидетельствуют о необходимости более подробного учета возможности возникновения крупных техногенных землетрясений при анализе безопасности площадок. В первую очередь это касается сильных техногенно-тектонических (триггерных) событий, основную роль в возникновении которых играет наличие тектонической нагрузки в массиве, а техногенное воздействие является лишь инициирующим механизмом. Анализ современных данных о гипоцентральных зонах сильнейших техногенных землетрясений демонстрирует, что деформация, накопленная в массиве горных пород, реализуется в виде подвижек по уже существующим разломам. Динамическое скольжение может быть инициировано лишь на тех разломах, для которых выполняется ряд геомеханических условий возникновения неустойчивости: кулоновские напряжения на плоскости разлома должны быть близки к локальному пределу прочности; должны выполняться условия скоростного разупрочнения контакта; жесткость разлома должна быть достаточно велика. Помимо признанных типов техногенных воздействий, таких как инъекция флюида или воздействие сейсмических колебаний, рассматривается возможный триггерный эффект от извлечения и перемещения породы при горных работах. Расчеты демонстрируют, что хотя выемка породы в крупном добывающем карьере приводит к незначительному изменению  $\sim 1$  МПа кулоновских напряжений на плоскости разлома, этого может оказаться достаточно для инициирования сейсмогенерирующих подвижек по напряженным разломам, поскольку изменения происходят на таких площадях, которые значительно превышают размер зоны нуклеации землетрясений с магнитудой. Есть свидетельства того, что процесс изменения механических свойств контакта начинается задолго до реализации макроскопического перемещения берегов разлома. Следовательно, эффект начала формирования скольжения может быть обнаружен инструментально в натуральных условиях. Работа выполнена в рамках госзадания 1021052706247-7-1.5.4 (FMWN-2022-0015).

## From circular seismic echo to the Omori epoch and earthquake source zone bifurcation

A. Zavyalov

Schmidt Institute of physics of the Earth RAS, Moscow, Russia

In the mid-2010s, the phenomenon of a round-the-world seismic echo was discovered and described: under the influence of surface seismic waves that had travelled around the earth and returned to the epicentral zone of the earthquake that generated them after about 3 h, a rather strong aftershock occurred there. Subsequently, our attention was drawn to the aftershock process itself, described by the well-known Omori's law, which states that the number of repeated shocks decreases hyperbolically with the time elapsed from the main shock  $n(t)=k/(c+t)$  (1). Here  $k > 0$ ,  $c > 0$ ,  $t \geq 0$ . For many years, Omori's law was thought to be purely statistical. This turned out to be far from true. We proposed to write down the equation of aftershock evolution in time in the form of a differential equation of the form  $dn/dt+\sigma n^2=0$  (2). Here  $n(t)$  is the frequency of aftershocks,  $\sigma$  is the deactivation coefficient of the earthquake origin 'cooling down' after the main shock. When analysing the solution of equation (2), it turned out that if  $\sigma=\text{const}$ , it coincides with the classical form of the Omori aftershock evolution law. Therefore, we can consider the hyperbolic relation (1) as a fundamental law. Moreover, it is the first law of earthquake physics. Having paid attention to the fact that in (2)  $\sigma$  is not a constant, but a function of time, we set and solved the inverse problem of aftershock physics: to calculate the source deactivation coefficient from observed aftershock frequency data. We analysed several dozens of aftershock sequences and the behaviour of the deactivation coefficient  $\sigma(t)$  during the evolution of the focal region of the main shock. It turned out that the deactivation coefficient undergoes complex variations, but at the first stage of evolution  $\sigma=\text{const}$ . The corresponding time interval was named by us as the Omori epoch. It is in the Omori epoch that the classical Omori law (1) is fulfilled. What happens in the hearth after the end of the Omori epoch? How does the deactivation coefficient behave at the end of the Omori epoch? It turns out that at the end of the Omori epoch, the state of the origin changes and the earthquake origin bifurcation occurs. The end of the Omori epoch indicates the transition of the earthquake source region as a dynamic system from one state to a qualitatively different state. Thus, two-stage character of evolution of the source region after formation of the main rupture in it was found. This work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of Russia within the framework of the state assignment of the O.Yu. Schmidt Institute of Physics of the Earth RAS № 075-00693-22-00.

---

## От кругосветного сейсмического эха к эпохе Омори и бифуркации очаговой зоны землетрясения

А. Д. Завьялов

Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

В середине 2010 годов было обнаружено и описано явление кругосветного сейсмического эха – под воздействием поверхностных сейсмических волн, сделавших оборот вокруг земли и вернувшихся в эпицентральную зону породившего их землетрясения примерно через 3 ч, в ней возникал достаточно сильный афтершок. Впоследствии наше внимание привлек сам афтершоковый процесс, описываемый известным законом Омори, который гласит, что число повторных толчков гиперболически убывает с течением времени, прошедшем от основного толчка  $n(t)=k/(c+t)$  (1). Здесь  $k > 0$ ,  $c > 0$ ,  $t \geq 0$ . Много лет считалось, закон Омори является чисто статистическим. Оказалось, это далеко не так. Мы предложили записать уравнение эволюции афтершоков во времени в виде дифференциального уравнения вида  $dn/dt+\sigma n^2=0$  (2). Здесь  $n(t)$  – частота афтершоков,  $\sigma$  – коэффициент деактивации очага землетрясения, “остывающего” после главного удара. При анализе решения уравнения (2) оказалось, если  $\sigma=\text{const}$ , то с точностью до обозначений оно совпадает с классической формой закона эволюции афтершоков Омори. Поэтому, можно считать гиперболическую зависимость (1) фундаментальным законом. Более того, это есть первый закон физики землетрясений. Обратив внимание на то, что в (2)  $\sigma$  не является константой, а является функцией времени, мы поставили и решили обратную задачу физики афтершоков: вычислить коэффициент деактивации очага по данным наблюдения частоты афтершоков. Мы проанализировали несколько десятков афтершоковых последовательностей и поведение коэффициента деактивации  $\sigma(t)$  в процессе эволюции очаговой области главного удара. Оказалось, что коэффициент деактивации при этом испытывает сложные вариации, но на первом этапе эволюции  $\sigma=\text{const}$ . Соответствующий интервал времени был назван нами эпохой Омори. Именно в эпоху Омори выполняется классический закон Омори (1). Что же происходит в очаге после окончания эпохи Омори? Как ведет себя коэффициент деактивации по ее окончании? Оказалось, по окончании эпохи Омори состояние очага изменяется, происходит бифуркация очага землетрясения. Окончание эпохи Омори свидетельствует о переходе очаговой области землетрясения как динамической системы из одного состояния в качественно иное состояние. Таким образом, обнаружен двухстадийный характер эволюции очаговой области после образования в ней магистрального разрыва. Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования России в рамках государственного задания Института физики Земли имени О.Ю. Шмидта РАН № 075-00693-22-00.

## Geoinformation analysis of regional climatic changes in the Central and Western Russian Arctic for railway development

A. Kostianoy<sup>1,2,3</sup>, A. Gvishiani<sup>1,4</sup>, I. Rozenberg<sup>5</sup>, A. Soloviev<sup>1,4</sup>, R. Krasnoperov<sup>1</sup>, B. Dzeboev<sup>1</sup>, S. Gvozdik<sup>1,6</sup>, S. Lebedev<sup>1</sup>, I. Nikitina<sup>1</sup>, I. Dubchak<sup>5</sup>, N. Sazonov<sup>7</sup>, O. Shevaldysheva<sup>1,8</sup>, V. Sergeev<sup>1</sup>, G. Gvozdik<sup>1,8</sup>

<sup>1</sup> Geophysical Center RAS, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow, Russia

<sup>3</sup> S. Yu. Witte Moscow University, Moscow, Russia

<sup>4</sup> Schmidt Institute of Physics RAS, Moscow, Russia

<sup>5</sup> Russian University of Transport, Moscow, Russia

<sup>6</sup> Department of Earth and Environmental Sciences, University of Milano-Bicocca, Milan, Italy

<sup>7</sup> Research and Design Institute of Informatization, Automation and Communications in Railway Transport, Moscow, Russia

<sup>8</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

The Arctic Zone of the Russian Federation is characterized by the rapid growth of the mining industry, aimed at the extraction of oil, gas, coal, and ores, including rare earth metals. Railways are essential in the transportation of these resources to different regions of Russia for processing and export. Part of the cargo delivery is performed via the Arctic ports connected to the railway network. Rapid climate change, including regional climate warming, is among the compromising factors for the operation of the Arctic transport infrastructure. System analysis of climatic processes and assessment of potential hazards that they may induce requires adequate geoinformation support. This presentation shows the results of spatio-temporal variability analysis of various hydrometeorological parameters for selected railway mainlines within the Arctic region. For this purpose, a new geoinformation method based on the Hovmöller diagrams was elaborated. This tool is useful for representation of climate dynamics along the specified railway mainlines over several decades. It allows us to determine railway sections affected by anomalous climatic conditions on the variable time scale. The presented Hovmöller diagrams proved to be an efficient instrument for the regional climate change representation. It might be quite useful for railway infrastructure maintenance, planning, operation, and adaptation.

---

## Геоинформационный анализ региональных климатических изменений в центральной и западной частях Российской Арктики для развития железных дорог

А. Г. Костяной<sup>1,2,3</sup>, А. Д. Гвишиани<sup>1,4</sup>, И. Н. Розенберг<sup>5</sup>, А. А. Соловьев<sup>1,4</sup>, Р. И. Красноперов<sup>1</sup>, Б. А. Дзебоев<sup>1</sup>, С. А. Гвоздик<sup>1,6</sup>, С. А. Лебедев<sup>1</sup>, И. М. Никитина<sup>1</sup>, И. А. Дубчак<sup>5</sup>, Н. В. Сазонов<sup>7</sup>, О. О. Шевалдышева<sup>1,8</sup>, В. Н. Сергеев<sup>1</sup>, Г. А. Гвоздик<sup>1,8</sup>

<sup>1</sup> Геофизический центр РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup> Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия

<sup>3</sup> Московский университет им. С. Ю. Витте, Москва, Россия

<sup>4</sup> Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

<sup>5</sup> Российский университет транспорта, Москва, Россия

<sup>6</sup> Факультет наук о Земле и окружающей среде, Университет Милан-Бикокка, Милан, Италия

<sup>7</sup> Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте, Москва, Россия

<sup>8</sup> Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия

Арктическая зона Российской Федерации характеризуется бурным ростом горнодобывающей промышленности, направленной на добычу нефти, газа, угля, руд, в том числе редкоземельных металлов. Железные дороги играют важную роль в транспортировке этих ресурсов в различные регионы России для переработки и экспорта. Часть грузов доставляется через арктические порты, подключенные к железнодорожной сети. Быстрое изменение климата, в том числе региональное потепление, является одним из факторов, ставящих под угрозу функционирование транспортной инфраструктуры Арктики. Системный анализ климатических процессов и оценка потенциальных опасностей, которые они могут вызвать, требуют адекватной геоинформационной поддержки. В данной презентации представлены результаты анализа пространственно-временной изменчивости различных гидрометеорологических параметров для отдельных железнодорожных магистралей в Арктическом регионе. Для этого был разработан новый геоинформационный метод, основанный на диаграммах Хофмюллера. Этот инструмент полезен для представления динамики климата вдоль указанных железнодорожных магистралей за несколько десятилетий. Он позволяет определить участки железных дорог, подверженные влиянию аномальных климатических условий в переменном временном масштабе. Представленные диаграммы Хофмюллера оказались эффективным инструментом для представления региональных изменений климата. Они могут быть весьма полезны при обслуживании, планировании, эксплуатации и адаптации железнодорожной инфраструктуры.

## **Experimental registration of slow deformation waves from GNSS data in connection with strong earthquakes**

V. Kaftan

Geophysical Center RAS, Moscow, Russia

In recent years, significant progress in geodynamics and geophysics has been observed in the study of slow deformation waves of the Earth's crust. These processes occur at speeds of the order of kilometres and hundreds of kilometres per year. The theoretical description of deformation waves is being actively developed, significantly outpacing the corresponding experimental studies. The main sign of the existence of slow crustal deformation waves is the migration of earthquake epicentres. There are also published evidences of registration of slow deformation waves by deformographic means of underground geodynamic observatories and seismic stations. The results of repeated accurate levelling over large areas have shown regular wave movements of anomalous vertical movements from fault to fault in low-moving and seismically active regions. Until recently, there were no results of slow deformation wave detection from continuous GNSS observations. Such results were obtained by the staff of the Geodynamics Laboratory of the Geophysical Centre of the Russian Academy of Sciences by analysing time series of changes in the coordinates of the global network of continuous GNSS stations. These experiments utilise data provided to the user by the Nevada Geodetic Laboratory of the University of Nevada-Reno (<http://geodesy.unr.edu/index.php>). Evidence for the existence of slow deformation waves in the upper parts of the Earth's crust was obtained by studying the spatial and temporal evolution of horizontal total shear deformation. To solve this problem, graphical models (frames) of the spatial distribution of the total shear deformation for each day of observations were created. The obtained frames were combined into a video film, synoptic analysis of which allowed us to see the regularities of shear deformation displacement in comparison with fault tectonics and seismicity of the study area. As a result, slow displacements of anomalous full shear deformation were detected at rates of about 2-20 km per year. The anomalous deformation occurs as a consequence of the discharge of moderate or a series of weak earthquakes. It begins to move along an active fault or in the absence of one. Approaching the 'mature' centre of a strong event, the deformation acts as an earthquake trigger.

---

## **Экспериментальная регистрация медленных деформационных волн по данным ГНСС в связи с сильными землетрясениями**

В. И. Кафтан

Геофизический центр РАН, Москва, Россия

В последние годы значительный прогресс в геодинамике и геофизике наблюдается в исследовании медленных деформационных волн земной коры. Эти процессы протекают со скоростями порядка километров и сотен километров в год. Теоретическое описание деформационных волн активно разрабатывается, существенно опережая соответствующие экспериментальные исследования. Основным признаком существования медленных волн деформации земной коры является миграция эпицентров землетрясений. Имеются также опубликованные свидетельства регистрации медленных деформационных волн деформографическими средствами подземных геодинамических обсерваторий и сейсмостанций. Результаты повторного точного нивелирования на обширных территориях показали закономерные волновые перемещения аномальных вертикальных движений от разлома к разлому в малоподвижных и сейсмоактивных регионах. До последнего времени отсутствовали результаты обнаружения волн медленной деформации по данным непрерывных ГНСС-наблюдений. Такие результаты получены сотрудниками Лаборатории геодинамики Геофизического центра РАН путем анализа временных рядов изменений координат глобальной сети непрерывно-действующих ГНСС-станций. В этих экспериментах использованы данные, представляемые пользователю Геодезической лабораторией Невады университета Невады-Рено (<http://geodesy.unr.edu/index.php>). Доказательства существования медленных деформационных волн в верхних частях земной коры получены путем изучения пространственно-временной эволюции горизонтальной деформации полного сдвига. Для решения этой задачи создавались графические модели (кадры) пространственного распределения деформации полного сдвига на каждые сутки наблюдений. Полученные кадры объединялись в видеофильм, синоптический анализ которого позволял увидеть закономерности перемещения деформации сдвига в сопоставлении с разломной тектоникой и сейсмичностью исследуемой территории. В результате обнаружены медленные перемещения аномальной деформации полного сдвига со скоростями порядка 2-20 км в год. Аномальная деформация возникает, как следствие разрядки умеренных или серии слабых землетрясений. Она начинает перемещаться вдоль активного разлома или в отсутствие такового. Подходя к «созревшему» очагу сильного события, деформация срабатывает, как триггер землетрясения.

## **An integrated approach to the development of effective gas emission control systems at coal mines excavation sites**

Yu. Govorukin, S. Kubrin

Research Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources (IPKON) RAS, Moscow, Russia

The used gas release control systems do not sufficiently ensure rhythmic and efficient operation of mechanised complexes in formations with high gas content. A significant impact is made by the caving zones formed as the mining pillars are mined out. In their domes a gas reservoir is formed, from which methane enters the active workings, and can also be dynamically squeezed out at landing of roof cantilevers. The approach to the development of effective control systems of gas emission at mine sites by means of complexing the elements of the system 'mine workings – caving zone' is proposed. A mathematical model linking geomechanical and aerogasodynamic processes occurring in the highly permeable environment of the caving zone has been developed. It was established that the determining parameters for this connection are the degree of stability of the roof rocks, excavated thickness, coefficients of loosening, compaction, permeability and macro-roughness. In order to adapt the model, the experimental data obtained by domestic and foreign researchers for various mining and geological conditions were collected, analysed and summarized. The authors obtained that the highest permeability  $k_d$  of disintegrated rocks (initial porosity from 1.0 to 10.0 %) is (the values of permeability after the end of the active stage of geomassif shearing are given in brackets): at the maximum loosening coefficient  $k_r$ .  $\max = 1,8 - k_d = 1020-1140$  D (8,8 – 22,2 D); at  $k_r.\max = 2,0 - k_d = 1310-1430$  D (15,6 – 33,5 D); at  $k_r.\max = 2,1 - k_d = 1430-1550$  D (19,9 – 40,2 D). The permeability values of the upper part of the collapse zone are 2.15-8.19 D (0.05-1.62 D), and the lower part of the fracture and fault zone are 0.39-3.38 D (0.01 – 1.14 D). The programme 'Aerodynamics' was developed, which allows to estimate three-dimensional distribution in space and time of geomechanical and aerodynamic parameters of the caving zone in the process of mining of the excavation pillar. Its output data are the initial data for modelling filtration processes and processes of gas reservoir formation at the mine site in a wide range of mining and geological and mining engineering conditions. It is proposed to use the results of this modelling for the purposes of development of effective systems of gas emission control taking into account specific conditions and for the purposes of increasing the level of safety of mining operations under conditions of high intensity loads on mine faces.

---

## **Комплексный подход к разработке эффективных систем управления газовыделением на выемочных участках угольных шахт**

Ю. М. Говорухин, С. С. Кубрин

Институт проблем комплексного освоения недр РАН, Москва, Россия

Применяемые системы управления газовыделением в недостаточной мере обеспечивают ритмичную и эффективную работу механизированных комплексов на пластах с высокой газоносностью. Существенное влияние оказывают зоны обрушения, формируемые по мере отработки выемочных столбов. В их куполах происходит образование газового коллектора, из которого метан поступает в действующие выработки, а также может динамически выдавливаться при посадке консолей кровли. Предложен подход к разработке эффективных систем управления газовыделением на выемочных участках посредством комплексирования элементов системы «горные выработки – зона обрушения». Разработана математическая модель, связывающая геомеханические и аэрогазодинамические процессы, происходящие в высокопроницаемой среде зоны обрушения. Установлено, что определяющими параметрами для данной связи являются степень устойчивости пород кровли, вынимаемая мощность, коэффициенты разрыхления, уплотнения, проницаемости и макрошероховатости. В целях адаптации модели выполнены сбор, анализ и обобщение экспериментальных данных, полученных отечественными и зарубежными исследователями для различных горно-геологических условий. Авторами получено, что наибольшая проницаемость  $k_d$  дезинтегрированных пород (исходная пористость от 1,0 до 10,0 %) составляет (в скобках указаны значения проницаемости после завершения активной стадии сдвижения геомассива): при максимальном коэффициенте разрыхления  $k_r.\max = 1,8 - k_d = 1020-1140$  Д (8,8 – 22,2 Д); при  $k_r.\max = 2,0 - k_d = 1310-1430$  Д (15,6 – 33,5 Д); при  $k_r.\max = 2,1 - k_d = 1430 - 1550$  Д (19,9 – 40,2 Д). Значения проницаемости верхней части зоны обрушения составляют 2,15-8,19 Д (0,05-1,62 Д), а нижней части зоны трещин и разломов – 0,39-3,38 Д (0,01 – 1,14 Д). Разработана программа «Аэродинамика», позволяющая выполнить оценку трёхмерного распределения в пространстве и времени геомеханических и аэродинамических параметров зоны обрушения в процессе отработки выемочного столба. Выходные данные из неё являются исходными для моделирования фильтрационных процессов и процессов формирования газового коллектора на выемочном участке в широком диапазоне горно-геологических и горнотехнических условий. Предложено использование результатов данного моделирования для целей разработки эффективных систем управления газовыделением с учётом конкретных условий и для целей повышения уровня безопасности ведения горных работ в условиях высокоинтенсивных нагрузок на очистные забои.

## **Problems of processing primary data of magnetic observatories: will modern mathematical technologies help?**

S. Khomutov

Institute of cosmophysical research and radio wave propagation FEB RAS, Paratunka, Russia

Various aspects of processing of primary magnetic data obtained at observatories are considered. The problems related to interferences in the measurement results, hardware and software failures, methodological errors, personnel errors, etc. are noted. The necessity to perform the primary processing of measurement results directly at the observatories and the importance of introducing modern technologies into this process are emphasised. It is shown that there are problems, for example, rare irregular and uncontrolled changes in the conditions of magnetic measurements, which cannot be effectively solved by high-tech mathematical methods such as deep machine learning, neural networks, wavelet analysis and others. However, it is also clear that traditional approaches based on the assessments of expert magnetologists will give reliable and valid results only if these experts are sufficiently qualified and experienced, which is practically impossible for many observatories. An alternative way is interactive interaction between the processors at the observatories and the programmes used by them that implement modern mathematical methods.

---

## **Проблемы обработки первичных данных магнитных обсерваторий: помогут ли современные математические технологии?**

С. Ю. Хомутов

Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Паратунка, Россия

Рассматриваются различные аспекты обработки первичных магнитных данных, получаемых на обсерваториях. Отмечены проблемы, связанные с помехами в результатах измерений, аппаратурными и программными сбоями, методическими ошибками, ошибками персонала и др. Акцентируется необходимость выполнять первичную обработку результатов измерений непосредственно на обсерваториях и важность внедрения в этот процесс современных технологий. Показано, что существуют проблемы, например, редкие нерегулярные и неконтролируемые изменения условий магнитных измерений, которые не могут быть эффективно решены с помощью высокотехнологичных математических методов, таких как глубокое машинное обучение, нейронные сети, вейвлет-анализ и др. Однако, понятно также, что традиционные подходы, основанные на оценках экспертов-магнитологов, будут давать надёжные и достоверные результаты только при достаточной квалификации и опыте этих экспертов, что для многих обсерваторий практически невозможно. Альтернативный путь – это интерактивное взаимодействие между обработчиками на обсерваториях и используемыми ими программами, реализующими современные математические методы.

## **Methodological aspects of prognostic and mineralogenic studies using remotely sensed Earth observation data**

V. Petrov, S. Ustinov, V. Minaev

Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry (IGEM) RAS, Moscow, Russia

The methodological aspects of the allocation and justification of search areas for scarce types of solid minerals are considered, taking into account the concept of mineral-forming systems and the use of Earth remote sensing data. From the whole range of areas of fundamental and exploratory scientific research, the main attention is paid to the following aspects: 1) identification of lineaments (fault zones) based on the processing of digital relief models using radar interferometric survey of the globe surface SRTM, 2) determination of hydraulically active discontinuous structures for the period of ore formation based on tectonophysical reconstructions, 3) analysis of multispectral characteristics of pre-ore, ore-accompanying and post-ore metasomatites based on statistical processing of Landsat-8 satellite data, 4) assessment of fluid dynamic conditions of deposit formation based on data on the composition, properties and genesis of mineral-forming fluids, 5) creation of weight predictive and prospecting models (weight of evidence models) based on statistical algorithms for processing data on the dynamics of ore-genetic processes.

---

## **Методические аспекты прогнозно-минерагенических исследований с использованием данных дистанционного зондирования Земли**

В. А. Петров, С. А. Устинов, В. А. Минаев

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ) РАН, Москва, Россия

Рассмотрены методические аспекты выделения и обоснования поисковых площадей на дефицитные виды твердых полезных ископаемых с учетом концепции минералообразующих систем и использованием данных дистанционного зондирования Земли. Из всего спектра направлений фундаментальных и поисковых научных исследований основное внимание уделено следующим аспектам: 1) выделению линейментов (разломных зон) на основе обработки цифровых моделей рельефа с использованием данных радарной интерферометрической съемки поверхности земного шара SRTM, 2) определению гидравлически активных на период рудообразования разрывных структур на основе тектонофизических реконструкций, 3) анализу мультиспектральных характеристик дорудных, рудосопровождающих и пострудных метасоматитов на основе статистической обработки спутниковых данных Landsat-8, 4) оценке флюидодинамических обстановок формирования месторождений по данным о составе, свойствах и генезису минералообразующих флюидов, 5) созданию весовых прогнозно-поисковых моделей (weight of evidence models), основанных на статистических алгоритмах обработки данных о динамике протекания рудогенетических процессов.

## Experience in application of web GIS technologies in global geophysical forecasting tasks

G. Vorobeva<sup>1</sup>, A. Vorobev<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

<sup>2</sup>Geophysical Center RAS, Moscow, Russia

The task of software processing of spatial data in the conditions of modern technology development and exponential growth of the volume and complexity of such information becomes especially important when designing information systems for decision support in applied areas, in particular, when solving problems of global geophysical forecasting. Tendencies to the ubiquitous distribution of appropriate tool-software for a wide range of users contribute to the development of web-oriented solutions to such a task. One of the problems of geoinformation software libraries in visualisation of geospatial data is low efficiency and limitation of frame-by-frame changes of a group of spatial layers with time reference. Among the most significant difficulties of visualisation is the impossibility of synchronous switching of a group of spatial layers by time parameter, which negatively affects the results of estimation of temporal anisotropy of the corresponding spatial data. The problem is also aggravated by the heterogeneity of spatial information, which is expressed in discretisation steps, formats, geospatial primitives used. Another problem of web-based geoinformation libraries in visualisation, in particular in the construction of spatial isolines, is related to the presence of multiple artefacts in the result set. This makes it difficult to analyse the spatial distribution of the corresponding data, on the one hand, and reduces the quality of spatial image rendering, on the other hand. At the same time, geospatial image artefacts are particularly critical for large data sets. The authors propose an approach that both provides integration of heterogeneous vector geospatial data for subsequent processing, analysis and visualisation, and allows to correct software generated isolines by identifying open lines and their subsequent selective connection or closing. From the point of view of software implementation, the presented approach practically does not change the response time of server scenarios. The effectiveness of the developed approach was investigated on the example of a web application that provides visualisation of a geospatial image in the form of a set of spatial isolines of geophysical parameters in the area of the auroral oval.

---

## Опыт применения технологий веб-ГИС в задачах глобального геофизического прогноза

Г. Р. Воробьева<sup>1</sup>, А. В. Воробьев<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

<sup>2</sup>Геофизический центр РАН, Москва, Россия

Задача программной обработки пространственных данных в условиях современного развития технологий и экспоненциального роста объемов и сложности такой информации приобретает особую актуальность при проектировании информационных систем для поддержки принятия решений в прикладных областях, в частности, при решении задач глобального геофизического прогноза. Тенденции к повсеместному распространению соответствующих инструментально-программных средств для широкого круга пользователей способствуют развитию веб-ориентированных решений такой задачи. Одной из проблем геоинформационных программных библиотек при визуализации геопространственных данных является низкая эффективность и ограниченность покадрового изменения группы пространственных слоев с временной привязкой. Среди наиболее значимых трудностей визуализации можно отметить невозможность синхронного переключения группы пространственных слоев по временному параметру, что негативно сказывается на результатах оценки временной анизотропии соответствующих пространственных данных. Проблема усугубляется также разнородностью пространственной информации, что выражается в шагах дискретизации, форматах, используемых геопространственных примитивах. Другая проблема геоинформационных веб-ориентированных библиотек при визуализации, в частности, при построении пространственных изолиний связана с присутствием в результирующем наборе множественных артефактов. Это затрудняет анализ пространственного распределения соответствующих данных, с одной стороны, и снижает качество рендеринга пространственного изображения, с другой. При этом особенно критичны артефакты геопространственных изображений для больших объемов данных. Авторами предлагается подход, как обеспечивающий интеграцию разнородных векторных геопространственных данных для последующих обработки, анализа и визуализации, так и позволяющий выполнить корректировку программно-сформированных изолиний посредством идентификации разомкнутых линий и их последующего выборочного соединения либо замыкания. С точки зрения программной реализации, представленный подход практически не изменяет времени отклика серверных сценариев. Эффективность разработанного подхода была исследуется на примере веб-приложения, обеспечивающего визуализацию геопространственного изображения в виде комплекса пространственных изолиний геофизических параметров в области аврорального овала.

## **Approach to hardware-free assessment of the level of geinduced currents in power systems of the Arctic region**

A. Vorobev<sup>1,2</sup>, A. Soloviev<sup>2,3</sup>, G. Vorobeva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

<sup>2</sup> Geophysical Center RAS, Moscow, Russia

<sup>3</sup> Schmidt Institute of physics of the Earth RAS, Moscow, Russia

Dynamic exploration and development of the Arctic zone of the Russian Federation is inextricably linked to the need to minimise technosphere risks associated, among other things, with the effects of space weather on power equipment systems operated within the auroral oval boundaries. The associated monitoring of space weather parameters and geomagnetic field variations in the Arctic is carried out only by means of a small group of satellites and several dozens of magnetic stations located mainly in the USA, Canada, northern and central Europe. It is obvious that the current situation practically excludes the possibility of operational diagnostics of the level of geinduced currents (GIC) for the most part of the Arctic zone of the Russian Federation, where, in fact, the only available indicator of the state of space weather remains the aurora borealis. The paper proposes an approach to the interpretation of auroras manifestation to assess the effects of space weather on the objects and systems of high-latitude infrastructure. Thus, on the example of the substation 'Vykhodnoy' of the main electric network 'Severny Transit' it is shown that at registration of auroras in the north, in the zenith and in the south the most probable (averaged over 30 min) level of GIC is 0.08 A, 0.23 A and 0.68 A, respectively. At the same time, the probability that the half-hourly average GIC level exceeds 2 A (in the case of auroras in the north, zenith and south) is ~6 %, ~10 % and ~15 %, respectively. In conclusion, the ways of modernisation and the limits of applicability of the proposed approach are discussed.

---

## **Подход к безаппаратной оценке уровня геоиндуцированных токов в энергосистемах Арктического региона**

А. В. Воробьев<sup>1,2</sup>, А. В. Соловьев<sup>2,3</sup>, Г. Р. Воробьева<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

<sup>2</sup> Геофизический центр РАН, Москва, Россия

<sup>3</sup> Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

Динамичное освоение и развитие Арктической зоны РФ неразрывно связано с необходимостью минимизации техносферных рисков, сопряженных в том числе и с эффектами воздействия космической погоды на системы энергетического оборудования, эксплуатируемые внутри границ аврорального овала. При этом сопутствующий мониторинг параметров космической погоды и вариаций геомагнитного поля в Арктике осуществляется лишь посредством небольшой группы спутников и нескольких десятков магнитных станций, расположенных главным образом на территории США, Канады, северной и центральной Европы. Очевидно, что сложившаяся ситуация практически исключает возможность оперативного диагностирования уровня геоиндуцированных токов (ГИТ) для большей части Арктической зоны РФ, где фактически единственным доступным индикатором состояния космической погоды остаются полярные сияния. В работе предлагается подход к интерпретации проявления сияний для оценки эффектов воздействия космической погоды на объекты и системы высокоширотной инфраструктуры. Так, на примере подстанции «Выходной» магистральной электрической сети «Северный транзит» показано, что при регистрации полярных сияний на севере, в зените и на юге наиболее вероятный (усредненный по 30 мин) уровень ГИТ составляет 0.08 А, 0.23 А и 0.68 А соответственно. При этом вероятность того, что среднечасовой уровень ГИТ превысит 2 А (в случае сияний на севере, в зените и на юге) составляет ~6 %, ~10 % и ~15 % соответственно. В заключении рассматриваются пути модернизации и границы применимости предложенного подхода.

## Depths of the basement and roof of the magnetically active layer of the Amur plate

A. Didenko<sup>1,2</sup>, M. Nosyrev<sup>2</sup>, G. Gilmanova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Geological Institute RAS, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Institute of tectonics and geophysics FEB RAS, Khabarovsk, Russia

Determination of the lower boundary of the crustal magnetically active layer (CPD) on the basis of spectral analysis of the anomalous magnetic field is one of the components of the general complex of depth studies. The calculation and interpretation of CPD are important both from the point of view of structural and tectonic constructions and in connection with the study of the Earth's heat flow. It seems relevant to us to develop a CPD model of the Amur plate territory and its frame to assess the manifestation of its boundaries in terms of changes in the lower boundary of the magnetically active layer, to assess the peculiarities of the spatial distribution of this parameter in connection with the tectonic structure of the territory and some depth characteristics. Our calculations of the depths of magnetic sources in the crust of the Amur lithospheric plate were based on the method (Spector and Grant, 1970), modernised in (Tanaka et al., 1999), and the global model of the Earth's magnetic field – EMAG2v3 (Meyer et al., 2017). The calculations were performed in a sliding window of size 200x200 km with an overlap of 100 km. For the area of the Amur plate and adjacent areas, the calculations were performed for 880 points, 259 of which are directly within the plate boundaries. Taking into account that the EMAG2v3 model is represented by a 4 km height transformation relative to the geoid and the elevation difference within the Amur plate is more than 5.7 km, appropriate corrections were introduced into the calculations of magnetic source depths. The calculations of the depths of magnetic sources of the Amur plate showed the following: 1) absolute marks of the roof of the magnetically active layer vary from 4 to 15 km with an average of  $10 \pm 2$  km. The minimum roof depths are observed for the southern part of the plate within the Sea of Japan; 2) absolute marks of the base of the magnetically active layer vary from 15 to 38 km with an average of  $25 \pm 5$  km. The maximum depths of the basement are observed for the central (Sunliao basin, Maly Khingan) and southeastern (Japanese Islands) parts of the plate. The most elevated areas of the basement (Curie surfaces) are observed in the north-western, northern and eastern parts – the zones of interaction of the Amur plate with the Pacific plate in the east and the Eurasian plate in the north-west and north; 3) the thickness of the magnetically active layer varies from 2 to 30 km with an average of  $14 \pm 6$  km. The highest and lowest thicknesses of the layer are well correlated with the depth of its basement. The highest is in the central and south-eastern parts of the plate, and the lowest – in the north-western, northern and eastern parts of the plate. The work was funded by a grant from the Russian Science Foundation (project No. 22-17-00023).

---

## Глубины подошвы и кровли магнитоактивного слоя Амурской плиты

А. Н. Диденко<sup>1,2</sup>, М. Ю. Носырев<sup>2</sup>, Г. З. Гильманова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Геологический институт РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup> Институт тектоники и геофизики ДВО РАН, Хабаровск, Россия

Определение нижней границы магнитоактивного слоя земной коры (CPD) на основе спектрального анализа аномального магнитного поля является одной из составляющих общего комплекса глубинных исследований. Расчет и интерпретация CPD важны как с точки зрения структурно-тектонических построений, так и в связи с изучением теплового потока Земли. Нам представляется актуальной разработка модели CPD территории Амурской плиты и ее обрамления для оценки проявления ее границ с точки зрения изменения нижней границы магнитоактивного слоя, оценки особенностей пространственного распределения данного параметра в связи с тектоническим строением территории и некоторыми глубинными характеристиками. Основой проведенных нами расчетов глубин магнитных источников в земной коре Амурской литосферной плиты явился метод (Spector, Grant, 1970), модернизированный в (Tanaka et al., 1999), и глобальная модель магнитного поля Земли – EMAG2v3 (Meyer et al., 2017). Вычисления выполнены в скользящем окне размером 200x200 км с перекрытием в 100 км. По площади Амурской плиты и прилегающих территорий расчеты были проведены для 880 точек, 259 из которых находятся непосредственно в границах плиты. Учитывая, что модель EMAG2v3 представлена трансформацией на высоту 4 км относительно геоида и перепад высот рельефа в пределах Амурской плиты составляет более 5.7 км, в расчеты глубин магнитных источников были введены соответствующие поправки. Расчеты глубин магнитных источников Амурской плиты показали следующее: 1) абсолютные отметки кровли магнитоактивного слоя варьируются от 4 до 15 км при среднем  $10 \pm 2$  км. Минимальные глубины кровли наблюдаются для южной части плиты в пределах Японского моря; 2) абсолютные отметки подошвы магнитоактивного слоя варьируются от 15 до 38 км при среднем  $25 \pm 5$  км. Максимальные глубины подошвы наблюдаются для центральной (бассейн Сунляо, Малый Хинган) и юго-восточной (Японские острова) частей плиты. Наиболее приподнятые участки подошвы (поверхности Кюри) наблюдаются на северо-западной, северной и восточной участках – зонах взаимодействия Амурской плиты с Тихоокеанской на востоке и Евразийской на северо-западе и севере плитами; 3) мощность магнитоактивного слоя варьируется от 2 до 30 км при среднем  $14 \pm 6$  км. Наибольшие и наименьшие мощности слоя хорошо коррелируются с глубиной его подошвы. Наибольшая – в центральной и юго-восточной, наименьшая – в северо-западной, северной и восточной частях плиты. Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-17-00023).

## **Application of kNN-analysis for interpretation of geophysical measurements**

I. Aleshin

Schmidt Institute of physics of the Earth RAS, Moscow, Russia

Geophysical Center RAS, Moscow, Russia

A wide range of geophysical investigations requires measurements covering a large area. Such studies can be of both fundamental and applied nature, the parameters studied can be of different physical nature, measured directly or as a result of post-processing. Representation and analysis of area measurements usually use various interpolation procedures: linear, polynomial interpolation, splines, as well as more powerful methods, such as various modifications of the nearest neighbours method, kriging, etc. The latter are usually performed by using the quality of interpolation. In the latter case, the quality of interpolation significantly depends on the choice of values of the control parameters of the algorithm (hyperparameters). As a rule, it is impossible to unambiguously choose the values of hyperparameters based only on the physical formulation of the problem; additional data analysis is required. Below we will talk about field measurement data with significant spatial anisotropy. This situation often arises during field work, in particular, during borehole surveys. It will be shown that standard interpolation methods are also applicable in this case, but their modification is required. This leads to the appearance of additional hyperparameters, the value of which, together with the parameters of the original algorithm, can be determined by methods of machine learning theory. This approach to data analysis will be demonstrated on the example of the nearest neighbours (kNN) algorithm for several sets of geophysical measurements: downhole electromagnetic survey data, aeromagnetic surveys using unmanned aerial vehicles, and the results of analysis of exchange waves from teleseismic events (receiver functions).

---

## **Применение kNN-анализа для интерпретации геофизических измерений**

И. М. Алёшин

Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

Геофизический центр РАН, Москва, Россия

Широкий круг геофизических исследований требует проведения измерений, покрывающих значительную площадь. Такого рода исследования могут иметь как фундаментальный, так и прикладной характер, изучаемые параметры могут иметь разную физическую природу, измеряться непосредственно или быть результатом постобработки. Представление и анализ площадных измерений обычно используют различные интерполяционные процедуры: линейная, полиномиальная интерполяция, сплайны, равно как и более мощные методы, такие как различные модификации метода ближайших соседей, кригинг и др. В последнем случае качество интерполяции существенно зависит от выбора значений управляющих параметров алгоритма (гиперпараметров). Как правило, невозможно однозначно выбрать значения гиперпараметров исходя только из физической постановки задачи, требуется дополнительный анализ данных. Ниже речь пойдёт о данных полевых измерений, имеющих значительную пространственную анизотропию. Такого рода ситуация часто возникает при проведении полевых работ, в частности, при скважинных исследованиях. Будет показано, что стандартные методы интерполяции применимы и в этом случае, однако требуются их модификация. Это приводит к появлению дополнительных гиперпараметров, значение которых, вместе с параметрами исходного алгоритма можно определить методами теории машинного обучения. Такой подход к анализу данных будет продемонстрирован на примере алгоритма ближайших соседей (kNN) применительно к нескольким наборам геофизических измерений: данных межскважинного электромагнитного просвечивания, аэромагнитной съёмки с применением беспилотных аппаратов, результатов анализа обменных волн от телесеизмических событий (функций приёмника).

## Geoinformation system ‘Thermal Mineral Waters of the Kuril Islands’

A. Dolgaya, E. Kalacheva

Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

For many years, the Institute of Volcanology and Seismology (IV&S) of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences has been conducting research on volcanic-hydrothermal systems located on the Kuril Islands. Within the framework of these works, a large amount of data on the chemical and isotopic composition of thermal waters and fumarolic gases has been obtained, estimates of hydrothermal removal of magmatic volatiles, chemical erosion of volcanic structures have been presented, and the processes of modern mineral formation occurring on the solfataric fields of active volcanoes have been considered. To systematise and analyse the accumulated amount of data, a specialised geoinformation system (GIS) was created on the basis of a set of NextGIS solutions. The GIS is available to a wide range of users at <https://kamkursprings.nextgis.com/> and allows viewing such data on the sampling points of thermomineral waters of the Kuril Islands as temperature, pH acidity level, mineralisation, predominant type of anions and cations in the sample. All published data on water composition in samples can be viewed in a separate layer. In addition to thermal water sampling points, the GIS contains data layers describing background cold water (surface water and estuarine water sampling points). The GIS also contains a set of general geographic layers (volcanoes, rivers, lakes). For many sites, photographic materials with explanations are provided to allow a more complete assessment of the different thermal fields and spring groups, as well as landscapes of islands and volcanic massifs. At present, the GIS contains information on more than 1500 sampling points, most of them characterising thermal waters. A system of access rights has been implemented in the created GIS. User group ‘Guest’ has the ability to view data on the map, changing its coverage and scale, to view tables of attributive data of available layers, to export data to files of different formats, as well as to print the map. The ‘Administrator’ user group has full access rights, being able to work with restricted data layers, edit data and GIS structure. Further GIS development plans are related to adding new thematic data layers, as well as expanding the geographical coverage of the GIS with data on thermal fields of Kamchatka. The work is carried out within the framework of the research project ‘The role of hydrothermal systems of the Kuril-Kamchatka volcanic arc in the redistribution of mantle and crustal matter, in the processes of mineral and ore genesis’ (No. FWME-2024-0006).

---

## Геоинформационная система «Термоминеральные воды Курильских островов»

А. А. Долгая, Е. Г. Калачева

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия

В Институте вулканологии и сейсмологии (ИВиС) ДВО РАН на протяжении многих лет ведутся исследования вулcano-гидротермальных систем, расположенных на Курильских островах. В рамках этих работ получен большой объем данных о химическом и изотопном составе термальных вод и фумарольных газов, представлены оценки гидротермального выноса магматических летучих, химической эрозии вулканических построек, рассмотрены процессы современного минералообразования, протекающих на сольфатарных полях активных вулканов. Для систематизации и анализа накопленного объема данных на базе комплекса решений компании NextGIS была создана специализированная геоинформационная система (ГИС). ГИС доступна широкому кругу пользователей по адресу <https://kamkursprings.nextgis.com/> и позволяет просматривать такие данные о точках опробования термоминеральных вод Курильских островов, как температура, уровень кислотности pH, минерализация, преобладающий тип анионов и катионов в пробе. Все опубликованные данные о составе воды в пробах можно просмотреть в отдельном слое. Помимо точек опробования термальных вод в ГИС присутствуют слои данных, описывающих фоновые холодные воды (точки опробования поверхностных вод и воды в устьях рек). В ГИС содержится также комплекс общегеографических слоев (вулканы, реки, озера). Для многих объектов приведены фотоматериалы с пояснениями, позволяющие более полно оценить различные термальные поля и группы источников, а также пейзажи островов и вулканических массивов. В настоящее время в ГИС представлена информация по более 1500 точек опробования, большая часть характеризует термальные воды. В созданной ГИС реализована система прав доступа. Группа пользователей «Гость» имеет возможность просматривать данные на карте, изменяя ее охват и масштаб, просматривать таблицы атрибутивных данных доступных слоев, экспортировать данные в файлы различных форматов, а также выводить карту на печать. Группа пользователей «Администратор» обладает всей полнотой прав доступа, имея возможность работать со слоями данных ограниченного доступа, редактировать данные и структуру ГИС. Дальнейшие планы развития ГИС связаны с добавлением новых тематических слоев данных, а также с расширением географического охвата ГИС за счет данных о термальных полях Камчатки. Работа выполняется в рамках темы НИР ИВиС ДВО РАН «Роль гидротермальных систем Курило-Камчатской вулканической дуги в перераспределении мантийного и корового вещества, в процессах минерало-рудогенеза» (№ FWME-2024-0006).

## **Automation of data processing of robotic UAV-geophysical systems using the 'DDV' module**

S. Gachenko, A. Parshin

Institute "Siberian School of Geosciences" «INRTU», Irkutsk, Russia

The introduction of unmanned aerial vehicles (UAVs) into the practice of geophysical surveys allowed to increase the productivity of field work by an order of magnitude. To perform low-altitude geophysical surveys, the Institute 'Siberian School of Geosciences' IRNITU has created variants of multi-rotor and aircraft unmanned aerial system SibGIS UAS. Unmanned systems are equipped with high-precision magnetometers, radiometers, lidar scanners, multispectral photogrammetric cameras, and electrical survey systems. The greatest demand is for modular magnetic surveying. High productivity of unmanned systems allows obtaining a large amount of information in a short period of time, but the value of robotisation of geophysical exploration is greatly reduced if the data cannot be processed as quickly. In part, the methodology of UAV data processing differs from both ground-based surveying (as there is a height parameter and related nuances) and aerogeophysical surveying (as much less attention can be paid to the influence of carriers and problems with terrain flow), so the use of existing but not specialised for UAV-geophysics software products does not fully solve the problem of fast processing. In order to optimise the primary processing of UAV survey data the software module 'DDV' was developed. The module allows to automate processing procedures: synchronisation of magnetometer and flight controller, error estimation, division of main and auxiliary routes into classes, etc. The processing system parameters can be set up manually and automatically. The module implements graphical visualisation of materials of a large amount of data. It is an independent software product, easily ported without installation to any computers, including mobile ones, and can be launched from flash-carriers. High optimisation of computational algorithms allows processing any possible volumes of geophysical data. As a result of using the SibGIS UAS unmanned complex with the 'DDV' software module, the task of increasing the efficiency and quality of UAV survey data processing is solved. After processing with the help of the DDV module, the survey data are submitted for interpretation of the obtained information materials.

---

### **Автоматизация обработки данных роботизированных БПЛА-геофизических систем с помощью модуля «DDV»**

С. В. Гаченко, А. В. Паршин

Институт "Сибирская школа геонаук" «ИРНТУ», Иркутск, Россия

Внедрение в практику геофизических съемок беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) позволило на порядок повысить производительность полевых работ. Для выполнения маловысотной геофизической съемки в Институте "Сибирская школа геонаук" ИРНТУ созданы варианты мультироторного и самолетного беспилотного комплекса SibGIS UAS. Беспилотные систем оснащены высокоточными магнитометрами, радиометрами, лидарными сканерами, мультиспектральными фотограмметрическими камерами, электроразведочными системами. Наибольшую востребованность имеет модульная магнитная съемка. Высокая производительность беспилотных систем позволяет получать большой объем информации за короткий промежуток времени, но ценность роботизации геофизической разведки сильно снижается, если нельзя так же быстро и обрабатывать данные. Частично методика обработки БПЛА-данных отличается как от наземной съемки (так как присутствует параметр высоты и связанные с ним нюансы), так и от аэрогеофизической съемки (так как существенно меньше внимание можно уделять влиянию носителей и проблемам с обтеканием рельефа), в связи с чем применение существующих, но не специализированных для БПЛА-геофизики программных продуктов не позволяет в полной мере решить проблему быстрой обработки. В целях оптимизации первичной обработки данных именно БПЛА-съемки разработан программный модуль «DDV». Модуль позволяет автоматизировать процедуры обработки: синхронизацию магнитометра и полетного контроллера, оценку погрешности, разделение основных и вспомогательных маршрутов на классы, и др. Предусмотрена настройка параметров обрабатывающей системы в ручном и автоматическом вариантах. В модуле реализована графическая визуализация материалов большого объема данных. Он является самостоятельным программным продуктом, легко портируемым без установки на любые компьютеры, в том числе мобильные и может запускаться с флэш-носителей. Высокая оптимизация вычислительных алгоритмов позволяет обрабатывать любые возможные объемы геофизических данных. В результате применения беспилотного комплекса SibGIS UAS с программным модулем «DDV» решается задача повышения оперативности и качества обработки данных БПЛА съемки. После обработки с помощью модуля «DDV» данные съемки поступают на интерпретацию полученных информационных материалов.

## Geoinformation technology for monitoring of natural spatial and temporal processes

V. Gitis<sup>1</sup>, A. Derendyaev<sup>1</sup>, K. Petrov<sup>1</sup>, A. Zelenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute for Information Transmission Problems of the Russian Academy of Sciences (Kharkevich Institute) RAS, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Hydrometcenter of Russia, Moscow, Russia

Monitoring of natural processes includes three functions: regular presentation of information on the current state of the processes; detection of changes in the natural environment; forecasting and prevention of risks. The proposed monitoring technology provides the user with two groups of information: (A) Information that is the result of predefined methods of data analysis, and (B) Information that requires scientific research. The monitoring platform consists of two GIS. (A) The first GIS monitors processes automatically. It can load, process, analyse and visualise data, train and forecast earthquakes, provide the user with process analysis tools with intuitive operations, run calculations on a remote server at the user's request, prepare an up-to-date version of the GIS project for the analysed region and upload the project to the second GIS. (B) The second GIS (GeoTime 3) is designed for detailed analysis of hypotheses that a specialist can formulate at level (A). It is a multifunctional system focused on analysing spatial and temporal processes and forecasting natural hazards. GIS, along with standard operations, provides dynamic loading and integration of data from remote servers and the user's local network, has a large set of tools for joint analysis and presentation of different types of spatio-temporal data, supports research on earthquake prediction and identification of anomalous geological zones. Three monitoring platforms are discussed in the paper: seismoMap platform: monitoring of spatio-temporal seismic fields using data from the KF FIC EGS RAS, NEIC USGS, ISC and GMA; Arctic platform (<https://gis.iitp.ru/arctic/>): monitoring and forecasting of hydrometeorological situation in the Arctic using data from the Russian Hydrometeorological Centre, ISC and HardFor; prognosis platform (<https://gis.iitp.ru/prognosis-gps/>): Monitoring of seismogenic processes and systematic forecast of earthquakes from data of KF FIC EGS RAS, NEIC USGS, ISC, GMA and GPS series from NGL site of Nevada Geodetic Laboratory. The minimum alarm region method is used for earthquake prediction training.

---

## Геоинформационная технология мониторинга природных пространственно-временных процессов

В. Г. Гитис<sup>1</sup>, А. Б. Дерендяев<sup>1</sup>, К. Н. Петров<sup>1</sup>, А. А. Зеленько<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт проблем передачи информации РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup> Гидрометцентр России, Москва, Россия

Мониторинг природных процессов включает в себя три функции: регулярное представление информации о текущем состоянии процессов; выявление изменений природной среды; прогноз и предупреждение рисков. Предлагаемая технология мониторинга представляет пользователю две группы сведений: (А) Сведения, являющиеся результатами заранее заданных методов анализа данных, и (Б) Сведения, для получения которых требуется выполнение научного исследования. Платформа мониторинга состоит из двух ГИС. (А) Первая ГИС в автоматическом режиме ведёт мониторинг процессов. Она может выполнять загрузку, обработку, анализ и наглядное представление данных, обучение и прогноз землетрясений, обеспечивать пользователя инструментами анализа процессов с интуитивно понятными операциями, по запросу пользователя может запускать вычисления на удаленном сервере, готовить актуальную версию ГИС-проекта по анализируемому региону и загружать проект на вторую ГИС. (Б) Вторая ГИС (GeoTime 3) предназначена для детального анализа гипотез, которые специалист может сформулировать на уровне (А). Это многофункциональная система, ориентированная на анализ пространственно-временных процессов и прогноз опасных природных явлений. ГИС, наряду со стандартными операциями, обеспечивает динамическую загрузку и интеграцию данных с удаленных серверов и локальной сети пользователя, обладает большим набором инструментов для совместного анализа и представления разнотипных пространственно-временных данных, поддерживает исследования по прогнозу землетрясений и идентификации аномальных геологических зон. В докладе рассматриваются три платформы мониторинга: платформа SeismoMap: мониторинг пространственно-временных сейсмических полей по данным КФ ФИЦ ЕГС РАН, NEIC USGS, ISC и GMA; платформа Arctic (<https://gis.iitp.ru/arctic/>): мониторинг и прогноз гидрометеорологической обстановки в Арктике по данным Гидрометцентра России, ISC и компании HardFor; платформа Prognosis (<https://gis.iitp.ru/prognosis-gps/>): мониторинг сейсмогенных процессов и систематический прогноз землетрясений по данным КФ ФИЦ ЕГС РАН, NEIC USGS, ISC, GMA и рядом GPS с сайта NGL Геодетической лаборатории Невады. Для обучения прогнозу землетрясений используется метод минимальной области тревоги.

## Technology for systematic earthquake forecasting

V. Gitis, A. Derendyaev

Institute for Information Transmission Problems of the Russian Academy of Sciences (Kharkevich Institute) RAS, Moscow, Russia

Systematic earthquake forecasting is performed with a constant time interval. Before each forecast, new data are downloaded, the prediction decisive rule is trained, and an alarm zone is defined in which epicentres of earthquakes with target magnitudes are expected. A minimum alarm area method is developed for training. The evaluation of forecast quality is determined by 4 indicators: 1. The probability of detection of target events  $U$ , equal to the fraction of the number of intervals in which all epicentres of target earthquakes fall within the alarm zones, from the number of all intervals in which there are epicentres in the analysis zone. This indicator allows us to evaluate the quality of the training algorithm and the information used for prediction. 2. Probability  $P$  that at the next interval the forecast will be successful, equal to the fraction of the number of intervals at which all epicentres of the target earthquakes fall within the alarm zones, from the number of all intervals at which earthquakes are forecast. This indicator allows estimating the efficiency of practical use of the forecast results. 3. Alarm volume, equal to the proportion of the average area of the alarm zone to the area of the analysis zone. 4. The size of the prediction interval. Let us consider an example of two technologies of systematic earthquake forecasting. Let the forecast was given for 10 years, the forecast interval  $\Delta t=30$  days, the number of intervals with epicentres of target earthquakes in the analysis area  $M=10$ . In the first technique, the alarm zones are calculated at each interval. Let all epicentres of target earthquakes fall into the alarm zones at  $M^*=9$  intervals. Hence  $U=M^*/M=9/10=0.9$ . For 10 years alarm zones were predicted  $N=120$  times. Hence  $P=M^*/N=9/120=0.075$ . The second technique consists of two steps: (1) Prediction of alarm intervals at which the epicentres of target earthquakes are expected in the analysis area and (2) Prediction of alarm zones only at alarm intervals. Suppose in step (1), the algorithm selected  $N^*=25$  alarm intervals out of  $N=120$ . Suppose in step (2) all the earthquake epicentres hit the alarm zones at  $M^*=8$  intervals out of  $N^*=25$ . Hence we obtain  $U=M^*/M=8/10=0.8$ .  $P=M^*/N^*=8/25=0.32$ . It can be seen that the probability  $P$  in the second technology has increased compared to the first one by 4 times, which significantly improves the possibility of practical application of the results of systematic prediction. The report presents the results of modelling of the two considered technologies for the regions of Kamchatka, California and Japan.

---

## Технология систематического прогноза землетрясений

В. Г. Гитис, А. Б. Дерендяев

Институт проблем передачи информации РАН, Москва, Россия

Систематический прогноз землетрясений выполняется с постоянным интервалом по времени. Перед каждым прогнозом загружаются новые данные, обучается решающее правило прогноза и определяется зона тревоги, в которой ожидаются эпицентры землетрясений с целевыми магнитудами. Для обучения разработан метод минимальной области тревоги. Оценку качества прогноза определяют 4 показателя: 1. Вероятность обнаружения целевых событий  $U$ , равная доле числа интервалов, на которых все эпицентры целевых землетрясений попадают в зоны тревоги, от числа всех интервалов, на которых имеются эпицентры в зоне анализа. Этот показатель позволяет оценить качество алгоритма обучения и информации, используемой для прогноза. 2. Вероятность  $P$  того, что на очередном интервале прогноз будет успешным, равная доле числа интервалов, на которых все эпицентры целевых землетрясений попадают в зоны тревоги, от числа всех интервалов, на которых прогнозируются землетрясения. Этот показатель позволяет оценить эффективность практического использования результатов прогноза. 3. Объем тревоги, равный доле средней площади зоны тревоги от площади зоны анализа. 4. Величина интервала прогноза. Рассмотрим пример двух технологий систематического прогноза землетрясений. Пусть прогноз давался 10 лет, интервал прогноза  $\Delta t=30$  дней, число интервалов с эпицентрами целевых землетрясений в зоне анализа  $M=10$ . В первой технологии зоны тревоги вычисляются на каждом интервале. Пусть все эпицентры целевых землетрясений попали в зоны тревоги на  $M^*=9$  интервалах. Отсюда  $U=M^*/M=9/10=0.9$ . За 10 лет зоны тревоги прогнозировались  $N=120$  раз. Отсюда  $P=M^*/N=9/120=0.075$ . Вторая технология состоит из двух этапов: (1) Прогноз интервалов тревоги, на которых эпицентры целевых землетрясений ожидаются в зоне анализа и (2) Прогноз зон тревоги только на интервалах тревоги. Пусть на этапе (1) алгоритм выбрал  $N^*=25$  интервалов тревоги из  $N=120$ . Пусть на этапе (2) все эпицентры землетрясений попали в зоны тревоги на  $M^*=8$  интервалах из  $N^*=25$ . Отсюда получаем  $U=M^*/M=8/10=0.8$ .  $P=M^*/N^*=8/25=0.32$ . Можно видеть, что вероятность  $P$  во второй технологии увеличилась по сравнению с первой в 4 раза, что существенно улучшает возможность практического применения результатов систематического прогноза. В докладе приводятся результаты моделирования двух рассмотренных технологий для регионов Камчатки, Калифорнии и Японии.

## **Boundaries of applicability of the Gutenberg-Richter law in seismic hazard assessment problems**

P. Shebalin, K. Krushelnitskiy, I. Vorobieva

Institute of earthquake prediction theory and mathematical geophysics RAS, Moscow, Russia

The Gutenberg-Richter law establishes a log-linear relationship between the number of earthquakes that have occurred in some spatial and temporal volume and their magnitude. This similarity property presumably reflects the fractal structure of the fault system in which earthquake sources are formed. The Gutenberg-Richter law plays a key role in seismic hazard and risk assessment. It allows us to estimate the average recurrence period of strong earthquakes from the recurrence rate of weaker earthquakes. Because the strongest earthquakes are rare, occurring at intervals of several hundred years or more, direct assessment of their recurrence is impossible. Based on indirect geological and palaeoseismic estimates, it often appears that strong earthquakes on individual faults occur more frequently than expected according to the Gutenberg-Richter law. Such estimates are the basis for the hypothesis of so-called characteristic earthquakes. This hypothesis is often further supported by the type of magnitude-frequency distributions for individual faults plotted against data from modern earthquake catalogues. However, an important factor influencing the type of magnitude-frequency distribution is the choice of the spatial domain in which the distribution is plotted. This paper investigates the influence of this factor and determines the conditions under which the Gutenberg-Richter law is applicable for estimating the recurrence of strong earthquakes. A variant of application of the law with observance of these conditions is proposed. This work was financially supported by the Russian Science Foundation (grant 20-17-00180-P).

---

## **Границы применимости закона Гутенберга-Рихтера в задачах оценки сейсмической опасности**

П. Н. Шебалин, К. В. Крушельницкий, И. А. Воробьева

Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, Москва, Россия

Закон Гутенберга-Рихтера устанавливает лог-линейное соотношение между количеством землетрясений, которые произошли в некотором пространственно-временном объеме, и их магнитудой. Это свойство подобия предположительно отражает фрактальную структуру системы разломов, в которой формируются очаги землетрясений. В задачах оценки сейсмической опасности и риска закон Гутенберга-Рихтера играет ключевую роль. Он позволяет оценивать средний период повторяемости сильных землетрясений по частоте повторения более слабых. Из-за того, что сильнейшие землетрясения происходят редко, с интервалом в несколько сот и более лет, прямая оценка их повторяемости невозможна. По косвенным геологическим и палеосейсмическим оценкам часто кажется, что сильные землетрясения на отдельных разломах происходят чаще, чем ожидается в соответствии с законом Гутенберга-Рихтера. Такие оценки лежат в основе гипотезы так называемых характеристических землетрясений. Часто эта гипотеза дополнительно подтверждается видом магнитудно-частотных распределений для отдельных разломов, построенных по данным современных каталогов землетрясений. Вместе с тем, важным фактором, влияющим на вид магнитудно-частотного распределения, является выбор пространственной области, в которой строится это распределение. В данной работе исследуется влияние этого фактора и определяются условия, при которых закон Гутенберга-Рихтера применим для оценки повторяемости сильных землетрясений. Предлагается вариант применения закона с соблюдением этих условий. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант 20-17-00180-П).

## **Analysis of fault tectonics of the Taimyr-North-Earth orogen and its role in ore formation based on the results of remote sensing regional studies**

V. Minaev, S. Ustinov, V. Petrov, A. Svecherevskiy, I. Nafigin

Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry (IGEM) RAS, Moscow, Russia

A comprehensive analysis of the fault tectonics of the Taimyr-North-Earth orogen has been carried out. The studies were carried out on a regional scale. Lineaments were identified manually and automatically on the basis of a digital elevation model. The results obtained in combination with literature data allowed us to carry out tectonophysical reconstructions using the model of P.L. Hancock (1985). On the basis of the model of secondary structures development in the chipping zone and the established discontinuities, the parameters (orientation of the main axes) of the regional stress-strain field and the kinematics of the main types of discontinuities for the studied area were reconstructed. The results of the palaeoreconstructions correspond to specific settings identified earlier by other researchers (Proskurin, 2013; Afanasenkov et al., 2016; Vernikovskiy et al., 2022) based on the application of a different scientific and methodological approach. On the basis of reconstructions, the proposed areas of tectonic structures with the highest hydraulic activity during the Late Paleozoic-Early Mesozoic tectonic-mineralogenic cycle, with which ore occurrences of scarce types of strategic mineral resources of the Taymir (gold, rare metals, copper, lead, zinc, etc.) are associated, were identified. Areas promising for the discovery of new ore objects have been identified. From the point of view of predicting the location of minerals, further detailed work should be focused on the study of zones of influence of hydraulically active faults of northeastern strike. These supra-regional and regional structures could act as fluid-supplying structures in the process of hydrothermal ore formation. The research was carried out in the youth laboratory of IGEM RAS 'Laboratory of prognostic-metallogenic studies' within the framework of the state task 'Application of modern methods of assessment, search and forecasting of solid mineral deposits, including strategic ones, in the Arctic zone of the Russian Federation for the purpose of expanding the mineral resource base and planning the development of transport and communication networks'.

---

## **Анализ разломной тектоники Таймыро-Североземельского орогена и её роли в рудообразовании на основе результатов дистанционных региональных исследований**

В. А. Минаев, С. А. Устинов, В. А. Петров, А. Д. Свечеревский, И. О. Нафигин

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ) РАН, Москва, Россия

Проведён комплексный анализ разломной тектоники Таймыро-Североземельского орогена. Исследования выполнены в региональном масштабе. На основе цифровой модели рельефа выделены линеаменты ручным и автоматическим способами. Полученные результаты в комплексе с литературными данными позволили провести тектонофизические реконструкции с использованием модели П.Л. Хэнкока (1985). На основе модели развития вторичных структур в зоне скола и установленных разрывных нарушений реконструированы параметры (ориентировки главных осей) регионального поля напряжений-деформаций, а также кинематика основных типов разрывов для исследуемой территории. Результаты палеореконструкций отвечают конкретным обстановкам, выявленным ранее другими исследователями (Проскурин, 2013; Афанасенков и др., 2016; Верниковский и др., 2022) на основе применения иного научно-методического подхода. На основе реконструкций определены предполагаемые участки тектонических структур, обладавшие наибольшей гидравлической активностью в ходе позднепалеозойско-раннемезозойского тектоно-минерагенического цикла, с которым связаны рудопроявления дефицитных видов стратегического минерального сырья Таймыра (золото, редкие металлы, медь, свинец, цинк и др.). Выделены участки, перспективные на обнаружение новых рудных объектов. С точки зрения прогноза размещения полезных ископаемых, дальнейшие детализирующие работы необходимо сосредоточить на изучении зон влияния гидравлически активных разломов северо-восточного простирания. Данные надрегиональные и региональные структуры могли выступать в качестве флюидоподводящих в процессе гидротермального рудообразования. Исследование выполнено в молодёжной лаборатории ИГЕМ РАН «Лаборатория прогнозно-металлогенических исследований» в рамках темы государственного задания «Применение современных методов оценки, поиска и прогноза месторождений твердых полезных ископаемых, в том числе стратегических, в Арктической зоне Российской Федерации с целью расширения минерально-сырьевой базы и планирования развития транспортно-коммуникационных сетей».

## Systems research for seismic risk management using Big Data

N. Frolova<sup>1</sup>, N. Malaeva<sup>1</sup>, S. Sushchev<sup>2</sup>, A. Ugarov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Sergeev Institute of Environmental Geoscience RAS, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

According to statistics from the EMDAT International Centre for Disaster Epidemiology, the number of deaths from earthquakes in 2023 was more than 60,000, double the average estimate for the period from 2003 to 2022. The tragic consequences of the 2023 earthquakes show that strong and catastrophic earthquakes remain unpredictable and seismic risk is still quite high. The CODATA statement of 01 March 2023 on the tragedy in Turkey and Syria caused by the 6 February earthquakes notes the importance of scientific efforts in providing operational information for management decision makers. Such information can be provided by appropriate systems for rapid impact assessment, which have been successfully developed over the last 20 years and are actively using Big Data to calibrate their models and train AI systems. At least three global systems are currently known to provide rapid information on the possible consequences of severe events. The Extremum GIS is one of these systems. The report presents a Seismic Life Safety System, developed using mathematical models and the Extremum GIS database, which can be used operationally for management decision-making and as a forecasting tool in case a strong earthquake is expected. The report presents the results of seismic risk assessment and mapping for the Krasnodar region and the results of modelling the consequences of scenario events for the most hazardous WHO zones for the city of Krasnodar. Modelling the consequences of earthquakes using the developed System involves the identification of key elements of the System, analysis of their structure and functioning, as well as the relationship between them. Calibration of the seismic intensity attenuation model for the Krasnodar region using macroseismic data of strong and appreciable earthquakes for the period from 1799 to 1966 has been performed. The calibration of the vulnerability function of typical buildings of Krasnodar city was performed. Krasnodar. Based on the use of artificial intelligence methods, a neural network has been prepared for application, which provides an assessment of the vulnerability class of buildings based on photos of facades and records in the GIS 'Extremum' database on earthquake consequences, including materials from remote sensing, 'Housing and Utilities GIS-Reforma' and the 'Panoramas' service of the Yandex company. The obtained results are included in the AIMS RS emergency management system for management decision making.

---

## Системные исследования для управления сейсмическим риском с использованием Больших данных

Н. И. Фролова<sup>1</sup>, Н. С. Малаева<sup>1</sup>, С. П. Сущев<sup>2</sup>, А. Н. Угаров<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт геоэкологии им. Е. М. Сергеева РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup> Московский государственный технический университет им. Баумана, Москва, Россия

Согласно статистике Международного центра эпидемиологии катастроф (EMDAT) количество погибших от землетрясений в 2023 составило более 60 тыс. человек, что вдвое превышает средние оценки за период с 2003 по 2022 год. Трагические последствия землетрясений 2023 года показывают, что сильные и катастрофические землетрясения остаются не предсказуемыми, а сейсмический риск все еще остается довольно высоким. В заявлении КОДАТА от 01 марта 2023 г. по поводу трагедии в Турции и Сирии, вызванной землетрясениями 6 февраля, отмечается важность научных усилий в предоставлении оперативной информации для лиц, принимающих управленческие решения. Такая информация может быть предоставлена соответствующими системами для оперативной оценки последствий, которые успешно развиваются последние 20 лет и активно используют большие данные (Big Data) для калибровки своих моделей и обучения систем AI. В настоящее время известны, по крайней мере, три глобальные системы, которые оперативно предоставляют информацию о возможных последствиях сильных событий. ГИС «Экстремум» является одной из таких систем. В докладе приводится Система сейсмической безопасности жизнедеятельности, разработанная с использованием математических моделей и базы данных ГИС «Экстремум», которая может быть использована оперативно для принятия управленческих решений и как средство прогноза в случае ожидания сильного землетрясения. В докладе приводятся результаты оценки и картирования сейсмического риска для Краснодарского края и результаты моделирования последствий сценарных событий для наиболее опасных зон ВОЗ для города Краснодара. Моделирование последствий землетрясений с помощью разработанной Системы предполагает выделение ключевых элементов Системы, анализа их структуры и функционирования, а также взаимосвязи между ними. Выполнена калибровка модели затухания сейсмической интенсивности для Краснодарского края с использованием данных макросейсмических наблюдений сильных и ощутимых землетрясений за период с 1799 по 1966 гг. Выполнена калибровка функции уязвимости типовой застройки г. Краснодара. На основе использования методов искусственного интеллекта подготовлена к применению нейросеть, обеспечивающая оценку класса уязвимости застройки по фотографиям фасадов и записям в базе данных ГИС «Экстремум» о последствиях землетрясений, включая материалы ДЗЗ, «ЖКХ ГИС-Реформа» и сервиса «Панорамы» компании Яндекс. Полученные результаты включены в АИУС РС ЧС для принятия управленческих решений.

## **On methods of building a digital regional geological and mathematical model for the territory of Western Siberia**

A. Sidorov, A. Kopytov

V. I. Shpilman Research and Analytical Centre for the Rational Use of the Subsoil, Tyumen, Russia

The development of computer technology, specialised software and mathematical methods for solving geological problems, together with the continuous accumulation of geological and geophysical information have brought to a qualitatively new level the possibilities associated with regional geological and mathematical modelling. The experience of application of mathematical methods and development of specialised software for creation of regional digital geological models is offered for consideration. The mathematical core of the approach is the variation-mesh mapping method based on spline approximation. It provides a wide range of possibilities for complexing the initial geological and geophysical information. In addition to point values of the desired function, various transforms of the fields of mapped quantities can be used as input data. A priori information about the distribution of the mapped parameter is introduced into the problem in the form of partial differential equations, which allows to model the fields of physical properties, different variants of conformality of geological surfaces, spatial anisotropy. The properties of B-splines make it possible to create models with meshes of variable detail, which is of particular importance for large territories with a significantly heterogeneous distribution of initial information. Object-hierarchical approach to data space organisation provides algorithmic and automated modelling process. This approach, which is a kind of workflow-methods, gives an opportunity to quickly build a decision tree, modify it, and through copying individual elements or entire branches to construct new solutions. The methods under consideration are implemented in the specialised software GST. Specialists of the Scientific and Analytical Centre for Rational Subsoil Use named after V.I. Shpilman. V.I. Shpilman Scientific and Analytical Centre for Rational Subsoil Use applied them in the creation of a permanent geological and mathematical model of the sedimentary cover 'Digital Structural Framework' for the territory of Western Siberia, as well as in the performance of a number of federal orders for regional studies within the West Siberian oil and gas province.

---

### **О методах построения цифровой региональной геолого-математической модели по территории Западной Сибири**

А. А. Сидоров, А. Г. Копытов

Научно-аналитический центр рационального недропользования им. В. И. Шпилмана, Тюмень, Россия

Развитие вычислительной техники, специализированного программного обеспечения и математических методов решения геологических задач, вместе с непрерывным накоплением геолого-геофизической информации вывели на качественно новый уровень возможности, связанные с региональным геолого-математическим моделированием. К рассмотрению предлагается опыт применения математических методов и разработки специализированного программного обеспечения для создания региональных цифровых геологических моделей. Математическим ядром подхода является вариационно-сеточный метод картирования, основанный на сплайн-аппроксимации. Он дает широкие возможности комплексирования исходной геолого-геофизической информации. Помимо точечных значений искомой функции в качестве исходных данных могут использоваться различные трансформанты полей картируемых величин. Априорная информация о распределении картируемого параметра вводится в задачу в виде дифференциальных уравнений в частных производных, что позволяет моделировать поля физических свойств, различные варианты конформности геологических поверхностей, пространственную анизотропию. Свойства B-сплайнов дают возможность создания моделей с сетками переменной детальности, что имеет особое значение для больших территорий с существенно неоднородным распределением исходной информации. Объектно-иерархический подход к организации пространства данных обеспечивает алгоритмизацию и автоматизацию процесса моделирования. Данный подход, являющийся разновидностью workflow-методов, дает возможность быстро построить дерево решений, модифицировать его, а также через копирование отдельных элементов или целых веток конструировать новые решения. Рассматриваемые методы реализованы в специализированном ПО GST. Специалистами Научно-аналитического центра рационального недропользования им. В.И. Шпилмана они применялись при создании постоянно действующей геолого-математической модели осадочного чехла «Цифровой структурный каркас» по территории Западной Сибири, а также при выполнении ряда федеральных заказов по проведению региональных исследований в пределах Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции.

## **Use of Earth remote sensing data and ground-based snow cover studies in monitoring coal mines**

O. Rakova<sup>1</sup>, T. Krupnova<sup>1</sup>, G. Struchkova<sup>2</sup>, T. Kapitonova<sup>2</sup>, S. Tikhonova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

<sup>2</sup> V. P. Laronov Institute of Physical and Technical Problems of the North SB RAS, Yakutsk, Russia

Snow cover is an effective accumulator of pollutants, including the most dangerous for public health PM<sub>2.5</sub>, which have in their composition potentially toxic elements (PTE) – heavy metals and metalloids. Studies show that concentrations of PTE-containing PM<sub>2.5</sub> in snow can be orders of magnitude higher than in atmospheric air. From the chemical composition of snow it is possible to establish the area distribution and quantitative characteristics of substances deposited in winter from the atmosphere and, due to this, to identify sources of pollution and areas of their influence. Snow covers were studied in the area of two coal mines: Neryungri (Sakha Republic, Yakutia) and Korkinskiy (Chelyabinsk Region). At the same time, coal mining is increasing in the Neryungri area, while mining at the Korkinsky mine, which is the deepest mine in Eurasia, ceased in 2017 and reclamation of the area began in 2020. February images of Landsat 5, 7 and 8 satellites for 2005-2020 were used in the work. Interpretation was carried out using ENVI 5.0 software package. The results of the studies show that the use of spectral characteristics allows estimating the territory pollution in the area of coal mine influence using multi-temporal satellite images. However, without ground-based data on PTE content in snow dust and melt water, the picture of pollution is very incomplete. Ground-based studies of snow cover are important for identification of pollution sources. The study was carried out under the grant of the Russian Science Foundation No. 22- 17-20006 and with the financial support of the Government of the Chelyabinsk Region.

---

## **Использование данных дистанционного зондирования Земли и наземных исследований состояния снежного покрова при мониторинге угольных разрезов**

О. В. Ракова<sup>1</sup>, Т. Г. Крупнова<sup>1</sup>, Г. П. Стручкова<sup>2</sup>, Т. А. Капитонова<sup>2</sup>, С. А. Тихонова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

<sup>2</sup> Институт физико-технических проблем Севера им. В. П. Ларионова СО РАН, Якутск, Россия

Снежный покров является эффективным накопителем загрязнителей, в том числе наиболее опасных для здоровья населения PM<sub>2,5</sub>, имеющих в своем составе потенциально токсичные элементы (ПТЭ) – тяжелые металлы и металлоиды. Исследования показывают, что концентрации ПТЭ-содержащих PM<sub>2,5</sub> в снеге могут быть на порядки выше, чем в атмосферном воздухе. По химическому составу снега можно установить площадное распределение и количественные характеристики веществ, осаждающихся зимой из атмосферы и, благодаря этому, выявить источники загрязнения и ареалы их влияния. Были исследованы снежные покровы в районе расположения двух угольных разрезов: Нерюнгринского (Республика Саха, Якутия) и Коркинского (Челябинская область). При этом в районе Нерюнгри угледобыча наращивается, а добыча на Коркинском разрезе, представляющем собой самую глубокую шахту в Евразии, прекращена в 2017 году и в 2020 начата рекультивация территории. В работе использовались февральские снимки спутников Landsat 5, 7 и 8 за 2005-2020 гг. Дешифрирование проводилось с помощью программного комплекса ENVI 5.0. Результаты проведенных исследований показывают, что использование спектральных характеристик, позволяет проводить оценку загрязнения территории в зоне влияния угольного разреза по разновременным спутниковым изображениям. Однако, без наземных данных о содержании ПТЭ в снеговой пыли и талых водах картина загрязнения является весьма неполной. Наземные исследования снежного покрова имеют важное значение для идентификации источников загрязнения. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22- 17-20006 и при финансовой поддержке Правительства Челябинской области.

## **Use of remotely sensed and ground-based data for monitoring the state of urban ecological landscapes**

T. Krupnova, O. Rakova  
South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

Russian industrial cities are unique urban ecosystems. The colossal concentration of industrial enterprises in a small area and lack of planning often make them centres of environmental problems. Traditional monitoring methods are point measurements with little spatial representativeness. They are not well suited for established post-industrial agglomerations and cannot be used to identify sources of pollution and propose environmental protection solutions. This paper proposes an integrated approach to monitoring urban ecolandscapes, consisting of a combination of remote sensing and physico-chemical analysis of ground samples of the urban environment. Two case studies are considered in the paper. The first case study is devoted to the possibility of using NDVI for monitoring the atmospheric air pollution of PM<sub>2.5</sub>. Lead-containing PM<sub>2.5</sub> were used as markers, simultaneously the lead content in leaf and needle samples of trees was determined. It was shown that there is no statistically significant correlation between NDVI and air pollution, whereas tree leaves are good biomonitors. The second case study focuses on the possibility of using heat maps to analyse the impact of meteorological conditions on urban air pollution. In general, the report proposes to combine regional and global monitoring within the smart city approach. Monitoring at the regional level allows identifying sources of pollution such as energy, industry and transport. The regional level implements a bottom-up approach. The global level combines ground-based measurements and remote sensing. It allows building a pollution model based on global observations. Global monitoring implements a top-down approach. The combination of the two approaches allows to develop the best strategy for urban environment protection. The research was carried out under the grant of the Russian Science Foundation No. 22-17-20006 and with the financial support of the Government of the Chelyabinsk Region.

---

## **Использование данных дистанционного зондирования Земли и наземных исследований для мониторинга состояния урбоэколандшафтов**

Т. Г. Крупнова, О. В. Ракова  
Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

Российские промышленные города – это уникальные урбоэкосистемы. Колоссальное сосредоточение промышленных предприятий на небольшой территории и отсутствие планирования часто делают их центрами экологических проблем. Традиционные методы мониторинга представляют собой точечные измерения, обладающие малой пространственной репрезентативностью. Они мало подходят для сложившихся постиндустриальных агломераций, на их основе невозможно выявить источники загрязнений и предложить экозащитные решения. В настоящей работе предлагается комплексный подход к мониторингу урбоэколандшафтов, состоящий в комбинации дистанционного зондирования Земли и физико-химического анализа наземных проб объектов окружающей городской среды. В докладе рассмотрены два кейса. Первый кейс посвящен возможности использования NDVI для мониторинга загрязнения атмосферного воздуха PM<sub>2,5</sub>. В качестве маркеров были использованы свинецсодержащие PM<sub>2,5</sub>, одновременно было определено содержание свинца в пробах листьев и игл деревьев. Было показано, что статистически достоверная корреляция между NDVI и загрязнением воздуха отсутствует, тогда как листья деревьев являются хорошими биомониторами. Второй кейс посвящен возможности использования теплокарт для анализа влияния метеоусловий на загрязнение городского воздуха. В целом, в докладе предлагается объединение регионального и глобального мониторинга в рамках подхода “smart city”. Мониторинг на региональном уровне позволяет идентифицировать источники загрязнения, такие как энергетика, промышленность и транспорт. Региональный уровень реализует подход “снизу вверх”. Глобальный уровень объединяет наземные измерения и дистанционное зондирование. Он позволяет построить модель загрязнения на основе глобальных наблюдений. Глобальный мониторинг реализует подход “сверху вниз”. Сочетание двух подходов позволяет разработать наилучшую стратегию защиты городской среды. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-17-20006 и при финансовой поддержке Правительства Челябинской области.

## Formalised identification of earthquake preparation signs in the Baikal rift zone

E. Levina

Institute of the Earth Crust SB RAS, Irkutsk, Russia

The earthquakes with  $M > 7$  that occurred in Turkey in February 2023 have once again shown the relevance of the topic of earthquake forecasting. As it is known, in order to predict the behaviour of any system, it is necessary to make its model. Any forecast must contain three parameters – an indication of the location, energy and time of the expected earthquake. In the earthquake preparation model under consideration, the following were used as prediction attributes: 1 – the presence of a seismic gap, 2 – the presence of pre-shock activation and seismic quiescence, 3 – the presence of a seismically active fault. Gaps are understood as local minima of seismic energy distribution, calculated over a certain time interval using a spatial window, in the presence of a nearby fragment of a seismically active fault. It is assumed that a strong earthquake is preceded by a stage of pre-shock activation and seismic quiescence, by the maximum energy and duration of which one can judge the energy of the expected earthquake and the time of its realisation. Calculations made for all 16 events with  $K \geq 15$  that occurred in the Baikal Rift Zone (BRZ) from 1963 to 2022 showed that the presence of an active fault and a long-lasting gap can serve as a basis for identifying the locations of expected earthquakes. In this case, the ratio of the energy of the occurred earthquake to the energy of the maximum pre-shock earthquake is on average 2.3 (0.7), and the average duration of quiescence is 5.7 (3.4) years, where the mean square deviations are given in brackets. The large variation in quiescence duration requires additional information to refine the ‘time’ parameter. For example, taking into account periodicities in the seismic regime, which may be related to the influence of extraterrestrial factors capable of modulating the dissipation of seismic energy. Using the method of superposition of epochs for the BRZ, we consider the distribution of seismic activity by phases of the 11-year solar cycle (the maximum occurs in the seventh year) and the annual cycle of the Earth's orbit around the Sun (two maximums – in January and in July). This makes it possible to identify periods when the probability of a strong earthquake increases. Determining the locations and energies of possible earthquakes makes it possible to plot their isoseist (lines of equal shaking), which can be used to assess the possible effects of seismic shaking that will be felt within populated areas and important communications as a result of a predicted earthquake.

---

## Формализованное выделение признаков подготовки землетрясений в Байкальской рифтовой зоне

Е. А. Левина

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

Произошедшие в феврале 2023 года в Турции землетрясения с  $M > 7$  в очередной раз показали актуальность темы прогноза землетрясений. Как известно, для прогноза поведения любой системы необходимо составить ее модель. Любой прогноз должен содержать три параметра – указание на место, энергию и время ожидаемого землетрясения. В рассматриваемой модели подготовки землетрясений в качестве прогнозных признаков использовались: 1 – наличие сейсмической брешы, 2 – наличие предшоковой активизации и сейсмического затишья, 3 – наличие сейсмоактивного разлома. Под брешами понимаются локальные минимумы распределения сейсмической энергии, подсчитанного за определенный промежуток времени с помощью пространственного окна, при наличии рядом фрагмента сейсмоактивного разлома. Предполагается, что сильному землетрясению предшествует стадия предшоковой активизации и сейсмическое затишье, по максимальной энергии и длительности которых можно судить об энергии ожидаемого землетрясения и времени его реализации. Расчеты, сделанные для всех 16 событий с  $K \geq 15$ , произошедших в Байкальской рифтовой зоне (БРЗ) с 1963 по 2022 годы, показали, что наличие активного разлома и длительно существующей брешы может служить основанием для выявления мест ожидаемых землетрясений. При этом соотношение энергии произошедшего землетрясения и энергии максимального землетрясения предшоковой стадии составляет в среднем 2.3 (0.7), а средняя длительность затишья равна 5.7 (3.4) лет, где в скобках указаны средние квадратичные отклонения. Большой разброс длительности затишья требует привлечения дополнительной информации для уточнения параметра «время». Например, учет периодичностей в сейсмическом режиме, которые, возможно, связаны с влиянием внеземных факторов, способных модулировать диссипацию сейсмической энергии. Методом наложения эпох для БРЗ рассматриваются распределения сейсмической активности по фазам 11-летнего солнечного цикла (максимум приходится на седьмой год) и годового цикла обращения Земли вокруг Солнца (выделяются два максимума – в январе и в июле). Это дает возможность выделить периоды, когда вероятность возникновения сильного землетрясения возрастает. Определение мест и энергии возможных землетрясений делает возможным построение их изосейст (линий равных сотрясений), что может быть использовано для оценки возможных последствий сейсмических колебаний, которые будут ощущаться в пределах населенных пунктов и важных коммуникаций в результате прогнозируемого землетрясения.

## **Application of artificial neural networks for prolongation and recovery of vector anomalous geomagnetic field**

R. Rytov

Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radiowave Propagation RAS, Moscow, Russia

Geological structures and many minerals are often magnetised and produce stationary anomalous magnetic fields. Such fields are measured above the earth's surface using magnetometers and can be used for a variety of geophysical applications, including mineral prospecting, general navigation and directional drilling control. However, such tasks require component measurements, but due to the difficulty of making such measurements, especially from moving objects, almost all magnetic surveys are modular, and the problem arises of calculating the components of the magnetic field from the spatial distribution of its modulus. To obtain a map of the vector anomalous magnetic field, the vector field is calculated from the known modular data and extended down to the ground surface and deeper. In this paper, the downward extension and reconstruction of the vector anomalous magnetic field are solved using artificial neural networks. To train the neural networks, a database of magnetic fields was created using a set of point dipoles. The performance of the trained neural network was shown on artificial examples in comparison with known numerical algorithms. Further, the value of the vertical component of the anomalous geomagnetic field is reconstructed from the data of the total magnetic field, which on the territory of Russia is mainly determined by its vertical component, and the horizontal components of the geomagnetic field are reconstructed using artificial neural networks. An example of such reconstruction for a separate region on the territory of the Yamal Peninsula with a grid spacing of 2 angular minutes, i.e. with a spatial resolution of less than 4 km, is given.

---

## **Применение искусственных нейронных сетей для продления и восстановления векторного аномального геомагнитного поля**

Р. А. Рытов

Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН, Москва, Россия

Геологические структуры и многие полезные ископаемые часто обладают намагниченностью и создают стационарные аномальные магнитные поля. Такие поля измеряются над поверхностью земли с помощью магнитометров и могут использоваться для различных задач геофизики, в том числе поиска полезных ископаемых, общей навигации и контроля направленного бурения. Однако для таких задач необходимы компонентные измерения, но в связи со сложностью проведения таких измерений, особенно с подвижных объектов, практически все магнитные съемки являются модульными, и возникает задача вычисления компонент магнитного поля из пространственного распределения его модуля. Чтобы получить карту векторного аномального магнитного поля, по известным модульным данным рассчитывают векторное поле и продлевают его вниз до поверхности земли и глубже. В данной работе с помощью искусственных нейронных сетей решаются задачи о продлении вниз и восстановлении векторного аномального магнитного поля. Для обучения нейронных сетей была создана база данных магнитных полей с помощью набора точечных диполей. На искусственных примерах была показана работа обученной нейронной сети в сравнении с известными численными алгоритмами. Далее, по данным полного магнитного поля, которое на территории России в основном определяется его вертикальной компонентой, восстанавливается значение вертикальной компоненты аномального геомагнитного поля, и с помощью искусственных нейронных сетей восстанавливаются горизонтальные компоненты геомагнитного поля. Приведен пример такого восстановления для отдельного региона на территории полуострова Ямал с шагом сетки 2 угловых минуты, т.е. с пространственным разрешением менее 4 км.

## **Abyssal flows of Antarctic Bottom Water in deep channels of the Atlantic**

E. Morozov

Shirshov Institute of Oceanology, RAS, Moscow, Russia

This is a review presentation based on the author's field research measurements in the abyssal channels of the Atlantic. Antarctic Bottom Water (AABW) that propagates in the Atlantic from the Weddell Sea to the north reaches the latitudes of Europe. AABW is formed in the Weddell Sea when cold and dense Antarctic Slope Water and Antarctic Shelf Water descend along the continental slope and mix with Circumpolar Water. This flow in the Atlantic is forced by the depth difference of the upper boundary of AABW. The thickness of this bottom water layer decreases during propagation. At the same time potential temperature of AABW increases due to mixing with the overlying water. Bottom barriers along the pathway of AABW spreading prevent further propagation of the densest coldest water. From the Weddell Sea Antarctic Bottom Water spreads through the passages in the South Scotia Ridge to the Scotia Sea. The main pathway is through the Orkney Passage. From the Scotia Sea AABW flows to the Argentine Basin. Then the main conduit for the northward propagation is the Vema Channel. After slow motion in the Brazil basin the flow splits into two flows. One is directed to the East Atlantic through the equatorial Romanche and Chain fracture zones. The other current flows to the northwest through the Equatorial Channel and then it again divides into two. One flow goes through the fractures in the Mid-Atlantic Ridge and fills the deep basins of the Northeast Atlantic. The main pathway through the Mid-Atlantic Ridge is the Vema Fracture Zone. This flow through the Mid-Atlantic Ridge fills the deep basins of the Northeast Atlantic. The other current turns to the northwest and flows through the Vidal Channel to the North American Basin and Puerto-Rico Trench. Two flows through the Mid-Atlantic Ridge (through the Vema Fracture Zone and Romanche Fracture Zone) reach the Kane Gap in the East Atlantic. Here, the current alternatively flows either to the north or to the south with a period of half year. This research was supported by the Russian Science Foundation, grant no. 21-77-20004.

---

## **Абиссальные потоки антарктических придонных вод в глубоких каналах Атлантики**

Е. Г. Морозов

Институт океанологии им П. П. Шишова РАН, Москва, Россия

Это обзорная презентация, основанная на результатах полевых исследований автора в абиссальных каналах Атлантики. Антарктические придонные воды (АПДВ), распространяющиеся в Атлантике от моря Уэдделла на север, достигают широты Европы. ААБВ формируется в море Уэдделла, когда холодные и плотные воды антарктического склона и антарктического шельфа опускаются вдоль континентального склона и смешиваются с циркумполярными водами. Течение в Атлантике формируется под действием разности глубин на верхней границе ААБВ. Толщина этого придонного слоя воды уменьшается в процессе распространения. В то же время потенциальная температура ААБВ увеличивается из-за смешивания с вышележащими водами. Донные барьеры на пути распространения ААБВ препятствуют дальнейшему распространению наиболее плотных холодных вод. Из моря Уэдделла антарктические придонные воды распространяются через проходы в хребте Южная Скотия в море Скотия. Основной путь лежит через Оркнейский проход. Из моря Шотландии ААБВ течет в Аргентинскую котловину. Затем основным каналом для распространения на север становится канал Вема. После медленного движения в Бразильском бассейне поток разделяется на два течения. Один направлен в Восточную Атлантику через экваториальные зоны разломов Романш и Чайн. Другое течение течет на северо-запад через Экваториальный канал, а затем снова разделяется на два. Один поток проходит через разломы Срединно-Атлантического хребта и заполняет глубокие бассейны Северо-Восточной Атлантики. Основной путь через Срединно-Атлантический хребет проходит через зону разломов Вема. Это течение через Срединно-Атлантический хребет заполняет глубокие бассейны Северо-Восточной Атлантики. Другое течение поворачивает на северо-запад и течет через канал Видаля в Североамериканскую котловину и впадину Пуэрто-Рико. Два течения через Срединно-Атлантический хребет (через разломную зону Вема и разломную зону Романш) достигают разрыва Кейн в Восточной Атлантике. Здесь течение попеременно течет либо на север, либо на юг с периодом в полгода. Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда, грант № 21-77-20004.

## **Multiparametric inverse problems of multiwave seismic acquisition**

V. Cheverda

Sobolev Institute of Mathematics SB RAS, Novosibirsk, Russia

Seismic monitoring of a hydrocarbon field during operation opens up the possibility of controlling the variability of its mechanical characteristics. The current level of development of seismic survey technologies makes it possible to ensure the required accuracy of repeatability of experiments and registration of multicomponent data for both surface and borehole observation systems. Borehole observation systems have a number of advantages over ground-based systems, such as the possibility of rigid fixation of the position of sources and receivers and a significantly lower noise level. In addition, the possibility of placing both sources and receivers at the level of the target horizon (pay zone) reduces the influence of inhomogeneities in the near-surface part of the section and reduces the wave path. The disadvantage of this observation system is the small number of sources and receivers placed in wells. It is of paramount importance to evaluate the resolution of such observing systems and the expected quality of the results obtained within reasonable limits on the level of interference. In this study, we consider the method of full wavefield reversal for solving the multi-parameter inverse problem for a viscoelastic inhomogeneous medium and analyse its resolution. To describe the process of seismic wave formation and propagation, we use the elastic wave equations in the framework of the generalised standard linear solid (GSLs) model. This formulation leads to the inverse problem for the P- and S-wave propagation velocity and corresponding goodness-of-fit. We recover the parameters of the viscoelastic medium by reversing the full wavefield on a multiple-overlap system, relying on the singular expansion truncation method we have previously developed. Acknowledgements. The research was supported by the Russian Science Foundation project 22-11-00104.

---

## **Многопараметрические обратные задачи многоволновой сейсморазведки**

В. А. Чеверда

Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия

Сейсмический мониторинг месторождения углеводородов в процессе эксплуатации открывает возможность контроля за изменчивостью его механических характеристик. Современный уровень развития технологий сейсмических исследований вполне позволяет обеспечить необходимую точность повторяемости экспериментов и регистрации многокомпонентных данных, как для наземных, так и для скважинных систем наблюдения. Скважинные системы наблюдения имеют ряд преимуществ по сравнению с наземными, например, возможность жесткой фиксации положения источников и приемников и существенно меньший уровень шума. Кроме того, возможность размещения как источников, так и приемников на уровне целевого горизонта (продуктивного пласта) снижает влияние неоднородностей в приповерхностной части разреза и уменьшает путь волны. Недостатком такой системы наблюдения является небольшое количество источников и приемников, размещаемых в скважинах. Первостепенное значение при этом приобретает оценка разрешающей способности таких систем наблюдения и ожидаемого качества получаемых результатов при разумных ограничениях уровня помех. В этом исследовании мы рассматриваем метод полного обращения волнового поля для решения многопараметрической обратной задачи применительно к вязкоупругой неоднородной среде и анализируем его разрешающую способность. Для описания процесса формирования и распространения сейсмических волн мы используем уравнения упругих волн в рамках обобщенной модели стандартного линейного твердого тела (GSLs). Такая постановка приводит к обратной задаче для скорости распространения P- и S-волн и соответствующих добротностей. Мы восстанавливаем параметры вязкоупругой среды путем обращения полного волнового поля на системе многократного перекрытия, опираясь на разработанный нами ранее метод усечения сингулярного разложения. Благодарности. Исследование поддержано проектом Российского научного фонда 22-11-00104.

## **Near-Earth electromagnetic response to thunderstorms and industrial activity**

V. Pilipenko

Geophysical Center RAS, Moscow, Russia

The plasma environment of the Earth plays the role of a peculiar ‘tuning chamber’ reacting to natural and anthropogenic perturbations. The electromagnetic interaction between the atmosphere and the upper ionosphere is particularly effective in the frequency range of the ionospheric Alvenov resonator (IAR) under the influence of both ‘from below’ and ‘from above’. The response of the IAR to various magnetospheric and atmospheric influences is considered using data from low-orbit satellites. The analysis of electromagnetic VLF noise and variations of plasma parameters above typhoons revealed the appearance of ‘geomagnetic ripples’. A number of new numerical models of interaction between the atmosphere and ionosphere were developed to interpret the experimental results. The propagation of VLF pulses from the atmospheric lightning discharge into the upper ionosphere of the Earth was calculated. Seepage into the upper ionosphere of industrial 50/60 Hz radiations is modelled. The basic processes of pulsed electromagnetic interaction between geophysical envelopes, the impact of atmospheric processes on near-Earth space, and anthropogenic electromagnetic ‘pollution’ of near-Earth space become clearer. The work was supported by RNF grant 22-17-00125.

---

## **Электромагнитный отклик околоземного пространства на грозы и промышленную активность**

В. А. Пилипенко

Геофизический центр РАН, Москва, Россия

Плазменное окружение Земли играет роль своеобразного “камертона”, реагирующего на природные и техногенные возмущения. Особенно эффективно электромагнитное взаимодействие между атмосферой и верхней ионосферой проявляется в частотном диапазоне ионосферного альвеновского резонатора (ИАР) при воздействии как “снизу”, так и “сверху”. По данным низкоорбитальных спутников рассмотрен отклик ИАР на различные магнитосферные и атмосферные воздействия. Анализ электромагнитных УНЧ шумов и вариаций параметров плазмы над тайфунами выявил появление «геомагнитной ряби». Для интерпретации экспериментальных результатов разработан ряд новых численных моделей взаимодействия атмосферы и ионосферы. Рассчитано распространение УНЧ импульсов от атмосферного грозового разряда в верхнюю ионосферу Земли. Смоделировано просачивание в верхнюю ионосферу промышленных 50/60 Гц излучений. Основные процессы импульсного электромагнитного взаимодействия между геофизическими оболочками, воздействие атмосферных процессов на околоземное пространство, и антропогенное электромагнитное «загрязнение» околоземного пространства становятся более понятными. Работа поддержана грантом РФ 22-17-00125.

## **Reproduction of the North Atlantic circulation in order to search for the crash site of the AZZO liner (flight AB 447 Rio de Janeiro – Paris, 01.06.2009) by calculating the reverse trajectories of the detected bodies**

N. Dianskiy<sup>1,2,3</sup>, A. Gusev<sup>2,3,4</sup>

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Zubov State Oceanographic Institute, Moscow, Russia

<sup>3</sup> Marchuk Institute of Numerical Mathematics RAS, Moscow, Russia

<sup>4</sup> Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow, Russia

For the purposes of the study, a version of the INMOM (Institute of Numerical Mathematics Ocean Model) sigma model implemented for the North Atlantic (NA) from 10°S to 78°N with a high spatial resolution of 0.16°x0.08° in longitude and latitude was used to reproduce the eddy dynamics of the ocean. We set 31 sigma levels in depth, allowing us to describe the upper layer with a resolution of 1.75 m at 3.5 km depth. At the liquid lateral boundaries, monthly mean observed temperature and salinity data were set to calculate here the geostrophic velocities of inflow and outflow. Atmospheric forcing was taken from 6-hourly CORE (Common Ocean-ice Reference Experiments) data specifically designed for off-line ocean model calculations. It is shown that INMOM reproduces well the eddy structure of the SA circulation, including the meandering of the Gulf Stream and its ring formations, as well as the complex system of equatorial currents and countercurrents. The results of INMOM's reproduction of the surface circulation of the SA were used to determine the crash site of the A330 Air France Flight 447 Rio de Janeiro-Paris 01.06.2009, by back-calculating the trajectories found in the crash area near the last known position of the A330 (LKP) (2°58.8'N, 30°35.4'W). A preliminary verification of the reproduction of the complex structure in equatorial circulation was carried out by comparing model and known real trajectories of drifters of different types and ARGO buoys, which showed that this version of INMOM reproduces them quite well, but only north of 4°N. South of this boundary the model trajectories deviate to the left. By introducing a correction for this deviation, the area of the approximate position of the A330 crash site was calculated. As it turned out it included the place of the real crash of the airliner, later found 04.04.2011 at a depth of ~3.5 km in the search cruise R/V 'Alusia', belonging to Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI). The INMOM-calculated position was much more accurate compared to other European and North American models.

---

## **Воспроизведение циркуляции Северной Атлантики с целью поиска места падения лайнера АЗЗО (рейс АБ 447 Рио де Жанейро – Париж, 01.06.2009) путем расчета обратных траекторий обнаруженных тел**

Н. А. Дианский<sup>1,2,3</sup>, А. В. Гусев<sup>2,3,4</sup>

<sup>1</sup> Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>2</sup> Государственный океанографический институт им. Н. Н. Зубова, Москва, Россия

<sup>3</sup> Институт вычислительной математики им. Г. И. Марчука РАН, Москва, Россия

<sup>4</sup> Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия

Для целей исследования использовалась версия сигма-модели INMOM (Institute of Numerical Mathematics Ocean Model), реализованная для акватории Северной Атлантики (СА) от 10°S до 78°N с высоким пространственным разрешением 0.16°x0.08° по долготе и широте, позволяющим воспроизводить вихревую динамику океана. Задавались 31 сигма уровня по глубине, позволяющие описывать верхний слой с разрешением 1.75 м на глубине 3.5 км. На жидких боковых границах задавались среднемесячные данные наблюдений по температуре и солености для расчета здесь геострофических скоростей втока и вытока. Атмосферное воздействие бралось из 6-ти часовых данных CORE (Common Ocean-ice Reference Experiments), специально предназначенных для автономных расчётов моделей океана. Показано, что INMOM хорошо воспроизводит вихревую структуру циркуляции СА, включая меандрирование Гольфстрима и образования его рингов, а также сложную систему экваториальных течений и противотечений. Результаты воспроизведения INMOM приповерхностной циркуляции СА использовались для определения места падения авиалайнера А330 рейса Air France 447 Рио-де-Жанейро – Париж 01.06.2009, путем обратного расчета траекторий, найденных в районе крушения около последнего известного положения А330 (LKP) (2°58.8'N, 30°35.4'W). Предварительно была проведена верификация воспроизведения сложной структуры при экваториальной циркуляции, путем сравнения модельных и известных реальных траекторий дрейфтеров различного типа и буев ARGO, которая показала, что данная версия INMOM их довольно хорошо воспроизводит, но только севернее 4°N. Южнее этой границы модельные траектории отклоняются влево. Путем введения коррекции на это отклонение было вычислена область примерного положения места падения А330. Как оказалось, она включала в себя место реального падения авиалайнера, позднее найденного 04.04.2011 на глубине ~3.5 км в поисковом рейсе НИС «Алусиа», принадлежащего Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI). При этом рассчитанное с помощью INMOM положение оказалось много точнее, по сравнению с рассчитанным по другим европейскими и североамериканскими моделям.

## **System studies of tectonic processes and geodynamic modelling of key structures of the Russian Arctic**

V. Vernikovskiy, A. Vernikovskaya

Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia

The geological structure of a particular lithospheric segment of the Earth is a complex system formed over a long period of time (hundreds of millions of years) as a result of the reorganisation of lithospheric plates under the influence of deep processes in the core and mantle. The task of geoscientists is to understand how and when these structures and systems of structures were formed, which is extremely important for solving modern global problems. In order to solve this task and build a geological and geophysical model of the lithosphere segment of interest to us, a set of data is required. Due to the fact that geological and geophysical information for large segments of the lithosphere, as a rule, is very heterogeneous, where large data arrays are combined with single, but very important data, its deep scientific analysis and correct interpretation is necessary. On the example of the geological structure of the continental margin of the Russian Arctic, the problems of scientific analysis and geological and geophysical interpretation of geological, structural, geochronological, paleontological, paleomagnetic and other data will be considered to solve modern global problems, such as geodynamic reconstruction of continental plates and tectonic-thermal modelling of key orogenic structures. The research was financially supported by the Russian Science Foundation: project No. 24-17-00057.

---

## **Системные исследования тектонических процессов и геодинамическое моделирование ключевых структур Российской Арктики**

В. А. Верниковский, А. Е. Верниковская

Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, Новосибирск, Россия

Геологическое строение того или иного литосферного сегмента Земли представляет собой сложную систему, сформировавшуюся в течение длительного времени (сотни миллионов лет) в результате реорганизации литосферных плит под воздействием глубинных процессов в ядре и мантии. Задача ученых-геологов понять, как и когда эти структуры и системы структур были сформированы, что чрезвычайно важно для решения современных глобальных проблем. Для решения этой задачи и построения геолого-геофизической модели интересующего нас сегмента литосферы необходим комплекс данных. В связи с тем, что геолого-геофизическая информация для крупных сегментов литосферы, как правило, бывает очень разнородной, где большие массивы данных сочетаются с единичными, но очень важными данными, необходим ее глубокий научный анализ и корректная интерпретация. На примере геологического строения континентальной окраины российской Арктики будут рассмотрены проблемы научного анализа и геолого-геофизической интерпретации геолого-структурных, геохронологических, палеонтологических, палеомагнитных и других данных для решения современных глобальных задач, таких как геодинамические реконструкции континентальных плит и тектоно-термальное моделирование ключевых орогенных структур. Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда: проект № 24-17-00057.

## **Complex for high-precision measurements of the Earth's gravitational field parameters**

M. Murzabekov, D. Bobrov, R. Davlatov, V. Lopatin  
VNIIFTRI, Solnechnogorsk, Russia

The gravimetric complex is considered, which includes an astronomical plumb line slope meter and a high-precision relative gravimeter developed in FSUE 'VNIIFTRI'. Performing joint area measurements using the proposed complex allows to determine the following parameters of the Earth's gravitational field: acceleration of gravity and gravity anomalies, components and total value of the plumb line slope, components of gravity acceleration, quasigeoidal height excesses and horizontal components of the anomalous potential gradient. Measurements of these parameters of the Earth's gravitational field are in demand for prospecting and exploration of mineral deposits, topo-geodetic support of the Russian territory, creation and improvement of the State Geocentric Coordinate System, creation of calibration sites for prospective space geodetic missions of 'Geo-IR' type, development of prospective complex navigation systems based on the Earth's gravitational field and others. The complex is relocatable and allows measuring parameters of the Earth's gravity field in a single point for a time not exceeding 1 hour. The paper presents the results of measurements of the above-mentioned parameters of the Earth's gravitational field on the example of the polygon on the territory of the Moscow region.

---

## **Комплекс для высокоточных измерений параметров гравитационного поля Земли**

М. М. Мурзабеков, Д. С. Бобров, Р. А. Давлатов, В. П. Лопатин  
ВНИИФТРИ, Солнечногорск, Россия

Рассматривается гравиметрический комплекс, включающий разработанный во ФГУП "ВНИИФТРИ" астрономический измеритель уклонения отвесной линии и высокоточный относительный гравиметр. Выполнение совместных площадных измерений с использованием предлагаемого комплекса позволяет определять следующие параметры гравитационного поля Земли: ускорение силы тяжести и аномалии силы тяжести, составляющие и полное значение уклонения отвесной линии, составляющие ускорения силы тяжести, превышения высот квазигеоида и горизонтальные составляющие градиента аномального потенциала. Измерения этих параметров гравитационного поля Земли востребованы при поиске и разведке месторождений полезных ископаемых, топо-геодезическом обеспечении территории России, создании и совершенствовании Государственной геоцентрической системы координат, создании полигонов калибровки перспективных космических геодезических миссий типа «Гео-ИК», разработке перспективных комплексных систем навигации по гравитационному полю Земли и др. Комплекс является перебазируемым и позволяет измерять параметры гравитационного поля Земли в единичной точке за время не более 1 часа. В работе представлены результаты измерений вышеуказанных параметров гравитационного поля Земли на примере полигона на территории Московской области.

# **POSTER PRESENTATIONS**

---

# **ПОСТЕРНЫЕ ДОКЛАДЫ**

## Satellite studies of anthropogenic film pollution in Avacha Bay

V. Bondur, V. Zamshin, O. Chvertkova, V. Chernikova  
ISR AEROCOSMOS, Moscow, Russia

Coastal water areas near the Kamchatka Peninsula, including the Avacha Bay area, are subjected to anthropogenic impacts, primarily associated with intensive shipping, which causes the risks of deterioration of marine ecosystems in the region. This paper develops an approach to recording and quantitative analysis of spatial and temporal dynamics of anthropogenic film pollution caused, first of all, by intensive shipping, based on the processing of long-term time series of satellite radar data obtained during the monitoring of the Avacha Gulf water area of ~10 thousand km<sup>2</sup>. The proposed approach to analysing the spatial and temporal dynamics of anthropogenic film pollution (anthropogenic film pollution – AFP) is based on calculation and subsequent analysis of the time series of annual spatial distributions of dAFP, conditionally called ‘susceptibility’ to AFP, which is defined for each cell of the regular spatial grid as the ratio of the total area of registered AFP to the total area of observations made in this cell at permissible wind speeds ( $2 \text{ m/s} < v < 9 \text{ m/s}$ ). Based on the processing of 1134 satellite radar scenes (Sentinel-1), 318 AFP were identified within the Avacha Bay water area in 2014-2023. The total area of registered AFP was 332 km<sup>2</sup> (~3% of the water area). The average dAFP exposure value was approximately 93 ppm (millionths), which indicates a high level of anthropogenic film pollution (comparable to the areas of the Black Sea with intensive navigation, for which a dAFP of ~130 ppm was previously determined). A positive interannual trend is observed, indicating that the exposure of the Avacha Gulf water areas to AFP has increased ~3-fold over 10 years. Analysis of the spatial distribution of AFP and maps of shipping density indicates that it is the main source of anthropogenic film pollution in Avacha Bay. The most polluted area of the water area is located within Mokhovaya and Seroglazka Bays.

---

## Спутниковые исследования антропогенных плёночных загрязнений Авачинского залива

В. Г. Бондур, В. В. Замшин, О. И. Четркова, В. Н. Черникова  
НИИ «АЭРОКОСМОС», Москва, Россия

Прибрежные акватории у полуострова Камчатка, в том числе в районе Авачинского залива, подвергаются антропогенными воздействиями, связанными, прежде всего, с интенсивным судоходством, что обуславливает риски ухудшения состояния морских экосистем региона. В настоящей работе развивается подход к регистрации и количественному анализу пространственно-временной динамики плёночных загрязнений антропогенного происхождения, вызванных, прежде всего, интенсивным судоходством, основанный на обработке длительных временных рядов спутниковых радиолокационных данных, полученных при мониторинге акватории Авачинского залива площадью ~10 тыс. км<sup>2</sup>. Предлагаемый подход к анализу пространственно-временной динамики плёночных загрязнений антропогенного происхождения (антропогенных плёночных загрязнений – АПЗ) основан на вычислении и последующем анализе временного ряда ежегодных пространственных распределений величины dАПЗ, условно названной «подверженностью» к АПЗ, которая определяется для каждой ячейки регулярной пространственной сетки как отношение суммарной площади зарегистрированных АПЗ к суммарной площади выполненных наблюдений в этой ячейке при допустимых скоростях ветра ( $2 \text{ м/с} < v < 9 \text{ м/с}$ ). На основании обработки 1134 спутниковых радиолокационных сцен (Sentinel-1) в пределах акватории Авачинского залива в 2014-2023 гг. было выявлено 318 АПЗ. Суммарная площадь зарегистрированных АПЗ составила 332 км<sup>2</sup> (~3% от площади акватории). Среднее значение подверженности dАПЗ составило приблизительно 93 ppm (миллионных долей), что свидетельствует о высоком уровне антропогенных плёночных загрязнений (сопоставимо с участками Чёрного моря с интенсивным судоходством, для которых ранее было определено dАПЗ ~130 ppm). Наблюдается межгодовой положительный тренд, указывающий на то, что за 10 лет подверженность акваторий Авачинского залива АПЗ возросла в ~3 раза. Анализ пространственного распределения АПЗ и карт плотности судоходства свидетельствует о том, что оно является основным источником образования антропогенных плёночных загрязнений в Авачинском заливе. Наиболее загрязненный участок акватории располагается в пределах бухт Моховая и Сероглазка.

## **Dependence of cloud droplet growth on their size and the presence of an electric field**

D. Gabyshev

Geophysical Center RAS, Moscow, Russia

Natural water aerosols, such as clouds and fog, play a key role in the heat and mass transfer of the Earth's atmosphere by smoothing temperature fluctuations. The formation of these aerosols is generally well understood, but the details of the process at the microscale remain not well understood and continue to be of great interest to researchers. Typically, droplets in the atmosphere result from heterogeneous nucleation on condensation nuclei of terrestrial and extraterrestrial origin. Temperature, humidity, chemical impurities and concentration of condensation nuclei influence the intensity of droplet growth and, consequently, the formation of precipitation. The condensation mechanism is decisive for droplets up to 15-20  $\mu\text{m}$  radius, after which the coagulation mechanism predominates. Typical fog droplets of radius 3-5  $\mu\text{m}$  and slightly larger cloud droplets grow or evaporate according to the so-called 'd-square' law, according to which the surface area (square of diameter) at constant humidity varies linearly with time. However, this law is not applicable for droplets smaller than 1  $\mu\text{m}$  because of the change in effective humidity over the curved surface of the droplet and the manifestation of the kinetic transport mode of the molecules. In addition, the separated charges at the edges of the cumulus cloud create a strong electric field with a strength of  $\sim 1$  kV/cm. While the first factor hinders the growth of droplets, the second factor, on the contrary, favours their growth. In this connection, it is interesting to determine the degree of compensation of the factors and the direction of the equilibrium shift – towards restraining or still accelerating the growth. This study proposes to take into account both of these factors in a numerical and analytical calculation. The study was supported by the RNF project No. 21-77-30010.

---

## **Зависимость роста капель облаков от их размера и наличия электрического поля**

Д. Н. Габышев

Геофизический центр РАН, Москва, Россия

Природные водные аэрозоли, такие как облака и туман, играют ключевую роль в теплообмене земной атмосферы, сглаживая температурные колебания. Образование этих аэрозолей в целом хорошо изучено, но детали процесса на микроуровне остаются не вполне ясными и продолжают представлять большой интерес для исследователей. Обычно капли в атмосфере возникают в результате гетерогенной нуклеации на ядрах конденсации земного и внеземного происхождения. Температура, влажность, химические примеси и концентрация ядер конденсации влияют на интенсивность роста капель и, соответственно, образование осадков. Конденсационный механизм является определяющим для капель радиусом до 15-20 мкм, после чего преобладает коагуляционный механизм. Типичные капли тумана радиусом 3-5 мкм и чуть более крупные капли облаков растут или испаряются в соответствии с так называемым законом «d-квадрат», согласно которому площадь поверхности (квадрат диаметра) при постоянной влажности меняется линейно от времени. Однако этот закон не применим для капель размером меньше 1 мкм из-за изменения эффективной влажности над искривлённой поверхностью капли и проявления кинетического транспортного режима молекул. Кроме того, разделённые заряды на краях кучевого облака создают сильное электрическое поле напряжённостью  $\sim 1$  кВ / см. Если первый фактор затрудняет рост капель, то второй, напротив, способствует их росту. В связи с этим интересно определить степень компенсации факторов и направление смещения равновесия – в сторону сдерживания или всё же ускорения роста. В данном исследовании предлагается учесть оба этих фактора в численно-аналитическом расчёте. Исследование выполнено при поддержке проекта РНФ №21-77-30010.

## Fuzzy spectra of time series

S. Agayan<sup>1</sup>, Sh. Bogoutdinov<sup>1</sup>, D. Kamaev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Geophysical Center RAS, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Scientific and production association Typhoon, Obninsk, Russia

One of the directions in the development of discrete data analysis methods and discrete mathematics in general has to do with modelling the researcher's ability to work with data. Our efforts in this direction to analyse data by 'algorithmising the researcher' have led to the creation of Discrete Mathematical Analysis (DMA), a new researcher-centric approach to data analysis that occupies an intermediate position between hard mathematical methods and soft intellectual methods. The paper is devoted to DMA-research of records (time series), which is based on the logic of the researcher (LI) analysing the records. Let us recall it: the researcher glides through a record, estimating by numbers the activity of identical, small (local), in his opinion, fragments of it. He assigns these estimates to the centres of the fragments. In this way, the researcher moves from the initial record to the function, which is the straightening of the record, because the more active points on it correspond to larger values of this function. Formalisation of the interpreter logic became the main thing in DMA-research of records at the first stage: the DRAS and FCARS algorithms created at that time left the researcher free to interpret anomalies, knew how to connect them correctly, competed in anomaly search with classical spectral analysis algorithms and had a number of effective, mainly geophysical applications. In the second step, a transition from record rectification to a measure of record rectification was made. According to LI, record rectification is a quantitative expression of the property of interest to the researcher. Rectification serves as a basis for qualitative expression of the property. It is called a measure of rectification, is a fuzzy structure on the record definition area (RDA) and fuzzy characterises in each node of the record the degree of expression (manifestation) of the property of interest to the researcher. The transition from rectifications to their measures solves the problem of incomparability and is the essential justification of translation of DMA-research of records into NM language by means of the double transition 'record' – 'rectification' – 'rectification measure'. DMA-research of records in the first two stages is a sequential improvement of LI formalisation. The main role is played by the researcher with his view of the record, which includes both the property of interest and the scale of its consideration on the record. Therefore, the modelling that takes this into account and its result is necessarily limited. The paper is devoted to the third step where we remove this limitation by studying, in the form of fuzzy spectra, the relationship between the property and the record at different scales. The idea of multiscale, coming from wavelets and fractals, makes the property, rather than the researcher, the main focus in analysing the record. This makes it possible to understand the relationship between the two more fully and objectively.

---

## Нечеткие спектры временных рядов

С. М. Агаян<sup>1</sup>, Ш. Р. Богоутдинов<sup>1</sup>, Д. А. Камаев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Геофизический центр РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>Научно-производственное объединение Тайфун, Обнинск, Россия

Одно из направлений развития дискретных методов анализа данных и дискретной математики в целом связано с моделированием умения исследователя работать с данными. Наши усилия в этом направлении по анализу данных путем «алгоритмизации исследователя» привели к созданию Дискретного Математического Анализа (ДМА) – нового подхода к анализу данных, ориентированного на исследователя и занимающего промежуточное положение между жесткими математическими методами и мягкими интеллектуальными. Доклад посвящен ДМА-исследованию записей (временных рядов), в основе которого лежит логика исследователя (ЛИ), анализирующего записи. Напомним её: исследователь скользит по записи, оценивая числами активность одинаковых, небольших (локальных), по его мнению, фрагментов её. Эти оценки он присваивает центрам фрагментов. Так от исходной записи исследователь переходит к функции, которая и есть выпрямление записи, поскольку более активным на ней точкам соответствуют большие значения этой функции. Формализация логики интерпретатора стала главной в ДМА-исследованиях записей на первом этапе: созданные в это время алгоритмы DRAS и FCARS оставляли за исследователем свободу в трактовке аномалий, умели их правильно соединять, достойно конкурировали в поиске аномалий с классическими алгоритмами спектрального анализа и имели ряд эффективных, главным образом, геофизических приложений. На втором этапе был осуществлен переход от выпрямления записи к мере выпрямления записи. Согласно ЛИ, выпрямление записи есть количественное выражение интересующего исследователя свойства. Выпрямление служит основанием для качественного выражения свойства. Называется оно мерой выпрямления, является нечеткой структурой на области определения записи (ООЗ) и нечетко характеризует в каждом узле записи степень выражения (проявления) интересующего исследователя свойства. Переход от выпрямлений к их мерам решает проблему несравнимости и является сущностным обоснованием перевода ДМА-исследований записей на язык НМ с помощью двойного перехода «запись» – «выпрямление» – «мера выпрямления». ДМА-исследование записей на первых двух этапах представляет собой последовательное улучшение формализации ЛИ. Главную роль играет исследователь со своим взглядом на запись, включающим как интересующее его свойство, так и масштаб его рассмотрения на записи. Поэтому учитывающее это обстоятельство моделирование и его результат необходимо имеет ограниченный характер. Доклад посвящен третьему этапу, на котором мы снимаем это ограничение, изучая в виде нечетких спектров связь между свойством и записью в разных масштабах. Идея разномасштабности, пришедшая из вейвлетов и фракталов, делает свойство, а не исследователя, главным в анализе записи. Это дает возможность понять связь между ними более полно и объективно.

## **Magnetometry for searching archaeological, man-made objects and extraterrestrial matter**

L. Muravyev<sup>1</sup>, V. Bezdudniy<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of geophysics UrB RAS, Ekaterinburg, Russia

<sup>2</sup> Institute of Archaeology named after A. Kh. Khalikov TAS, Kazan, Russia

The efficiency of geophysical methods for solving standard geological and engineering problems is directly determined by the sensitivity and resolution of the applied measuring equipment. One of the frequently encountered problems of engineering geophysics is the search for local ferromagnetic objects hidden in hiding media. The most effective method of detecting such deep buried iron bodies is magnetometry. Modern Overhauser magnetometers have high sensitivity, sufficient gradient stability and low power consumption, which is relevant when carrying out prospecting works in autonomous conditions. High stability of the working substance allows to keep the device operability for a long time when used in regions with extreme temperatures. The undoubted advantage of the Overhauser magnetometer in comparison with the magnetometer using the principle of optical pumping is in the absoluteness of measurements. This provides an opportunity to apply methods of quantitative interpretation of the obtained results and makes it possible to effectively use magnetometers when performing ultrahigh-precision magnetic surveys, in particular, for mapping archaeological sites. Often in this case several identical sensors arranged according to a given scheme and simultaneously registering magnetic field values are fixed on one measuring module. The report presents a review of the current experience of using gradientometric systems composed of domestic nuclear-precipitation sensors of POS magnetometers to search for ferromagnetic objects of anthropogenic and extraterrestrial origin and magnetometric mapping of archaeological sites.

---

## **Магнитометрия для поиска археологических, техногенных объектов и внеземного вещества**

Л. А. Муравьев<sup>1</sup>, В. Г. Бездудный<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup> Институт археологии им. А.Х. Халикова АН РТ, Казань, Россия

Эффективность применения геофизических методов для решения стандартных геологических и инженерных задач напрямую определяется чувствительностью и разрешающей способностью применяемой измерительной аппаратуры. Одна из часто встречающихся проблем инженерной геофизики – поиск локальных ферромагнитных объектов, скрытых в укрывающих средах. Наиболее эффективным методом обнаружения таких глубокозалегающих железных тел является магнитометрия. Современные оверхаузеровские магнитометры обладают высокой чувствительностью, достаточной градиентоустойчивостью и низким энергопотреблением, что актуально при проведении поисковых работ в условиях автономности. Высокая стабильность рабочего вещества позволяет длительно сохранять работоспособность прибора при применении в регионах с экстремальными температурами. Несомненное достоинство оверхаузеровского магнитометра по сравнению магнитометром, использующим принцип оптической накачки – в абсолютности измерений. Это предоставляет возможность применения методов количественной интерпретации полученных результатов и дает возможность эффективного использования магнитометров при выполнении сверхвысокоточных магнитных съемок, в частности для картирования археологических объектов. Часто при этом на одном измерительном модуле фиксируется несколько одинаковых датчиков, расположенных по заданной схеме и одновременно регистрирующих значения магнитного поля. В сообщении представлен обзор современного опыта использования градиентометрических систем, составленных из отечественных ядерно-прецессионных датчиков магнитометров POS для поиска ферромагнитных объектов, имеющих техногенное а также внеземное происхождение и магнитометрического картирования территорий археологических памятников.

## **DEM analysis for the purposes of forecasting oil and gas content of large territories**

I. Chernova, D. Nurgaliev, F. Garaev, O. Luneva

Institute of Geology and Petroleum Technologies KFU, Kazan, Russia

Structural-geomorphological methods are traditionally used in petroleum geology to search for local structures promising for oil and gas. The most informative of them is the morphometric method of analysing digital elevation models (DEM). Due to the use of modern digital topographic data and geographic information systems (GIS) the possibilities of the morphometric method are significantly expanded, and the method can be successfully applied at the regional level of work. The implementation of the morphometric method with the help of GIS tools is shown for the work area located in the south-west of the Siberian platform, crossing the Baikitskaya, Katanga and Prisyano-Yenisei oil and gas bearing areas. The informativeness of the difference between the 6th and 7th order baseline surfaces were shown: the areas of known fields are predominantly located in the areas of low amplitudes of neotectonic movements. The discovered relationship was used as a predictive sign. The relationship of sedimentary cover macrofracturing, expressed through lineament density, with the location of known deposits was also used as a predictor. It was found that the areas of known fields are predominantly located in areas of low and medium values of macrofracturing, which allows us to consider this attribute as a factor in the preservation of deposits. Lineament density was calculated using automated DEM lineament analysis. Finally, a comprehensive predictive map was obtained on the basis of 2 attributes. The calculation and construction of the complex predictive map is based on statistical processing of lineament density rasters and difference of baseline surfaces. The reliability of the obtained complex predictive map is confirmed by the fact that the contours of known fields fit perfectly into the zones of high oil and gas content of the study area. Thus, the informativeness and efficiency of the proposed method of oil and gas prospectivity assessment of large understudied territories based on the assessment of the intensity of hydrocarbon deposit destruction factors based on the results of DEM analysis is demonstrated.

---

## **Анализ ЦМР для целей прогнозирования нефтегазоносности больших территорий**

И. Ю. Чернова, Д. К. Нурғалиев, Ф. Н. Гараев, О. В. Лунева

Институт геологии и нефтегазовых технологий, К(П)ФУ, Казань, Россия

Структурно-геоморфологические методы традиционно используются в нефтяной геологии для поиска локальных структур, перспективных на нефть и газ. Наиболее информативным из них является морфометрический метод анализа цифровых моделей рельефа (ЦМР). За счет использования современных цифровых топографических данных и геоинформационных систем (ГИС) возможности морфометрического метода существенно расширяются, и метод может быть успешно применен и на региональном уровне работ. Показана реализация морфометрического метода с помощью инструментов ГИС для площади работ, расположенной на юго-западе Сибирской платформы, пересекающей Байкитскую, Катангскую и Присяно-Енисейскую нефтегазоносные области. Показана информативность разности базисных поверхностей 6-го и 7-го порядков: площади известных месторождений преимущественно расположены в областях низких амплитуд неотектонических движений. Обнаруженная взаимосвязь была использована в качестве прогнозного признака. В качестве прогнозного признака также была использована взаимосвязь макротрещиноватости осадочного чехла, выраженная через плотность линеаментов, с расположением известных месторождений. Было обнаружено, что площади известных месторождений расположены преимущественно в областях низких и средних значений макротрещиноватости, что позволяет рассматривать данный признак как фактор сохранности залежей. Плотность линеаментов была рассчитана с помощью автоматизированного линеаментного анализа ЦМР. Окончательно на основе 2-х признаков была получена комплексная прогнозная карта. В основе расчета и построения комплексной прогнозной карты лежит статистическая обработка растров плотности линеаментов и разности базисных поверхностей. Достоверность полученной комплексной прогнозной карты подтверждается тем, что контуры известных месторождений отлично вписываются в зоны высокой нефтегазоносности территории исследования. Таким образом продемонстрирована информативность и эффективность предлагаемого способа оценки нефтегазоперспективности больших малоизученных территорий, основанного на оценке интенсивности факторов разрушения залежей углеводородов по результатам анализа ЦМР.

## Locations of possible earthquakes in the Central Asian mobile belt

A. Gorshkov, O. Novikova, A. Livinskiy, M. Semka

Institute of earthquake prediction theory and mathematical geophysics RAS, Moscow, Russia

The unified seismic zone of South Siberia, located within the Central Asian mobile belt, is considered. The aim of the work is to determine the locations of strong earthquakes using pattern recognition methods. The study is based on the data of morphostructural zoning, uniformly carried out for the whole territory. The largest tectonic elements of the belt are Altai, Sayans, Baikal rift zone, Transbaikalian Ridge area, Stanovoi Plateau, Stanovoi Ridge and Sikhote-Alin mountain structure. Seismic activity within the belt is heterogeneous. In the Altai, Sayan and Baikal rift zone region there were 20 events with  $M6+$ . To the east of the Baikal rifts seismic activity weakens: six events with magnitudes 6.0 – 6.4 were recorded here. According to the level of seismicity, the Central Asian mobile belt was divided into western and eastern parts. The western part (region I) includes Altai, Sayans and Baikal rift zone, and the eastern part (region II) includes the region of Transbaikalian ridges, Stanovoi Plateau, Stanovoi Ridge and Sikhote-Alin. The recognition problem was solved separately for each region. In region I the value of threshold magnitude ( $M_0$ ) was taken as 6, and in region II – as 5.5. The problem was solved using the recognition algorithm with training ‘Kora-3’. The recognition objects are nodes of lineament intersection described by a single set of morphometric and gravio-magnetic parameters. In Region I, out of 140 nodes, 41 nodes are classified as high-seismic class B, where  $M6+$  events are possible. The recognised B nodes are grouped in separate regions. A group of B nodes forms a high-seismic zone in the southeastern Altai and along its borders with the Western Sayan, the Great Lakes Basin, and the Mongolian Altai. Another group of B nodes is located on the 1st rank lineament separating the Western and Eastern Sayan from the Khangai ridges. Also, a group of B-nodes is located on the southern border of the region within Mongolia. In Baikal, B-nodes are concentrated on the borders of the southern part of the Baikal Basin. Areas of lower seismic potential are the western and north-western Altai, the inner regions of the Western Sayan, the Eastern Sayan and the western limit of the Baikal Basin. In Region II, 30 out of 89 nodes are classified as class B, where  $M5.5+$  events are possible. Eighteen B nodes have been identified where no such events are known so far. Within Region II, B nodes do not form clusters, but are scattered singly over the region. Most B nodes are concentrated in the Stanovoi Ridge and the Stanovoi Plateau.

---

## Места возможного возникновения землетрясений в Центрально-Азиатском подвижном поясе

А. И. Горшков, О. В. Новикова, А. И. Ливинский, М. А. Семка

Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, Москва, Россия

Рассматривается единая сейсмическая зона Южной Сибири, расположенная в пределах Центрально-Азиатского подвижного пояса. Цель работы – определить места сильных землетрясений с помощью методов распознавания образов. Исследование основано на данных морфоструктурного районирования, единообразно проведенного для всей территории. Крупнейшими тектоническими элементами пояса являются Алтай, Саяны, Байкальская рифтовая зона, область Забайкальских хребтов, Становое нагорье, Становой хребет и горное сооружение Сихотэ-Алиня. Сейсмическая активность в пределах пояса неоднородна. В регионе Алтай, Саяны и Байкальская рифтовая зона произошло 20 событий с  $M6+$ . К востоку от Байкальских рифтов сейсмическая активность ослабевает: здесь зафиксировано шесть событий с магнитудами 6.0 – 6.4. По уровню сейсмичности Центрально-Азиатский подвижный пояс был разделен на западную и восточную части. К западной (регион I) относятся Алтай, Саяны и Байкальская рифтовая зона, а к восточной (регион II) – область Забайкальских хребтов, Становое нагорье, Становой хребет и Сихотэ-Алинь. Задача распознавания решена отдельно для каждого региона. В регионе I значение пороговой магнитуды ( $M_0$ ) было принято равным 6, а в регионе II – равным 5.5. Задача решена с помощью алгоритма распознавания с обучением «Кора-3». Объекты распознавания – узлы пересечения линеаментов, описанные единым набором морфометрических и гравито-магнитных параметров. В регионе I из 140 узлов 41 узел отнесен к высокосейсмичному классу B, где возможны события с  $M6+$ . Распознанные узлы B группируются в отдельных областях. Группа узлов B образует высокосейсмичную зону на юго-востоке Алтая и вдоль его границ с Западным Саяном, котловиной Больших озер и Монгольским Алтаем. Другая группа узлов B, расположена на линеаменте 1-го ранга, отделяющим Западный и Восточный Саян от хребтов Хангая. Также группа узлов B расположена на южной границе региона в пределах Монголии. На Байкале B-узлы сконцентрированы на границах южной части Байкальской котловины. Зонами меньшего сейсмического потенциала оказались зап и сев-зап Алтай, внутренние области Западного Саяна, Восточный Саян и западное ограничение Байкальской впадины. В регионе II 30 из 89 узлов отнесены к классу B, где возможны события с  $M5.5+$ . Выявлено 18 узлов B, где до сих пор такие события не известны. В пределах региона II узлы B не образуют кластеры, а одиночно рассеяны по площади региона. Большинство узлов B сосредоточены в Становом хребте и Становом нагорье.

## **Assessment of development and carbon balance of ecosystems in the territory of oil fields on the basis of satellite and BBC data**

A. Kaverin and D. Ilyasov

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

The study of the development and carbon balance of oil field ecosystems using satellite and drone data is relevant, given that the fields occupy a large part of the Russian Federation. Field development has a significant impact on ecosystems, including changes in carbon balance. Satellite data are used to monitor ecosystems, providing information on land use, vegetation changes and climatic conditions. Recently, the unmanned aerial vehicle (UAV) industry has been actively developing, and their data are increasingly being integrated into environmental monitoring (3D mapping, monitoring of greenhouse gas concentrations, biomass estimation and others). The use of multi-temporal satellite data, such as Sentinel-2 imagery, provides valuable opportunities for field assessment. An example is the development of a typology of field ecosystems and assessment of the main types of disturbance in an area. Multispectral imagery helps identify areas of degradation, areas of contamination and infrastructural changes such as forest cover breaks and construction of facilities. These data are integrated to create comprehensive ecosystem maps and monitor the environmental impacts of field development (Kaverin, 2022). The use of BWS in field assessment includes the use of lidar data to accurately measure aboveground phytomass and multispectral as well as thermal cameras to monitor hydrological changes. An example is the use of lidar on BWS to estimate the volume and distribution of biomass in forest ecosystems, which helps to determine carbon stocks (Ilyasov, 2023). In addition, regular monitoring from the BWS allows rapid identification of areas of drainage and waterlogging, creating maps of changes in water levels and soil conditions. Integrated analysis using satellite and TBC data allows to create a more detailed and accurate picture of the state of the field's ecosystems. This helps to improve monitoring and management of natural resources, assess the impact of anthropogenic factors and plan measures to restore ecosystems. The work was performed under the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation to organise a youth laboratory at Ugra State University (NIR 1022031100003-5-1.5.1) as part of the implementation of the national project 'Science and Universities'.

---

## **Оценка освоенности и углеродного баланса экосистем территории нефтяных месторождений на основе спутниковых и БВС данных**

А. А. Каверин и Д. В. Ильясов

Югорский Государственный Университет, Ханты-Мансийск, Россия

Исследование освоенности и углеродного баланса экосистем нефтяных месторождений с использованием спутниковых и беспилотных данных является актуальным, учитывая, что месторождения занимают обширную часть территории Российской Федерации. Освоение месторождений оказывает значительное влияние на экосистемы, включая изменение углеродного баланса. Данные со спутников используются для мониторинга экосистем, обеспечивая информацией о землепользовании, изменениях растительности и климатических условиях. В последнее время активно развивается отрасль беспилотных воздушных судов (БВС), и их данные все чаще интегрируются в экологический мониторинг (трехмерное картографирование, мониторинг концентраций парниковых газов, оценка биомассы и другое). Использование разновременных спутниковых данных, таких как съемка Sentinel-2, предоставляет ценные возможности для оценки месторождений. Примером является разработка типологии экосистем месторождения и оценка основных типов нарушений на территории. Мультиспектральные изображения помогают идентифицировать участки деградации, зоны загрязнения и инфраструктурные изменения, такие как разрывы лесного покрова и строительство объектов. Эти данные интегрируются для создания комплексных карт экосистем и мониторинга экологических последствий освоения месторождений (Каверин, 2022). Использование БВС при оценке месторождений включает применение лидарных данных для точного измерения наземной фитомассы и мультиспектральные, а также тепловые камеры для мониторинга гидрологических изменений. Примером является использование лидаров на БВС для оценки объема и распределения биомассы в лесных экосистемах, что помогает определять запасы углерода (Ильясов, 2023). Кроме того, регулярный мониторинг с БВС позволяет оперативно выявлять зоны осушений и подтоплений, создавая карты изменений уровня воды и состояния почвы. Комплексный анализ с использованием данных спутников и БВС позволяет создать более детализированную и точную картину состояния экосистем месторождения. Это способствует улучшению мониторинга и управления природными ресурсами, оценке воздействия антропогенных факторов и планированию мероприятий по восстановлению экосистем. Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по организации молодежной лаборатории в Югорском государственном университете (НИР 1022031100003-5-1.5.1) в рамках реализации национального проекта «Наука и университеты».

## **El Niño influence on the troposphere of Arctic latitudes according to reanalysis data, the Russian climate model of the IWM RAS and CMIP6 models**

A. Gvozdeva<sup>1</sup>, D. Gushchina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Marchuk Institute of Numerical Mathematics RAS, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

El Niño-Southern Oscillation (ENSO) is the most striking phenomenon of interannual climatic variability resulting from the interaction between the tropical Pacific Ocean and the atmosphere. Two types of El Niño events have been shown to significantly modify the atmospheric circulation at polar latitudes. The intensity of the response is affected not only by the amplitude of ocean surface temperature anomalies, but also by their localisation, so it is important to take into account the two types of warm phase ENSO: East Pacific (EP) and Central Pacific (CP) El Niño. The characteristics of the ENSO phenomenon depend on the background state of the ocean-atmosphere system, which changes significantly under climate change. Studying the response to ENSO in future climate is possible using model experiments, hence the need to assess the ability of models to reproduce this response in the present-day climate. In this study, the reproduction of the response of atmospheric circulation in the polar troposphere to two types of El Niño phenomena by the Russian climate model of the Institute of Computational Mathematics of the Russian Academy of Sciences – INM-CM is evaluated and compared with the results obtained from the ERA5 reanalysis data for the present climate and other models of the CMIP6 project for the future climate. It is shown that the new version of the INM-CM6-M model under development improves the reproduction of the mean state of the atmospheric pressure field in the troposphere and the remote response to two types of El Niño. The Arctic oscillation is correctly reproduced in all INM-CM models. In a changing climate, with particularly strong warming at polar latitudes, the effects of El Niño events become more pronounced in Arctic regions. In the future climate, the response to El Niño events is manifested not only in changes in the dynamics of the main centres of atmospheric action, but also in a significant increase in surface air temperature. This increase may be several times greater than in the current climate. Such sensitivity of air temperature anomalies to El Niño in a warmer climate may affect positive trends in the Arctic region, in particular, it may influence the seasonal recovery of sea ice extent in the Arctic in the years following El Niño events. The study was conducted as part of the implementation of the most important innovative project of state importance ‘Unified National System for Monitoring of Climate Active Substances’ (Agreement No. 169-15-2023-003).

---

## **Влияние Эль-Ниньо на тропосферу арктических широт по данным реанализа, российской климатической модели ИВМ РАН и моделей CMIP6**

А. В. Гвоздева<sup>1</sup>, Д. Ю. Гущина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия

Эль-Ниньо – Южное Колебание (ЭНЮК) – наиболее яркий феномен межгодовой климатической изменчивости, являющийся результатом взаимодействия тропического Тихого океана и атмосферы. Было показано, что события двух типов Эль-Ниньо в значительной степени изменяют атмосферную циркуляцию в полярных широтах. На интенсивность отклика влияет не только амплитуда аномалий температуры поверхности океана, но и их локализация, поэтому важно учитывать два типа теплой фазы ЭНЮК: Восточно-Тихоокеанское (ВТ) и Центральное-Тихоокеанское (ЦТ) Эль-Ниньо. Характеристики феномена ЭНЮК зависят от фонового состояния системы океан-атмосфера, которое существенно меняется в условиях изменения климата. Изучение отклика на ЭНЮК в будущем климате возможно с использованием модельных экспериментов, что обуславливает необходимость оценки способности моделей воспроизводить этот отклик в современном климате. В данном исследовании выполнена оценка воспроизведения отклика атмосферной циркуляции в тропосфере полярных широт на два типа явления Эль-Ниньо российской климатической моделью Института вычислительной математики РАН – INM-CM и проведено сравнение с результатами, полученными по данным реанализа ERA5 для современного климата и по другим моделям проекта CMIP6 для будущего климата. Показано, что в новой разрабатываемой версии модели INM-CM6-M улучшается воспроизведение среднего состояния поля атмосферного давления в тропосфере и удаленного отклика на два типа Эль-Ниньо. Арктическая осцилляция корректно воспроизводится во всех моделях INM-CM. В условиях меняющегося климата, когда особенно сильное потепление происходит в полярных широтах, последствия событий Эль-Ниньо становятся более ощутимыми в арктических регионах. В будущем климате отклик на события Эль-Ниньо проявляется не только в изменении динамики основных центров действия атмосферы, но и в значительном повышении приземной температуры воздуха. Это повышение может быть в несколько раз больше, чем в нынешнем климате. Такая чувствительность аномалий температуры воздуха к Эль-Ниньо в более тёплом климате может сказываться на положительных трендах в Арктическом регионе, в частности, может влиять на сезонное восстановление площади морского льда в Арктике в течение нескольких лет после событий Эль-Ниньо. Исследование проводилось в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ» (Соглашение № 169-15-2023-003).

## **Impact of permafrost retreat on carbon balance in ecosystems**

G. Aleksandrov

A. M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, Moscow, Russia

Arctic and subarctic tundras located in the permafrost zone have removed a significant amount of carbon dioxide from the atmosphere during the Holocene and bound it in soil organic matter. The retreat of permafrost and increased depth of seasonal thawing of soils increases the rate of decomposition of the organic matter they contain. This raises concerns that the carbon balance in these ecosystems may be disturbed to such an extent that they become a source of carbon. However, the results of numerical experiments run on five Earth System models for the worst-case scenario do not support the hypothesis that Arctic ecosystems will become a source of carbon dioxide under global warming. According to predictive estimates of net ecosystem output, the carbon balance in these ecosystems will remain positive on average between 2025 and 2065 over virtually the entire Russian Arctic. Does this mean that Earth system models underestimate the impact of global warming on the carbon balance in Arctic ecosystems located in the permafrost zone? To answer this question, we need not only numerical experiments on models describing the carbon cycle, but also long-term observations both within the permafrost monitoring network and in the observation network being established to monitor greenhouse gas fluxes.

---

## **Воздействие отступления многолетней мерзлоты на баланс углерода в экосистемах**

Г. А. Александров

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

Арктические и субарктические тундры, расположенные в зоне многолетней мерзлоты, вывели значительное количество углекислого газа из атмосферы за период голоцена и связали его в органическом веществе почвы. Отступление многолетней мерзлоты и увеличение глубины сезонного оттаивания почв повышает скорость разложения, содержащегося в них органического вещества. Это вызывает опасения, что баланс углерода в этих экосистемах может быть нарушен настолько, что они превратятся в источник углерода. Однако результаты численных экспериментов, поставленных на пяти моделях Земной системы для самого неблагоприятного сценария развития мировой экономики, не подтверждают гипотезу о том, что арктические экосистемы превратятся в источник углекислого газа при глобальном потеплении. Согласно прогностическим оценкам чистой экосистемной продукции баланс углерода в этих экосистемах останется в среднем положительным в период 2025-2065 гг. практически на всей территории российской Арктики. Означает ли это, что модели Земной системы недооценивают воздействие глобального потепления на баланс углерода в арктических экосистемах, расположенных в зоне многолетней мерзлоты? Для ответа на этот вопрос нужны не только численные эксперименты на моделях, описывающих цикл углерода, но и долгосрочные наблюдения как в рамках сети мониторинга состояния многолетней мерзлоты, так и в сети наблюдений, создаваемой для мониторинга потоков парниковых газов.

## **Detailed climate trend assessment and their spatial patterns as a Big Data problem in climatology**

A. Sterin, A. Lavrov  
RIHMI-WDC, Moscow, Russia

The study considers climate trends not for the mean of predictant, but are detailed for the wide range of quantiles of predictant between 0 and 1. It is essential to know climate trends for those values of climate variables (such as air temperature or daily sum of precipitation, that are related to the “tails of distribution”. Such values often correspond to climate extremes and to climate disaster phenomena. We used Quantile Regression (QR) and Cluster Analysis based on K-Means, that are statistical instruments to provide these studies. So these studies are, in fact, Big Data Multidimensional Analysis. It is more resource-consuming than traditional climate trend analysis, but provide more detailed information on features of climate trends. The spatial patterns of detailed climate trends for surface temperature and precipitation over the territory of Russia for about 1400 meteorological stations, for each of the four seasons, are assessed. It is demonstrated that clustered meteorological stations are geographically compact groups, so that it may be used for climate regionalization.

---

## **Детальная оценка климатических трендов и их пространственных закономерностей как проблема Больших Данных в климатологии**

А. М. Стерин, А. Лавров  
ВНИИГМИ-МЦД, Обнинск, Россия

В исследовании рассматриваются климатические тренды не для среднего значения предиктанта, а детализируются для широкого диапазона квантилей предиктанта от 0 до 1. Важно знать климатические тренды для тех значений климатических переменных (таких как температура воздуха или суточная сумма осадков, которые относятся к «хвостам распределения». Такие значения часто соответствуют климатическим экстремумам и явлениям климатической катастрофы. Мы использовали Квантильную регрессию (КР) и Кластерный анализ на основе К-Means, которые являются статистическими инструментами для проведения этих исследований. Таким образом, эти исследования, по сути, являются многомерным анализом больших данных. Он более ресурсозатратен, чем традиционный анализ климатических тенденций, но позволяет получить более подробную информацию об особенностях климатических трендов. Проведена оценка пространственных закономерностей детальных климатических трендов приземной температуры и осадков на территории России для около 1400 метеорологических станций, для каждого из четырех сезонов. Показано, что кластеризованные метеорологические станции представляют собой географически компактные группы, что позволяет использовать их для климатического районирования.

## **Geomagnetic field hyperactivity in the early Neoproterozoic**

I. Golovanova, R. Salmanova

Institute of Geology Ufa Federal Research Center RAS, Ufa, Russia

The upper part of the Katava Formation section of the Late Riphean section in the South Urals reveals a large number of clearly manifested zones of magnetic polarity. If the synchrony of the high-temperature component of magnetization with the time of rock formation is proved, the Katava Formation may become a good paleomagnetic recorder in the Neoproterozoic history of the Earth and provide important information on the peculiarities of the geomagnetic field behaviour in the Late Precambrian. New data were obtained for the rocks of the Katava Formation, previously considered overmagnetised, confirming the primary character of magnetization in these rocks. On the assumption that the magnetisation of the Katava Formation limestones is synchronous with the time of its formation, a cyclostratigraphic study of the Yuryuzan section was carried out. The method is based on the recognition of astronomically forced periodic climatic changes in sedimentary strata. These astronomical cycles (Milankovitch cycles) are variations of the Earth's orbit parameters (large and small eccentricity, LE and SE) and its rotation axis (nutations and precession, O and P, respectively). They affect the level of the Earth's insolation and produce climatic, oceanographic and biological fluctuations in sediments that can be preserved in the geological record. Spectral analyses of a range of sediment characteristics allow the identification of orbital cycles. In palaeomagnetism, orbital cycles can be distinguished from variations in the magnetic susceptibility of rocks. Cyclostratigraphic studies of sediments of the Katava Formation have shown that the frequency of inversions can be 11-12 per million years, which allows us to identify a new interval of geomagnetic field hyperactivity in the Neoproterozoic time. The work was financially supported by RNF grant No. 23-27-00018.

---

## **Гиперактивность геомагнитного поля в раннем Неопротерозое**

И. В. Голованова, Р. Ю. Сальманова

Институт геологии УФИЦ РАН, Уфа, Россия

В верхней части разреза катавской свиты позднего рифея на Южном Урале выявлено большое количество четко проявляющихся зон магнитной полярности. В случае доказательства синхронности высокотемпературной компоненты намагниченности времени образования пород, катавская свита может стать хорошим палеомагнитным репером в неопротерозойской истории Земли и дать важную информацию об особенностях поведения геомагнитного поля в позднем докембрии. Получены новые данные по породам катавской свиты, ранее считавшимся перемагниченными, подтверждающие первичный характер намагниченности в этих породах. В предположении о синхронности намагниченности известняков катавской свиты времени ее образования выполнено циклостратиграфическое исследование разреза Юрюзань. Метод основан на распознавании астрономически вынужденных периодических климатических изменений в осадочных толщах. Эти астрономические циклы (циклы Миланковича) являются вариациями параметров орбиты Земли (большой и малый эксцентриситеты, LE и SE) и оси ее вращения (нута́ция и пре́цессия, O и P соответственно). Они влияют на уровень инсоляции Земли и порождают климатические, океанографические и биологические флуктуации в отложениях, которые могут сохраняться в геологической летописи. Спектральный анализ целого ряда характеристик осадочных отложений позволяет идентифицировать орбитальные циклы. В палеомагнетизме орбитальные циклы можно выделить из вариаций магнитной восприимчивости пород. Циклостратиграфические исследования отложений катавской свиты показали, что частота инверсий может составлять 11-12 за миллион лет, что позволяет выделить новый интервал гиперактивности геомагнитного поля в неопротерозойское время. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 23-27-00018.

## **Databases on earthquakes in seismic active zones of the USSR territory in the period 1911-1957.**

N. Sergeeva, L. Zabarinskaya, T. Krylova, N. Knipper  
Geophysical Center RAS, Moscow, Russia

Preservation of scientific data, which are widely used in scientific research, and provision of convenient access to them is an urgent task of the World Data Centre (WDC) on Solid Earth Physics of the Geophysical Centre of the Russian Academy of Sciences. The Centre has an extensive collection of data in digital form, freely available on the website, and a large archive of old data, presented mainly in traditional paper-and-print form. The project 'Preserving Old Data' is digitising such data and publishing them on the IDC website. The report presents the work carried out with data from the 'Atlas of earthquakes in USSR' published in 1962 (ed. E.F. Savarensky, C.L. Soloviev, D.A. Kharin), which contains instrumental data of the USSR stationary stations network from 1911 to 1957 collected and processed according to a unified methodology with reliability assessment of the results. The data in the Atlas are presented in the form of catalogues of earthquakes for the whole territory of the USSR and for nine seismic active zones of the USSR territory (~10 000 events). The text of the Atlas and 16 earthquake source maps have been converted into electronic form and are available in PDF format on the WDC website. Based on the material presented in the Atlas, catalogues of earthquakes for each seismic zone have been created and digitised in three formats: PDF, Excel and TXT (ASCII). The catalogues are accompanied by texts of descriptions from the Atlas, maps, information about seismic stations and bibliography. For each zone the catalogues are used to construct maps-charts of spatial distribution of epicenters. A total of 67 data files were created. Formed arrays of catalogues, descriptions, maps and bibliography, placed on the WDC Internet pages, are databases intended for storing in a convenient form and providing free access in the network to data on earthquakes in seismic active zones of the USSR territory. These databases are a retrospective addition to the catalogues of earthquakes in seismic regions, formed on the basis of the yearbooks 'Earthquakes in the USSR' and 'Earthquakes in Northern Eurasia', starting from 1962. State registration certificates have been obtained for the databases. The work was performed within the framework of the state assignment of the Geophysical Centre of RAS approved by the Ministry of Education and Science of Russia.

---

## **Базы данных о землетрясениях в сейсмоактивных зонах территории СССР в период 1911-1957 гг.**

Н. А. Сергеева, Л. П. Забаринская, Т. А. Крылова, Н. И. Книппер  
Геофизический центр РАН, Москва, Россия

Сохранность научных данных, находящих широкое применение в научных исследованиях, и обеспечение удобного доступа к ним является актуальной задачей Мирового центра данных (МЦД) по физике твердой Земли Геофизического центра РАН. Центр располагает обширной коллекцией данных в цифровом виде, находящихся в свободном доступе на сайте, и большим архивом старых данных, представленных в основном в традиционной бумажно-печатной форме. В ходе реализации проекта "Сохранение старых данных" осуществляется перевод таких данных в цифровую форму и последующая публикация на сайте МЦД. В докладе представлена работа, проведенная с данными из опубликованного в 1962 г. «Атласа землетрясений в СССР» (ред. Саваренский Е.Ф., Соловьев С.Л., Харин Д.А.), содержащего собранные и обработанные по единой методике с оценкой надежности результатов инструментальные данные сети стационарных станций СССР с 1911 по 1957 гг. Данные в «Атласе» представлены в виде каталогов землетрясений для всей территории СССР и для девяти сейсмоактивных зон территории СССР (~10 000 событий). Текст Атласа и 16 карт расположения очагов землетрясений переведены в электронную форму и доступны в формате PDF на сайте МЦД. На основе материала, представленного в «Атласе», для каждой сейсмоактивной зоны сформированы каталоги землетрясений, переведенные в цифровой вид в трех форматах PDF, Excel и TXT (ASCII). Каталоги сопровождаются текстами описаний из Атласа, картами, сведениями о сейсмостанциях и библиографией. Для каждой зоны по каталогам построены карты-схемы пространственного распределения эпицентров. Всего создано 67 файлов данных. Сформированные массивы из каталогов, описаний, карт и библиографии, размещенные на интернет-страницах МЦД, представляют собой базы данных, предназначенные для хранения в удобном виде и обеспечения свободного доступа в сети к данным о землетрясениях в сейсмоактивных зонах территории СССР. Эти базы данных являются ретроспективным дополнением каталогов землетрясений сейсмических регионов, сформированных на основе ежегодников «Землетрясения в СССР» и «Землетрясения Северной Евразии», начинающихся с 1962 г. Для баз данных получены свидетельства о государственной регистрации. Работа выполнена в рамках государственного задания Геофизического центра РАН, утвержденного Минобрнауки России.

## **System approach based on a complex of geochemical, geotectonic and GIS data to explain the processes of formation and search for deep hydrocarbon deposits**

M. Rodkin

Institute of earthquake prediction theory and mathematical geophysics RAS, Moscow, Russia

Schmidt Institute of physics of the Earth RAS, Moscow, Russia

Institute of Marine Geology and Geophysics FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

The exhaustibility of conventional hydrocarbon deposits poses the task of searching for new types of resources. Among them, deep ( $H > 4.5$  km) fields, the exploitation of which has been most developed in the USA and China, occupy an important place. Such fields, including large ones, were discovered more often by chance, as classical search signs do not work at great depths. Hence the methodology of searching for deep hydrocarbon deposits was demanded. The revealed features of the places of development of deep hydrocarbon deposits are rather mysterious. They are characterised by indications of active deep processes, anomalously high porosity, confinement to fault structures and areas of development of deep waters of low mineralisation, a high connection between the trace element composition of oils and the chemical composition of the lower crust. These data indicate the importance of deep factors of naphthidgenesis. But deep hydrocarbon deposits are also characterised by relatively low temperatures, which should not be observed near upward mantle fluid flows. A possible solution of the problem is achieved by using a complex of geochemical and geotectonic data and GIS technologies. Faults adjacent to the fields often turn out to be thrust zones, and the character of near-contour waters as deep and at the same time low-mineralised gives grounds to interpret them only as young waters – products of dehydration processes occurring at the level of the lower crust. The listed empirical relationships receive a natural interpretation in the model of massive oil genesis according to the flow nonequilibrium reactor scheme, which is a concretisation of the known fluid dynamic model of oil genesis by B.A. Sokolov. According to the flow reactor model, for the implementation of massive oil genesis preferred zones of deep crustal thrusts, where the dispersed organic matter is fed as on a conveyor belt, and where the reaction volume is washed by rising low-mineralised waters formed by dehydration reactions occurring in deeper areas of the thrust zones. Note that similar but less deep and unconcentrated processes are also characteristic of areas of rapid sedimentation. The agreement of the empirically revealed features of the development zones of deep hydrocarbon deposits with the provisions of the flow reactor model gives grounds to propose a set of features for searching for deep hydrocarbon deposits. The above example is an illustration of how a systematic integrated approach helps to solve a practically important problem.

---

## **Системный подход на основе комплекса геохимических, геотектонических данных и ГИС для объяснения процессов образования и поиска глубоких УВ месторождений**

М. В. Родкин

Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, Москва, Россия

Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия

Исчерпаемость обычных УВ месторождений ставит задачу поиска новых видов ресурсов. Среди таковых важное место занимают глубокие ( $H > 4.5$  км), месторождения, эксплуатация которых получила наибольшее развитие в США и Китае. Такие месторождения, в том числе крупные, открывались чаще случайно, так как классические поисковые признаки на больших глубинах не работают. Отсюда затребована методика поиска глубоких УВ месторождений. Выявленные особенности мест развития глубоких УВ месторождений довольно загадочны. Для них характерны указания на активные глубинные процессы, anomalously высокая пористость, приуроченность к разломным структурам и областям развития глубинных вод низкой минерализации, характерна высокая связь микроэлементного состава нефтей с химическим составом нижней коры. Эти данные указывают на важность глубинных факторов нефтидгенеза. Но для глубоких УВ месторождений характерны и относительно пониженные температуры, чего не должно наблюдаться вблизи восходящих мантийных флюидных потоков. Возможное решение проблемы достигается использованием комплекса геохимических и геотектонических данных, и ГИС технологий. Прилегающие к месторождениям разломы часто оказываются зонами поддвигов, а характер приконтурных вод как глубинных и одновременно низкоминерализованных дает основание трактовать их только как молодые воды – продукты процессов дегидратации, протекающих на уровне нижней коры. Перечисленные эмпирические взаимосвязи получают естественную интерпретацию в модели массивированного нефтегенеза по схеме проточного неравновесного реактора, являющейся конкретизацией известной флюидодинамической модели нефтегенеза Б.А.Соколова. Согласно модели проточного реактора, для реализации массивированного нефтегенеза предпочтительны зоны глубоких коровых поддвигов, куда рассеянное органическое вещество подается как по конвейерной ленте, и где реакционный объем промывается восходящими слабоминерализованными водами, образующимися при реакциях дегидратации, протекающих в более глубоких областях зон поддвигов. Заметим, что похожие, но менее глубокие и не концентрированные процессы характерны и для областей быстрого осадконакопления. Согласно эмпирически выявленных особенностей зон развития глубоких УВ месторождений с положениями модели проточного реактора дает основание предложить комплекс признаков для поиска глубоких УВ месторождений. Приведенный пример является иллюстрацией как системный комплексный подход помогает решать практически важную задачу.

## **Karst hazard in the vicinity of the Kurtata Gorge (Republic of North Ossetia-Alania)**

A. Avdonina, X. Kochubey  
Geophysical Center RAS, Moscow, Russia

The widespread distribution of limestone in the Republic of North Ossetia-Alania predetermined the active development of karst on its territory. Karst research is an important scientific task, the solution of which is necessary to ensure human safety. Based on the results of field research carried out in 2023 and interpretation of high-resolution satellite images (GeoEye and WorldView-1,2), the parameters and distribution zones of karst subsidence in the Kurtatinsky Gorge were identified. A corresponding map was compiled using a systems analysis of the karst hazard based on structural, geological and geomorphological data. The highest density of karst subsidence (15-20 subsidence per 0.01 km<sup>2</sup>) is observed on the rounded, flattened summit surfaces of the Bakhty-Laparyrag and Khoshkharanrag ridges, composed of Cretaceous rocks of the Barremian stage (K1br). On the similarly geologically structured Khosavdrag ridge with a more dissected topography, subsidence is sporadic and located mainly on the structural steps of the slopes. In the lower flattened parts of the slopes, karst subsidence is not observed due to the active accumulation of demolished loose clastic material. The diameter of individual karst subsidences ranges from 5–7 to 60 m, the depth does not exceed 4 m, and there is a wide distribution of subsidences associated with small erosion forms. Almost all subsidences are located north of the watershed line of the Kurtata Gorge, reducing the danger of karst for the study area. However, due to high density of subsidence, the formation of a summit interception is possible due to the activation of regressive erosion in upper reaches of small erosion forms. The territory was divided into five categories based on the following factors: rock composition and parameters of their occurrence, surface slope, density of karst subsidence. The greatest karst hazard is typical for the Bakhty-Laparyrag and Khoshkharanrag ridges. The settlements of Gorny Kartsa and Gusyr are located in the safe zone. The formation and development of karst in the Kurtata Gorge is largely influenced by the nature of the surface relative to composition of the rocks. Planning and implementation of measures to protect infrastructure facilities is required. Primary focus should be placed on the safety of the road network of the Kurtata Gorge, which crosses an area of high karst danger.

---

## **Карстовая опасность окрестностей Куртатинского ущелья (Республика Северная Осетия – Алания)**

А. М. Авдони́на, К. А. Кочубей  
Геофизический центр РАН, Москва, Россия

Повсеместное распространение известняков в Республике Северная Осетия-Алания предопределило активное развитие карста на ее территории. Исследование карста является научной задачей, решение которой необходимо для обеспечения безопасности человека. По результатам полевых исследований 2023 года и в ходе дешифрирования космоснимков высокого разрешения (Landsat, Sentinel, GeoEye и WorldView-1,2) были выявлены параметры и зоны распространения карстовых просадок Куртатинского ущелья. Проведен системный анализ карстовой опасности по структурно-геологическим и геоморфологическим данным, в результате которого составлена соответствующая карта. Наибольшая плотность карстовых просадок (15-20 просадок на 0,01 км<sup>2</sup>) отмечается на округлых выположенных вершинных поверхностях хр. Бахты-Лапарыраг и Хошхаранраг, сложенных с поверхности меловыми породами барремского яруса (K1br). На хр. Хосавдраг с аналогичным геологическим строением, но с более расчлененным рельефом просадки единичны и расположены преимущественно на структурных ступенях склонов. В нижних выположенных частях склонов карстовые просадки не отмечаются вследствие активной аккумуляции снесенного рыхлообломочного материала. Диаметр отдельных карстовых просадок составляет от 5–7 до 60 м, глубина не превышает 4 м, отмечается широкое распространение просадок, приуроченных к малым эрозионным форм. Почти все просадки расположены севернее линии водораздела Куртатинского ущелья, и это снижает опасность карста для исследуемой территории. Но по причине большой плотности просадок именно в верховьях малых эрозионных форм возможно формирование вершинного перехвата вследствие активизации регрессивной эрозии. Территория была разделена на пять категорий на основе следующих факторов: состав горных пород и параметры их залегания, крутизна, плотность карстовых просадок. Наибольшая карстоопасность характерна для хребтов Бахты-Лапарыраг и Хошхаранраг. Населенные пункты п. Горный Карца и п. Гусыр расположены в безопасной зоне. На образование и развитие карста в Куртатинском ущелье в большей степени оказывает влияние характер рельефа относительно состава горных пород. Требуется планирование и реализация мер по защите инфраструктурных объектов. Особое внимание следует уделять безопасности дорожной сети Куртатинского ущелья, пересекающей область повышенной карстоопасности.

## **Geomechanical studies of rock massifs for special objects**

D. Akmatov

Geophysical Center RAS, Moscow, Russia

Geomechanical studies of rock massifs play a crucial role in the design and construction of special facilities, such as underground radioactive waste storage facilities, underground laboratories, large infrastructure projects and others. These studies are aimed at comprehensive assessment of physical, mechanical and hydrogeological properties of rock masses, determination of their stability under the influence of various loads and external factors, as well as development of recommendations for safe operation of these facilities. The research uses methods of geological mapping, laboratory and field tests, rock quality rating and numerical modelling of geomechanical processes. The data obtained allow predicting the behaviour of the rock massif under various scenarios, assessing the risks of dangerous geomechanical processes and developing measures to prevent them. The results of geomechanical studies provide a reliable basis for making design decisions aimed at ensuring long-term stability and safety of special facilities. An integrated approach to studying rock massifs makes it possible to minimise risks and optimise the performance of structures, which is particularly important in the context of long-term storage of radioactive waste and other critical applications.

---

## **Геомеханические исследования скальных массивов для специальных объектов**

Д. Ж. Акматов

Геофизический центр РАН, Москва, Россия

Геомеханические исследования скальных массивов играют решающую роль в проектировании и строительстве специальных объектов, таких как подземные хранилища радиоактивных отходов, подземные лаборатории, крупные инфраструктурные проекты и другие. Эти исследования направлены на всестороннюю оценку физико-механических и гидрогеологических свойств скальных пород, определение их устойчивости под воздействием различных нагрузок и внешних факторов, а также на разработку рекомендаций по безопасной эксплуатации этих объектов. В ходе исследований используются методы геологического картирования, лабораторных и полевых испытаний, рейтинговые оценки качества горных пород и численное моделирование геомеханических процессов. Полученные данные позволяют прогнозировать поведение скального массива при различных сценариях, оценивать риски возникновения опасных геомеханических процессов и разрабатывать меры по их предотвращению. Результаты геомеханических исследований обеспечивают надежную основу для принятия проектных решений, направленных на обеспечение долговременной устойчивости и безопасности специальных объектов. Комплексный подход к изучению скальных массивов позволяет минимизировать риски и оптимизировать эксплуатационные характеристики сооружений, что особенно важно в контексте длительного хранения радиоактивных отходов и других критически важных применений.

## Modelling of stress-strain state of epicentral zones of strong crustal earthquakes

V. Morozov, A. Manevich  
Geophysical Center RAS, Moscow, Russia

Modelling of the stress-strain state (SS) of a number of strong continental earthquakes with magnitudes greater than M 6 has allowed us to establish general recurring regularities between modelling results and earthquake parameters. In this case, structural tectonic schemes of epicentral regions of strong earthquakes, i.e., fault tectonics, which gives an idea of the spatial orientation of tectonic faults, including the parameters of the geological environment and active regional tectonic stress fields, are taken as 'reliable' geological data. Then it is necessary to use a priori (assumed) ideas about the parameters of tectonic faults and the magnitude of tectonic stresses used in setting the boundary conditions. For modelling the SS of the epicentral zone before and after the earthquake, the structural tectonic scheme of the earthquake fault tectonics and the model of the seismic generating layer with a thickness of 20 km were used. The finite element method was used to construct stress intensity and principal stress maps to analyse the SS before and after earthquakes. On this basis, a model for estimating the seismic moment  $M_0$  and the mechanism of rupture during its propagation is proposed. Based on the analysis of the results of modelling of the stress-strain state, strong crustal earthquakes with coseismic geophysical and geodetic data, we propose a model of earthquake rupture formation. It is shown that the rupture originates in the conditions of intersection of the critical isobar of stress intensity  $\sim 30\text{--}35$  MPa with the area of the main stress ratio  $\alpha > 3\div 4$ . The rupture from the 'focus' of the earthquake propagates due to the release of accumulated potential energy in the zones of high stress intensity. The direction of the rupture corresponds to the dominant direction of the main tectonic faults, and its extent is determined by two zones of high stress intensity. The obtained results also provide a basis for directed geological and geophysical studies in the area of the proposed hypocentres in order to search for earthquake precursors oriented to the operational forecast of a catastrophic event.

---

## Моделирование напряженно-деформированного состояния эпицентральных зон сильных коровых землетрясений

В. Н. Морозов, А. И. Маневич  
Геофизический центр РАН, Москва, Россия

Моделирование напряженно-деформированного состояния (НДС) ряда сильных континентальных землетрясений с магнитудой больше М 6 позволило установить общие повторяющиеся закономерности между результатами моделирования и параметрами землетрясений. При этом в качестве «достоверных» геологических данных принимаются структурно-тектонические схемы эпицентральных районов сильных землетрясений, то есть разломная тектоника, дающая представление о пространственной в плане ориентации тектонических разломов, включая параметры геологической среды и действующие региональные поля тектонических напряжений. Затем приходится использовать априорные (предполагаемые) представления о параметрах тектонических разломов и величине тектонических напряжений, используемых при задании граничных условий. Для моделирования НДС эпицентральной зоны до и после землетрясения использована структурно-тектоническая схема разломной тектоники землетрясения и модель сейсмогенерирующего слоя мощностью 20 км. Метод конечных элементов использован для построения карт интенсивности напряжений и главных напряжений для анализа НДС до и после землетрясений. На этой основе предложена модель оценки сейсмического момента  $M_0$  и механизма разрыва при его распространении. На основе анализа результатов моделирования напряженно-деформированного состояния, сильных коровых землетрясений с косейсмическими геофизическими и геодезическими данными нами предлагается модель формирования разрыва землетрясения. Показано, что разрыв зарождается в условиях пересечения критической изобары интенсивности напряжений  $\sim 30\text{--}35$  МПа с областью отношения главных напряжений  $\alpha > 3\div 4$ . Разрыв из «фокуса» землетрясения распространяется за счет сброса накопленной потенциальной энергии в зонах высокой интенсивности напряжений. Направление разрыва соответствует доминирующему направлению главных тектонических разломов, а его протяженность определяется двумя зонами высокой интенсивности напряжений. Полученные результаты дают основание для также направленных геолого-геофизических исследований в области предполагаемых гипоцентров с целью поиска предвестников землетрясения, ориентированных на оперативный прогноз катастрофического события.

## **Geodynamic model of the northern part of the Nizhnekansky massif**

R. Shevchuk

Geophysical Center RAS, Moscow, Russia

Global and domestic experience accumulated in recent decades confirms that the use of global navigation satellite system (GNSS) has proved to be very effective in detecting even small displacements of the Earth's surface caused by both tectonic and anthropogenic impacts. To ensure the effectiveness of GNSS monitoring, it is necessary to constantly improve the process of data collection and processing, including the optimisation of the geodynamic network structure, operational control of the accuracy of field measurements, as well as the use of modern algorithms for deformation processing and analysis. The theoretical provisions for calculations and modelling of deformation fields based on GNSS data obtained at the Nizhne-Kansk geodynamic polygon, characterising dilatation and pure shear deformations and their dynamics in time, have been developed. A technique was also developed to control the accuracy of GNSS measuring equipment and improve the quality of measurements, especially in the conditions of physical and geographical peculiarities of the Nizhne-Kansk massif. This technique makes it possible to identify incorrect nominal parameters of measuring devices. In the context of the modernisation of the geodynamic polygon of the Nizhne-Kansky massif, the network of satellite GNSS observations was expanded to 39 points, including the establishment of rock geodetic centres. This expansion of the network made it more optimal in terms of the finite element shape, which contributes to an increase in the accuracy of determining the earth surface deformations and, consequently, the geo-ecological safety of RAW disposal.

---

## **Геодинамическая модель северной части Нижнеканского массива**

Р. В. Шевчук

Геофизический центр РАН, Москва, Россия

Мировой и отечественный опыт, накопленный в последние десятилетия, подтверждает, что применение глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) оказалось очень эффективным для обнаружения даже небольших смещений земной поверхности, вызванных как тектоническими, так и техногенными воздействиями. Для обеспечения эффективности ГНСС-мониторинга необходимо постоянно совершенствовать процесс сбора данных и их обработки, включая оптимизацию структуры геодинамической сети, оперативный контроль точности полевых измерений, а также применение современных алгоритмов обработки и анализа деформаций. Разработаны теоретические положения расчетов и моделирования полей деформаций по ГНСС-данным, полученных на НижнеКанском геодинамическом полигоне, характеризующих деформации дилатации и чистого сдвига, и динамики их изменения во времени. Также была разработана методика для контроля точности измерительного оборудования ГНСС и улучшения качества измерений, особенно в условиях физико-географических особенностей Нижне-Канского массива. Эта методика позволяет выявлять некорректные номинальные параметры измерительных устройств. В контексте модернизации геодинамического полигона НижнеКанского массива была расширена сеть спутниковых ГНСС-наблюдений до 39 пунктов, включая закладку скальных геодезических центров. Это расширение сети сделало ее более оптимальной с точки зрения формы конечных элементов, что способствует увеличению точности определения деформаций земной поверхности и, соответственно геоэкологической безопасности захоронения РАО.

## **Geodynamic zoning on the basis of system analysis of geological and geophysical information of the territory of the underground research laboratory in Krasnoyarsk Krai**

I. Losev

Geophysical Center RAS, Moscow, Russia

In order to assess the stability of the geological environment and its forecast for a period of more than 10 thousand years, the approach based on multistage system analysis of the data set is actively used in the world scientific practice. It allows us to identify the causes of uncertainties, outline optimal ways to overcome them and obtain reliable forecasts of the geodynamic regime on the basis of identifying fundamental geological and geodynamic regularities, even with a limited amount of geological and geophysical information. In this regard, the development of geodynamic zoning methodology based on a systematic approach is an urgent scientific task, which will allow to assess the stability of the geological environment and improve the reliability of justification of geo-ecological safety of high-level radioactive waste disposal at the 'Yeniseisky' site. In 2023, construction of shafts of the underground research laboratory (URL) was started at the site. According to international requirements, it is needed to make a final decision on the suitability of the rock mass for RAW disposal. However, it turned out that the data on geodynamic and tectonic stability of the region are characterised by incompleteness and incompleteness, and additional research is needed to overcome these uncertainties. The purpose of the work is to develop a methodology of geodynamic zoning of the 'Yeniseisky' site of the Nizhnekansky massif and adjacent territories by the degree of geodynamic stability on the basis of methods of system analysis of geological and geophysical data for geo-ecological justification of safety of high-level radioactive waste disposal. The methodology of geodynamic zoning with the use of new algorithms of system analysis has been developed, which allows to estimate the stability of structural tectonic blocks of the Earth crust in the areas of high-level radioactive waste disposal by classified and normalised geological and geophysical features. The efficiency of using the data normalisation algorithms in the analysis of the geological environment state variability functions was proved by the correlation analysis method. The results of the study allowed obtaining new fundamental knowledge about the stability of the geological environment necessary for assessing the possibility of geological disposal of RAW at the 'Yeniseisky' site. The proposed approaches of geodynamic zoning have good prospects for implementation at other hazardous industrial facilities, including those in the mining sector.

---

## **Геодинамическое районирование на основе системного анализа геолого-геофизической информации территории подземной исследовательской лаборатории в Красноярском крае**

И. В. Лосев

Геофизический центр РАН, Москва, Россия

Для оценки устойчивости геологической среды и ее прогнозе на период более 10 тыс. лет в мировой научной практике активно используется подход, основанный на многоэтапном системном анализе массива данных. Он позволяет выявить причины неопределенностей, наметить оптимальные пути их преодоления и получить достоверные прогнозные оценки о геодинамическом режиме на основе выявления фундаментальных геологических и геодинамических закономерностей, даже при ограниченном объеме геолого-геофизической информации. В этой связи, разработка методики геодинамического районирования на основе системного подхода является актуальной научной задачей, которая позволит оценить устойчивость геологической среды и повысить достоверность обоснования геоэкологической безопасности захоронения высокоактивных РАО на участке «Енисейский». В 2023 году на нем было начато строительство шахтных стволов подземной исследовательской лаборатории (ПИЛ). Согласно международным требованиям она необходима для принятия окончательного решения о пригодности породного массива для захоронения РАО. Однако оказалось, что данные о геодинамической и тектонической стабильности региона характеризуются неполнотой и незавершенностью, и необходимы дополнительные исследования по преодолению этих неопределенностей. Цель работы заключается в разработке методики геодинамического районирования участка «Енисейский» Нижнеканского массива и прилегающих территорий по степени геодинамической устойчивости на основе методов системного анализа геолого-геофизических данных для геоэкологического обоснования безопасности захоронения высокоактивных радиоактивных отходов. Разработана методика геодинамического районирования с использованием новых алгоритмов системного анализа, позволяющая по классифицированным и нормализованным геолого-геофизическим признакам выполнять оценку устойчивости структурных тектонических блоков земной коры в районах захоронения высокоактивных РАО. Эффективность использования алгоритмов нормализации данных при анализе функций изменчивости состояния геологической среды доказана методом корреляционного анализа. Результаты исследования позволили получить новые фундаментальные знания об устойчивости геологической среды, необходимые для оценки возможности геологического захоронения РАО на участке «Енисейский». Предложенные подходы геодинамического районирования имеют хорошие перспективы для внедрения на другие опасные производственные объекты, в том числе горно-добывающего сектора.

## **Use of NextGIS Web network GIS systems for analysis of geological data and identification of promising areas in the course of planning geological exploration for diamonds, base and noble metals**

E. Uvarova, A. Vakhrushev

Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, Moscow, Russia

Reproduction of the mineral resource base of the ABCM in the Russian Federation is one of the priority tasks determined by the 'Strategy for the Development of the Mineral Resource Base of the Russian Federation until 2035', the State Programme 'Socio-Economic Development of the Arctic Zone of the Russian Federation', the current version of the State Programme 'Reproduction and Use of Natural Resources' and other programme documents. One of the most important tasks of FGBU 'TSNIGRI' is scientific and methodological support of geological and exploration works (GEO) and formation of proposals for planning of GEO for diamonds, base and noble metals (ABCM). Effective exploration planning requires analysis of a large amount of information (results of completed exploration, information on deposits and occurrences, active licences, specially protected areas (SPNA), infrastructure) with spatial reference. Within the framework of the State Assignment specialists of FGBU 'TSNIGRI' on the basis of the basic ArcGis project created a network information resource 'Geological Exploration for Diamonds, Noble and Nonferrous Metals' for more accurate and quick solution of issues related to monitoring, scientific and methodological support, improving the efficiency of current and planning future geological exploration on the ABCM. The project was transferred to QGis using the SLYR module and then published to the NextGIS Web application for maps and geodata through the NextGIS Connect module, which allowed the project structure and map layout to be preserved. As a hardware and software platform for deployment of the resource, an ordinary productive computer with Astra Linux operating system (OS) was used. The components and software products necessary for NextGIS Web functioning are installed in the OS in accordance with the developer's documentation. NextGIS Web itself is deployed using the Docker software platform. The network information resource 'Geological Exploration for Diamonds, Noble and Nonferrous Metals' contains all the necessary information and allows to perform data analysis, solve tasks related to monitoring, scientific and methodological support, improving the efficiency of current and planning future geological exploration at ABMC in multi-user mode, which significantly speeds up the process and reduces the number of inaccuracies and technical errors.

---

## **Использование сетевых ГИС-систем NextGIS Web для анализа геологических данных и выделения перспективных участков в ходе планирования геолого-разведочных работ на алмазы, цветные и благородные металлы**

Е. А. Уварова, А. М. Вахрушев

«ЦНИГРИ», Москва, Россия

Воспроизводство минерально-сырьевой базы АБЦМ в Российской Федерации является одной из приоритетных задач, определяемой «Стратегией развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 г.», Государственной программой «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации», действующей редакцией Государственной программы «Воспроизводство и использование природных ресурсов» и другими программными документами. Одной из наиболее важных задач ФГБУ «ЦНИГРИ» является научно-методическое сопровождение геолого-разведочных работ (ГРР) и формирование предложений по планированию ГРР на алмазы, цветные и благородные металлы (АБЦМ). Для эффективного планирования ГРР необходим анализ большого объема информации (результатов завершённых ГРР, сведений о месторождениях и проявлениях, действующих лицензиях, особо-охраняемых территорий (ООПТ), инфраструктуры) с пространственной привязкой. В рамках работы по Государственному заданию специалистами ФГБУ «ЦНИГРИ» на основе базового проекта ArcGis создан сетевой информационный ресурс «Геолого-разведочные работы на алмазы, благородные и цветные металлы» для более точного и быстрого решения вопросов, связанных с мониторингом проведения, научно-методического сопровождения, повышения эффективности текущих и планирования будущих ГРР на АБЦМ. Проект был перенесен в QGis с помощью модуля SLYR и затем опубликован в Веб-приложении для карт и геоданных NextGIS Web через модуль NextGIS Connect, что позволило сохранить структуру проекта и оформление карты. В качестве программно-аппаратной платформы для развертывания ресурса использован обычный производительный компьютер с операционной системой (ОС) Astra Linux. В ОС установлены необходимые для функционирования NextGIS Web компоненты и программные продукты, в соответствии с документацией разработчика. Непосредственно NextGIS Web развернут с помощью программной платформы Docker. Сетевой информационный ресурс «Геолого-разведочные работы на алмазы, благородные и цветные металлы» содержит всю необходимую информацию и позволяет проводить анализ данных, решать задачи, связанные с мониторингом проведения, научно-методического сопровождения, повышения эффективности текущих и планирования будущих ГРР на АБЦМ в многопользовательском режиме, что значительно ускоряет процесс и уменьшает количество неточностей и технических ошибок.

## Changes in the seismic regime at engineering facilities under the influence of natural and man-made factors

B. Trifonov<sup>1</sup>, S. Milanovskiy<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Sergeev Institute of Environmental Geoscience RAS, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Schmidt Institute of physics of the Earth RAS, Moscow, Russia

Experience in studying the consequences of strong earthquakes, as well as analyses of the results of IDA works, show that the magnitude and nature of seismic effects are determined, in addition to regional ones, by numerous local features of the geological environment, which are subject to temporal changes. Field studies on soil complexes of the Imereti Lowland for the construction of Olympic facilities (OO) allowed to construct maps-schemes of seismic design with changing seismic conditions. In 1986-1996 during the preparation of the territory the removal of soils of III category was carried out, which improved seismic conditions at the site. The 2007-2008 maps with reduced seismicity were constructed for the design of the PA in the new conditions. The 2014-2021 maps show deterioration of seismic conditions due to technogenesis upon completion of construction and operation of the PA. At the site of Balakovo NPP seismic properties of soils changed for more than 30 years of its existence from 1978-1980 to 2019. From the beginning of design to construction their deterioration occurred during levelling of the territory to the planning level with replacement of dense natural soils with bulk soils of III category. Construction of reactor units 2004-2012 with foundations in the form of slabs and compaction of crushed stone pads under them resulted in lower seismicity at the site. In 7 years after the start of operation by 2019 seismic conditions have changed for the worse ( $V_s$  decreased from 450m/s to 300m/s) due to partial dissolution of the crushed stone base at groundwater rise, which may lead to further violation of the stability of the bearing capacity of the foundation slabs, as well as to deterioration of seismic conditions. Using the example of the Bilibino NPP built on permafrost rocks, it is shown that the elastic properties of rocky frozen soils, usually fractured in the upper part of the section, depend, among other things, on the cryogenic state of the rock. Changes in the seismic properties of frozen rock soils thawed under the influence of the main structures of reactor units for 30 years have been analysed. It is shown that during this time, there was an increase in the seismic intensity increment by +0.3 points on average with respect to the initial conditions. The values of seismic impact characteristics (peak ground accelerations PGA and values of response spectra Sa) have changed accordingly. The results of the research allow for a reasonable approach to forecasting changes in the seismic situation at IDA sites.

---

### Изменения сейсмического режима на инженерных объектах под действием природно-техногенных факторов

Б. А. Трифонов<sup>1</sup>, С. Ю. Милановский<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Институт геоэкологии им. Е. М. Сергеева РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup> Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

Опыт изучения последствий сильных землетрясений, а также анализ результатов работ по СМР свидетельствуют о том, что величина и характер сейсмического воздействия определяются, помимо региональных, многочисленными локальными особенностями геологической среды, которые подвержены и временным изменениям. Полевые исследования на грунтовых комплексах Имеретинской низменности под строительство олимпийских объектов(ОО) позволили построить карты-схемы СМР с изменяющимися сейсмическими условиями. В 1986-1996гг. при подготовке территории проведено удаление грунтов III категории, послужившие улучшению сейсмических условий на площадке. Карты 2007-2008гг. с пониженной сейсмичностью построены для проектирования ОО в новых условиях. На картах 2014-2021гг. отмечено ухудшение сейсмических условий, обусловленное техногенезом по завершению строительства и эксплуатации ОО. На площадке Балаковской АЭС сейсмические свойства грунтов менялись за более чем 30 лет ее существования начиная с 1978-1980гг. по 2019год. От начала проектирования и до строительства произошло их ухудшение при выравнивании территории до планировочной отметки с заменой плотных естественных грунтов на насыпные III категории. Строительство реакторных блоков 2004-2012гг. с фундаментами в виде плит и уплотнения щебенистых подушек под ними привело к понижению сейсмичности на площадке. Через 7 лет после начала эксплуатации к 2019 г изменились сейсмические условия в худшую сторону ( $V_s$  снизилась с 450м/с до 300м/с) из-за частичного растворения щебенистого основания при поднятие подземных вод, что может привести в дальнейшем к нарушению устойчивости несущей способности фундаментных плит, а также к ухудшению сейсмических условий. На примере Билибинской АЭС, построенной на многолетнемерзлых породах, показано, что упругие свойства скальных мерзлых грунтов, как правило, трещиноватых в верхней части разреза, зависят в том числе и от криогенного состояния породы. Проанализированы изменения сейсмических свойств мерзлых скальных грунтов, оттаявших под воздействием основных сооружений реакторных блоков за 30 лет. Показано, что за это время, произошло увеличение приращения сейсмической интенсивности в среднем на +0.3 балла относительно первоначальных условий. Изменились соответственно и значения характеристик сейсмических воздействий (пиковые ускорения грунта PGA и величины спектров реакции Sa). Результаты исследований позволяют обосновано подходить к прогнозированию изменений сейсмической ситуаций на площадках СМР.

## **General theory and technology of graphical structuring and representation of knowledge as an effective tool for system analysis**

V. Melnikov, A. Linkov

Earth Cryosphere Institute, Tyumen Scientific Centre SB RAS, Tyumen, Russia

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

The authors propose a set of information technologies of system analysis based on the graphical language of conceptual modelling of knowledge, and the general theory and technology of their graphical structuring and representation, implemented using the capabilities of Microsoft Excel, and have no analogues in this subject area. A special place in this complex is occupied by technologies of graphic conceptual modelling of problem situations and causal versions of their occurrence. Their universality allows, having started the process with an unclear, often intuitive idea of the problem expressed in the form of a certain judgement, to complete it by creating a graphical model of an expert system (ES) of knowledge and database. These technologies have undergone the necessary approbation in graphical conceptual modelling of complex objects of activity, in the sphere of economics and management, designing of organisational systems and regulation of managerial activity; and also in cognitive science and knowledge engineering in solving problems of their non-machine extraction, graphical structuring and representation as a possible alternative to technologies of creating cognitive maps and models, frame models and semantic networks. The general instrumental basis of this complex is a set of methods and means of graphical structuring and representation of knowledge, providing identification of the volume and content of concepts, based on the use of two types of oriented tree graph (ODG) with arbitrary and rigidly specified structure of classification features. And also the diagonal information graphical matrix (digmata) of Linkov as a universal way of structuring knowledge and its representation in a uniform graphical form. The possibility of mutual transformation of ODG and digmat solves the problem of aggregation of their unlimited set into a single whole – graphical models of knowledge bases of any complex objects of activity. The logical completeness of this complex is connected with the necessity to develop a graphical editor capable of operating with the models of knowledge bases and data created in GYAKM. The technologies are illustrated by the complex of graphic models on the attached electronic disc and USB flash drive.

---

## **Общая теория и технология графического структурирования и представления знаний как эффективный инструмент системного анализа**

В. П. Мельников, А. С. Линков

Институт криосферы Земли ТНЦ СО РАН, Тюмень, Россия

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия

Авторами предлагается комплекс информационных технологий системного анализа, основанных на графическом языке концептуального моделирования знаний, и общей теории и технологии их графического структурирования и представления, реализуемых с использованием возможностей программы Microsoft Excel, и не имеющих аналогов в данной предметной области. Особое место в этом комплексе занимают технологии графического концептуального моделирования проблемных ситуаций, и причинных версий их возникновения. Их универсальность, позволяет, начав процесс с неясного, зачастую, интуитивного представления о проблеме, выраженного в виде определённого суждения, завершить его созданием графической модели экспертной системы (ЭС) знаний и базы данных. Эти технологии прошли необходимую апробацию в графическом концептуальном моделировании сложных объектов деятельности, в сфере экономики и управления, проектировании организационных систем и регламентации управленческой деятельности; а также в когнитологии и инженерии знаний в решении проблем их немашинного извлечения, графического структурирования и представления, как возможной альтернативы технологиям создания когнитивных карт и моделей, фреймовых моделей и семантических сетей. Общую инструментальную основу данного комплекса составляет совокупность способов и средств графического структурирования и представления знаний, обеспечивающих идентификацию объема и содержания понятий, основанных на использовании двух видов ориентированного древовидного графа (ОДГ) с произвольной и жестко заданной структурой классификационных признаков. А также диагональной информационной графической матрицы (дигматы) Линкова, как универсального способа структурирования знаний и их представления в единообразной графической форме. Возможность взаимного преобразования ОДГ и дигмат решает проблему агрегирования их неограниченного множества в единое целое – графические модели баз знаний любых сложных объектов деятельности. Логическая завершённость данного комплекса связана с необходимостью разработки графического редактора, способного оперировать с моделями баз знаний и данных, создаваемыми в ГЯКМ. Технологии иллюстрируются комплексом графических моделей на прилагаемом электронном диске и USB флэш-накопителе.

## **Analysis of the relationship between seismicity of the Lena-Anabar Trough region and the peculiarities of its deep structure based on a set of geophysical data**

E. Sokolova<sup>1,2</sup>, A. Kulyandina<sup>3</sup>, A. Filippova<sup>4</sup>

<sup>1</sup> All-Russian research geological oil institute (VNIGNI), Moscow, Russia

<sup>2</sup> Schmidt Institute of physics of the Earth RAS, Moscow, Russia

<sup>3</sup> Yakutsk Division of Geophysic Survey SB RAS, Yakutsk, Russia

<sup>4</sup> Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radiowave Propagation RAS, Moscow, Russia

A review of seismicity of the Lena-Anabar Trough and adjacent territories (Northwestern Yakutia) recorded during the instrumental period of observations (1963-2022) by stationary stations of the Yakutsk branch of the FIC EGS RAS is presented. The seismicity distribution is analysed in connection with the known tectonic setting, spatial characteristics of the magnetic and gravity fields, as well as with the peculiarities of the deep structure of the region revealed by the results of 3D spectral inversions of potential fields and 2D inversions of profile magnetotelluric data based on the corresponding seismic sections. The analysis uses potential field maps (generalisation of 1:200,000 scale survey materials) and oil and gas prospecting MTZ data from a network of regional MOGT2D profiles. The main tool for detecting anomalous characteristics of geophysical fields, as well as elements of the depth structure in their correlation with the spatial (and partially known depth) picture of seismicity distribution is the modern GIS complex INTEGRO (VNIGNI, Geoinformatics Department). When detecting and verifying these correlations, an integrated approach using geophysical fields of different nature and a variety of their morphological and statistical parameters was very important, which allowed us to identify with sufficient certainty seismic generating structures, both separate and forming WHO zones (e.g., within the seismically most active section of the Lena-Anabar marginal suture in the Lena River delta). It is shown that the increased seismicity mainly corresponds to the areas of anomalous gradients of potential fields and zones of transition from isolating to conducting areas on geoelectric sections, diagnosing heterogeneities of geological structure. Using special methods of local linear anomalies extraction, morphological characteristics of potential fields were established, which can be associated with previously unknown seismotectonic elements in the most submerged part of the Lena-Anabar trough – fault zones of north-west strike. Earthquake source mechanisms have been determined for some of the most intense, confidently recorded events confined to the identified seismogenic structures.

---

## **Анализ связи сейсмичности региона Лено-Анабарского прогиба с особенностями его глубинного строения по комплексу геофизических данных**

Е. Ю. Соколова<sup>1,2</sup>, А. С. Куляндина<sup>3</sup>, А. И. Филиппова<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт (ВНИГНИ), Москва, Россия

<sup>2</sup> Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

<sup>3</sup> Единая геофизическая служба РАН, Якутский филиал, Якутск, Россия

<sup>4</sup> Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН, Москва, Россия

Представлен обзор сейсмичности Лено-Анабарского прогиба и сопредельных территорий (Северо-Западная Якутия), зарегистрированной за инструментальный период наблюдений (1963-2022 гг.) стационарными станциями Якутского филиала ФИЦ ЕГС РАН. Распределение сейсмичности анализируется в связи с известной тектонической обстановкой, пространственными характеристиками магнитного и гравитационного полей, а также с особенностями глубинного строения региона, выявленными по результатам 3D спектральных инверсий потенциальных полей и 2D инверсий профильных магнитотеллурических данных при опоре на соответствующие сейсмические разрезы. В анализе используются карты потенциальных полей (обобщение материалов съемок масштаба 1:200 000) и данные нефтегазопроисковых МТЗ по сети региональных профилей МОГТ2D. Основным инструментом выявления аномальных характеристик геофизических полей, а также элементов глубинной структуры в их корреляции с пространственной (и частично известной глубиной) картиной распределения сейсмичности служит современный комплекс ГИС INTEGRO (ВНИГНИ, отделение Геоинформатики). При обнаружении и верификации этих корреляционных связей очень важным оказался интегрированный подход с использованием геофизических полей разной природы и многообразия их морфологических и статистических параметров, который позволил с достаточной определенностью вывить сейсмогенерирующие структуры, как отдельные, так и формирующие зоны ВОЗ (например, в пределах сейсмически наиболее активного участка Лено-Анабарского краевого шва в дельте р. Лены). Показано, что повышенная сейсмичность, главным образом, отвечает областям аномальных градиентов потенциальных полей и зонам перехода от изолирующих к проводящим участкам на геоэлектрических разрезах, диагностирующим неоднородности геологического строения. С помощью специальных методов выделения локальных линейных аномалий установлены морфологические характеристики потенциальных полей, которые можно связать с ранее неизвестными сеймотектоническими элементами в наиболее погруженной части Лено-Анабарского прогиба – разломными зонами северо-западного простираения. Для некоторых наиболее интенсивных, уверенно зарегистрированных событий, приуроченных к выявленным сейсмогенным структурам, определены механизмы очагов землетрясений.

## **Geomagnetic observations to account for variations in the external magnetic field during directional and horizontally oriented drilling**

V. Petrov

Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radiowave Propagation RAS, Moscow, Russia

Over the last decades, directional and horizontal directional drilling has become increasingly common in the oil and gas industry, where many wells are drilled in different directions in one area. The main instrument for determining the drilling direction in the horizontal plane is a ferro-probe magnetometer. To convert magnetic azimuth to geographic azimuth, the magnetic declination value, which is usually obtained from magnetic field models, is used. However, the magnetic field experiences variations associated with periodic and non-periodic geomagnetic disturbances created by currents in the Earth's ionosphere and magnetosphere. In calm conditions, the amplitude of declination variations has a value of 5-10 angular min. but in perturbed conditions it can reach several degrees. In this connection, the question of accounting for these variations in real time has long been raised. For this purpose, attempts are made to build models of such variations (HDGM RT), but in the case of strong geomagnetic variations it is impossible to create such models without additional real-time data. The second method has long been used by Western companies – installation of special magnetic observatories. Now domestic companies are beginning to think about the creation of such observatories. The report considers the main domestic and foreign instruments necessary for the creation of such observatories and the possibilities of their purchase or manufacture and the requirements for the magnetic observatory itself.

---

## **Геомагнитные наблюдения для учета вариаций внешнего магнитного поля при наклонном и горизонтально направленном бурении**

В. Г. Петров

Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН, Москва, Россия

Последние десятилетия в нефтегазовой отрасли все более широко применяется наклонное и горизонтально направленное бурение скважин, когда на одном участке бурятся много скважин в различных направлениях. Основным прибором для определения направления бурения в горизонтальной плоскости является феррозондовый магнитометр. Для пересчета магнитного азимута в географический используется значение магнитного склонения, которое обычно получают из моделей магнитного поля. Однако магнитное поле испытывает вариации, связанные с периодическими и непериодическими геомагнитными возмущениями, создаваемые токами в ионосфере и магнитосфере Земли. В спокойных условиях амплитуда вариаций склонения имеет величину 5-10 угловых мин., но в возмущенных может достигать нескольких градусов. В связи с этим уже давно стоит вопрос об учете этих вариаций в реальном времени. Для этого делаются попытки построения моделей таких вариаций (HDGM RT), но в случае сильных геомагнитных вариаций создать такие модели без дополнительных данных реального времени невозможно. Второй способ уже давно применяемый западными компаниями – установка специальных магнитных обсерваторий. Сейчас и отечественные компании начинают задумываться о создании таких обсерваторий. В докладе рассмотрены основные отечественные и зарубежные приборы, необходимые для создания таких обсерваторий и возможности их приобретения или изготовления и требования к самой магнитной обсерватории.

## Calculation of frequency characteristics of geomagnetic signals based on the method of local approximation models

V. Getmanov<sup>1,2</sup>, V. Pilipenko<sup>2,1</sup>, D. Stukov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Geophysical Center RAS, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Schmidt Institute of physics of the Earth RAS, Moscow, Russia

We propose a method of local approximation models for calculating the frequency characteristics of nonstationary geomagnetic signals - frequency functions and frequency derivative functions. As a rule, natural signals are noisy, multifrequency, nonstationary in amplitude and frequency and with slow trends of spectral characteristics. Basically, the estimates of frequency characteristics of signals are made on the basis of the discrete Fourier transform method. However, this method for non-stationary signals is not fully effective due to the limitations associated with its resolution. An alternative to it can be the method of nonlinear multi-parameter models and implementation of solutions on its basis by means of optimisation procedures, which does not always lead to successful results. The proposed new method of local approximation models includes two-stage approximation procedures. In the first stage, local intervals are assigned at which the original signal can be considered quasi-stationary. At the same time, systems of local approximation nonlinear models are used that allow for simplified optimisation. On the basis of local models, the estimates of non-stationary signal parameters are calculated. At the second stage the reduction of errors in calculations of the first stage is realised on the basis of sliding piecewise polynomial models and weighted averaging. As an example, we consider geomagnetic pulsations of the Pc1 range ('pearls') from data of the SDY observatory (Greenland), which are a series of short frequency modulated wave packets. Piecewise sinusoidal functions with piecewise linear additive trends were applied as local models. The construction of a system of local approximation models was realised and non-stationary parametric amplitude, frequency and trend functions were evaluated. Thus, the frequency dispersion of the pulsation packets Ps1 was reliably calculated.

---

## Вычисление частотных характеристик геомагнитных сигналов на основе метода локальных аппроксимационных моделей

В. Г. Гетманов<sup>1,2</sup>, В. А. Пилипенко<sup>2,1</sup>, Д. А. Стуков<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Геофизический центр РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup> Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

Предлагается метод локальных аппроксимационных моделей для вычисления частотных характеристик нестационарных геомагнитных сигналов – функций частоты и функций производной частоты. Природные сигналы, как правило, являются зашумлёнными, многочастотными, нестационарными по амплитуде и частоте и с медленными трендами спектральных характеристик. В основном, оценки частотных характеристик сигналов производятся на основе метода дискретного преобразования Фурье. Однако, этот метод для нестационарных сигналов не в полной мере эффективен из-за ограничений, связанных с его разрешающей способностью. Альтернативой ему может служить метод нелинейных многопараметрических моделей и реализации на его основе решений с помощью оптимизационных процедур, что не всегда приводит к успешному получению результатов. Предлагаемый новый метод локальных аппроксимационных моделей включает двухэтапные аппроксимационные процедуры. На первом этапе назначаются локальные интервалы, на которых исходный сигнал можно считать квазистационарным. При этом используются системы локальных аппроксимационных нелинейных моделей, допускающих упрощение оптимизации. На основе локальных моделей вычисляются оценки нестационарных параметров сигналов. На втором этапе реализуется снижение погрешностей в вычислениях первого этапа на основе скользящих кусочно-полиномиальных моделей и взвешенного усреднения. В качестве примера рассматриваются геомагнитные пульсации диапазона Pc1 («жемчужины») по данным обсерватории SDY (Гренландия), которые представляют собой серии коротких частотно модулированных волновых пакетов. В качестве локальных моделей были применены кусочно-синусоидальные функции с кусочно-линейными аддитивными трендами. Реализовано построение системы локальных аппроксимационных моделей и оценены нестационарные параметрические амплитудные, частотные и трендовые функции. Тем самым была надежно рассчитана частотная дисперсия пакетов пульсаций Pc1.

## **Modelling of pedestal magnetic field distribution at the magnetic observatory**

A. Gvozdev, S. Khomutov

Institute of cosmophysical research and radio wave propagation FEB RAS, Paratunka, Russia

Based on the analytical model of the magnetic field of a magnetised parallelepiped, the magnetic field of the pedestal, which is a standard element of pavilions at magnetic observatories, is calculated, taking into account the magnetic susceptibility of the soil and the material of the pedestal base. Models of magnetic field distribution in the pavilions of dIdD GSM-19FD and POS-4 magnetometers of the Geophysical Observatory 'Paratunka' IKIR FEB RAS are constructed. It is shown that the amplitude of the anomalous field in the dIdD pavilion can reach 20 nTl at the height of the device installation (40 cm). Compensation of magnetic moments of the pit and base plate in the POS-4 pavilion leads to relative homogeneity of the model field – no more than 0.5 nTl at the device installation height (1 m). The change of the field distribution before and after digging the model pit on the territory of the observatory was investigated and it was shown that the field change agrees with the ideas about two-layer distribution of soil magnetic properties with magnetic susceptibility 0.006 for the upper 70 cm layer and 0.009 for the lower layer. The annual variations of the baseline values for dIdD and POS-4 at the observatory are discussed from the position of the variability of the magnetic properties of the soil and pavilion construction elements. The model of the magnetic field of pedestals at the magnetic station 'Kurchatov' IGI DOE RK is constructed, comparison of the model with measurements in the absolute and variation pavilions of the station allowed to determine the magnetic susceptibility of the lime-cement mixture of pedestals. Thus it is shown that due to natural conditions or unsuccessful selection of materials of pedestals near them can form magnetic anomalies with amplitude up to 10-20 nTl.

---

## **Моделирование распределения магнитного поля постаментов на магнитной обсерватории**

А. Ю. Гвоздарев, С. Ю. Хомутов

Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Паратунка, Россия

На основе аналитической модели магнитного поля намагниченного параллелепипеда сделан расчёт магнитного поля постаментов, являющегося стандартным элементом павильонов на магнитных обсерваториях, с учётом магнитной восприимчивости почвы и материала основания постаментов. Построены модели распределения магнитного поля в павильонах магнитометров dIdD GSM-19FD и POS-4 Геофизической обсерватории "Паратунка" ИКИР ДВО РАН. Показано, что амплитуда аномального поля в павильоне dIdD может достигать 20 нТл на высоте установки прибора (40 см). Компенсация магнитных моментов ямы и плиты основания в павильоне POS-4 приводит к относительной однородности модельного поля – не более 0.5 нТл на высоте установки прибора (1 м). Исследовано изменение распределения поля до и после выкапывания модельной ямы на территории обсерватории и показано, что изменение поля согласуется с представлениями о двухслойном распределении магнитных свойств почвы при магнитной восприимчивости 0.006 для верхнего слоя мощностью 70 см и 0.009 для нижнего слоя. С позиции изменчивости магнитных свойств почвы и элементов конструкции павильонов обсуждаются годовые вариации базисных значений для dIdD и POS-4 на обсерватории. Построена модель магнитного поля постаментов на магнитной станции "Курчатов" ИГИ МЭ РК, сопоставление модели с измерениями в абсолютном и вариационном павильонах станции позволили определить магнитную восприимчивость известково-цементной смеси постаментов. Таким образом показано, что из-за природных условий или неудачного подбора материалов постаментов вблизи них могут формироваться магнитные аномалии амплитудой до 10-20 нТл.

## **Geoinformation system ‘Ecological and geochemical characteristics of Kamchatka rivers’**

E. Kalacheva, A. Dolgaya

Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

Active volcanoes and hydrothermal systems are potential environmental pollutants. Every day thermal waters carry several hundred tonnes of dissolved matter into the river network. Ashes from volcanic eruptions contain up to 20% of the total mass of water-soluble complexes and, once in the hydrosphere, can dramatically change the chemical composition of rivers and lakes, increase salinity and lower pH. Most watercourses of active volcanism areas are ‘contaminated’ with heavy metals and toxic compounds that form the local hydrochemical background. The environmental safety of Kamchatka has received a lot of attention in recent years. The most active and potentially dangerous natural zone of the region is the Eastern Volcanic Belt and the Central Kamchatka Depression, where the most active volcanoes of the peninsula are located. As part of the study of water conditions in the rivers of Kamchatka, the staff of the Institute of Volcanology and Seismology of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences conducts regime observations at points along the entire course of the largest river of the peninsula, the Kamchatka River, as well as at watercourses draining major volcanic-hydrothermal centres of the Kronotsky coast. The collected river water samples are analysed for the content of main anions, cations and trace elements. The main physical and chemical parameters (temperature, pH, mineralisation level) are also determined for each sample. All water samples are analysed for compliance with water quality requirements for water used for household and drinking needs, as well as water of water bodies of fishery significance. The obtained data are visualised on a web-map, which can be used to see the location of observation points, to access the results of analyses, and to clearly show the points where water quality exceeds MPC of harmful substances of various hazard classes. The geographic information system (GIS) was created using the NextGIS suite of technologies included in the Russian software register. At present, the GIS is at the stage of information accumulation and is available only for authorised users. In the future, the main analytical layers will be open to all. The work is carried out within the framework of the research and development project ‘Monitoring of the impact of volcanic and hydrothermal activity on the chemical composition of Kamchatka rivers’ (FWME-2024-0014).

---

## **Геоинформационная система «Эколого-геохимическая характеристика рек Камчатки»**

Е. Г. Калачева, А. А. Долгая

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия

Активные вулканы и гидротермальные системы являются потенциальными загрязнителями окружающей среды. Ежедневно термальными водами выносятся в речную сеть несколько сотен тонн растворенного вещества. Пеплы вулканических извержений содержат до 20% от общей массы водорастворимых комплексов и, попадая в гидросферу, могут кардинально менять химический состав рек и озер, увеличивать минерализацию и снижать pH. Большинство водотоков областей активного вулканизма «заражены» тяжелыми металлами и токсичными соединениями, формирующими местный гидрохимический фон. Экологической безопасности Камчатки в последние годы уделяется особенно много внимания. Наиболее активной и потенциально опасной природной зоной региона является Восточный вулканический пояс и Центральная Камчатская депрессия, где расположены самые активные вулканы полуострова. В рамках исследования состояния воды в реках Камчатки сотрудниками Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН ведутся режимные наблюдения в пунктах на всём протяжении течения крупнейшей реки полуострова – реки Камчатка, а также на водотоках, дренирующих крупные вулканогидротермальные центры Кроноцкого побережья. Отобранные пробы речной воды анализируются на содержание основных анионов, катионов и микроэлементов. Для каждой пробы также определяются основные физико-химические показатели (температура, pH, уровень минерализации). Все образцы воды анализируются на соответствие требованиям к качеству воды, используемой для хозяйственно-питьевых нужд, а также воды водных объектов рыбохозяйственного значения. Полученные данные визуализируются на web-карте, с помощью которой можно увидеть местоположение пунктов наблюдения, получить доступ к результатам анализов, а также наглядно показать пункты, в которых качество воды превышает ПДК вредных веществ различных классов опасности. Геоинформационная система (ГИС) создана с использованием комплекса технологий компании NextGIS, включенного в реестр российского ПО. В настоящее время ГИС находится на этапе накопления информации и доступна только для авторизованных пользователей. В дальнейшем основные аналитические слои станут открытыми для всех. Работа выполняется в рамках темы НИР ИВиС ДВО РАН «Мониторинг влияния вулканической и гидротермальной активности на химический состав рек Камчатки» (FWME-2024-0014).

## **Seismic monitoring of perennially frozen rocks of the Russian Arctic shelf**

V. Cheverda, G. Reshetova, E. Romenskiy  
Sobolev Institute of Mathematics SB RAS, Novosibirsk, Russia

We have constructed a symmetric hyperbolic thermodynamically consistent system of partial differential equations to describe the process of formation and propagation of seismic wave fields in a fluid-saturated deformable porous medium. In our opinion, this system is best suited for these purposes, allowing us to describe permafrost rock as an elastic deformable porous medium, the pores of which are filled with fluid that freezes when the temperature drops and gradually thaws when it rises. A very important aspect for modelling freezing-thawing processes is the possibility of describing the corresponding deformation processes that lead to changes in the mechanical properties of the medium, which is proposed to be used in seismic monitoring of permafrost. The differential equations obtained in this case form a system of the first order, for the numerical solution of which we apply an effective finite-difference method on shifted meshes. Numerical calculations have shown that the attenuation of seismic waves during propagation in such media changes significantly depending on the degree of thawing, i.e., on the occurrence of the liquid phase. It is this property that is proposed as an indicator of the state of permafrost.

---

## **Сейсмический мониторинг многолетнемёрзлых пород арктического шельфа России**

В. А. Чеверда, Г. В. Решетова, Е. И. Роменский  
Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН, Иркутск, Россия

Нами построена симметрическая гиперболическая термодинамически согласованная система дифференциальных уравнений в частных производных для описания процесса формирования и распространения сейсмических волновых полей во флюидонасыщенной деформируемой пористой среде. На наш взгляд такая система наилучшим образом подходит для этих целей, позволяя описывать многолетнемёрзлую породу, как упругую деформируемую пористую среду, поры которой заполнены флюидом, замерзающим при понижении температуры и постепенно оттаивающим при её повышении. Очень важным аспектом для моделирования процессов замерзания – оттаивания выступает возможность описания соответствующих деформационных процессов, которые приводят к изменению механических свойств среды, что и предлагается использовать при сейсмическом мониторинге состояния многолетнемёрзлых пород. Полученные при этом дифференциальные уравнения образуют систему первого порядка, для численного решения которой применим эффективный конечно-разностный метод на сдвинутых сетках. Проведённые численные расчёты показали, что затухание сейсмических волн при распространении в таких средах существенным образом меняется в зависимости от степени оттаивания, то есть от возникновения жидкой фазы. Именно это свойство и предлагается в качестве индикатора состояния многолетнемёрзлых пород.

## Drill hole positioning methods

A. Valchuk

TechOFS, Moscow, Russia

Solving well positioning problems: (vertical problem – steel stretching, Stockhausen effect, horizontal problem – magnetic influence of BHA, drilling tools, drilling mud, rocks). – Depth correction method: SPE 89899. Empirically derived coefficients applicable in all conditions, Input data – borehole depth and vertical depth, applicable to any data set, including archived data. – Continuous inclinometry: The method is applicable exclusively to rotary steerable systems: 2 independent inclinometers (ATK and OTK), final measurements are transmitted at a minimum density of 1 point/3m, interpolated azimuths are used outside the main measurement points. – Correlation with gyro: Reduction of TC azimuth error, Analysis of initial conditions, decision on method applicability, Analysis of Gyro Vs MWD azimuth systematic error, Compensation of MWD azimuths by the value of the found systematic error. – MSA (Multipoint Analysis): Screwed together, the SBT tubes represent a huge magnet with two poles. This stray magnetic background distorts the Earth's 'visible' magnetic field and introduces error into the azimuth measurement. Non-magnetic tubes are placed at the bottom and top of the sensor to isolate the sensor. In this way, a single dipole is split into two parts, with an insulator in the middle. The azimuth error due to interference grows in proportion to: increasing latitude (with increasing inclination angle), increasing zenith angle, proximity to magnetic West/East – IFR1 (high-precision geomagnetic model taking into account local anomalies): In the process of recording IR measurements, reference characteristics of the Earth's magnetic field (declination, inclination, strength) are used to assess their quality. Magnetic north is a time unstable reference. Magnetic declination is used to bring the magnetic azimuth of the telesystem to the geographic coordinate system, as the geographic pole of the Earth's rotation is a reference point stable in time (true North). Where is the reference used? Adjustment of azimuth to a stable reference system, Quality control of measurements – IFR2 (Compensation of diurnal variations of the Earth's magnetic field using a variostation station): Diurnal variations in the magnetic field distort magnetic declination, distorting the strength and inclination angle of the Earth's magnetic field.

---

## Методы позиционирования скважин

А. С. Вальчук

Технологии ОФС, Москва, Россия

Решение проблем позиционирования скважин: (проблема вертикали – растяжение стали, эффект Стокхаузена, проблема горизонтали – магнитное влияние КНБК, бурильного инструмента, бурового раствора, горных пород) – Метод коррекции глубины: SPE 89899. Эмпирически полученные коэффициенты, применимые в любых условиях, Входные данные – глубина по стволу и глубина по вертикали, применим к любому набору данных, в том числе и к архивным. – Непрерывная инклинометрия: Метод применим исключительно к роторным управляемым системам: 2 независимых инклинометра (АТК и ОТК), итоговые замеры передаются с плотностью минимум 1 точка/3м, вне точек основного замера используются интерполированные азимуты. – Корреляция с гироскопом: Снижение азимутальной погрешности ТС, Анализ начальных условий, принятие решения о применимости метода, Анализ систематической ошибки азимута Gyro Vs MWD, Компенсация азимутов MWD на величину найденной систематической ошибки – MSA (многоточечный анализ): Свинченные вместе, трубы СБТ представляют собой огромный магнит с двумя полюсами. Такой паразитный магнитный фон искажает «видимое» магнитное поле Земли и вносит ошибку в измерение азимута. Снизу и сверху датчика устанавливают немагнитные трубы для изоляции датчика. Таким образом, один диполь разбивается на две части, с изолятором по середине. Ошибка азимута вследствие интерференции растет пропорционально: росту широты (с увеличением угла наклона), росту зенитного угла, близости к магнитному Западу/Востоку – IFR1 (высокоточная геомагнитная модель с учетом локальных аномалий): В процессе регистрации ИК замеров для оценки их качества используются эталонные характеристики магнитного поля Земли (склонение, наклонение, напряженность). Магнитный север – нестабильный во времени ориентир. Магнитное склонение используется для приведения магнитного азимута телесистемы к географической системе координат, т.к. географический полюс вращения Земли является устойчивым во времени ориентиром (истинный Север). Где используется эталон? Приведение азимута к системе устойчивого ориентира, Контроль качества измерений – IFR2 (Компенсация суточных вариаций магнитного поля Земли с помощью вариостанции): Суточные вариации магнитного поля искажают магнитное склонение, искажают напряженность и угол наклона магнитного поля Земли.

## Electronic scientific journal 'Russian Journal of Earth Sciences'. 25 years in Earth Sciences

A. Gvishiani, E. Kedrov, N. Fomenko, E. Firsova, T. Kudryavtseva  
Geophysical Center RAS, Moscow, Russia

In 2023, the Russian Journal of Earth Sciences celebrated its twenty-fifth anniversary. The idea of creating the journal arose in the early 1990s at the Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences and the Geophysical Center of the Russian Academy of Sciences, when there was a need for a separate scientific publication combining disciplines of Earth Sciences. Most journals published in the former Soviet Union on Earth Sciences were highly specialized, for example: "Tectonics", "Lithology", "Petrology", etc. Therefore, it was difficult to publish articles devoted to problems at the intersection of different scientific disciplines. Another important problem was the limited number of illustrations, which also had to be black and white, which significantly impeded their perception. Another important difficulty was associated with the fact that ordinary academic journals could be published for more than one year. The Russian Journal of Earth Sciences is free from all these shortcomings. It publishes articles in English or Russian on virtually all disciplines of the Earth Sciences: geomagnetism, geology, geochemistry, geoinformatics, geography, geocology, physics of the Earth, seismology, volcanology, geodesy, oil and gas geology and geophysics, remote sensing of the Earth, oceanology, water resources, mining, environment and climate, Arctic and Antarctic studies, as well as Big Data in geoscience and systems analysis. The publication period of articles, after acceptance by the editorial board, is on average 90 days (depending on the position of the article in the list of accepted publications and its technical complexity). A significant advantage of the journal is open access to articles, which significantly expands its audience and brings the results of scientific research to a wide range of readers. This report tells about the history of the journal, its current position in the main academic research databases, both Russian and international.

---

## Электронный научный журнал «Russian Journal of Earth Sciences». 25 лет в науках о Земле

А. Д. Гвишиани, Э. О. Кедров, Н. А. Фоменко, Е. Ю. Фирсова, Т. М. Кудрявцева  
Геофизический центр РАН, Москва, Россия

В 2023 году журнал «Russian Journal of Earth Sciences» отметил свой двадцатипятилетний юбилей. Идея создания журнала возникла в начале 1990-х годов прошлого века в Институте физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН и Геофизическом центре РАН, когда возникла необходимость в отдельном научном издании, объединяющем дисциплины наук о Земле. Большинство журналов, издававшихся в бывшем Советском Союзе по наукам о Земле, были узкоспециализированными, например: «Тектоника», «Литология», «Петрология» и т. д. Поэтому было сложно публиковать статьи, посвященные проблемам на стыке разных научных дисциплин. Другой важной проблемой было ограниченное количество иллюстраций, которые к тому же должны были быть черно-белыми, что существенно снижало их восприятие. Еще одна важная трудность была связана с тем, что обычные академические журналы могли издаваться не один год. «Российский журнал наук о Земле» лишен всех этих недостатков. Он публикует статьи на английском или русском языках практически по всем дисциплинам наук о Земле: геомагнетизм, геология, геохимия, геоинформатика, география, геоэкология, физика Земли, сейсмология, вулканология, геодезия, нефтегазовая геология и геофизика, дистанционное зондирование Земли, океанология, водные ресурсы, горное дело, окружающая среда и климат, изучение Арктики и Антарктики, а также большие данные в науках о Земле и системный анализ. Сроки публикации статей, после принятия редколлегией, составляют в среднем 90 дней (в зависимости от очереди статьи и ее технической сложности). Существенным преимуществом журнала является открытый доступ к статьям (Open Access), что позволяет значительно увеличить аудиторию и довести результаты научных исследований до широкого круга читателей. В настоящем докладе рассказывается об истории создания журнала, об актуальной позиции в основных реферативных базах, как российских, так и международных.

## **Analysis of spatial data for ice information forecasting tasks in the Arctic**

E. Pavlova, A. Yulin, T. Alekseeva

Arctic and Antarctic Research Institute, Saint Petersburg, Russia

Ice information forecasting techniques include selection of homologues years, selection of climatic periods, tasks related to spatial distribution of ice cover characteristics, comparison of different characteristics among themselves. Forecasting of ice information involves the analysis of a large volume of spatial data: various meteorological, ice and oceanographic information. The formats of initial information are of different types: electronic maps, tabular data, descriptive characteristics of spatial objects, raster images with georeferencing. An important task of preparing materials for the forecast is to bring all information to the types that allow its comparison with each other. In operational practice most of the data are brought to vector format for work in geoinformation systems. Maximum possible prolongation of data series from archival sources allows to select more accurately the years-homologues and to reflect more reliably statistical parameters of characteristics. This requires bringing archival materials to the same form as modern information – digitisation and vectorisation of maps. Working with geospatial data in the Arctic region has peculiarities and certain difficulties associated with the transition of coordinates through 180 meridian. Optimised work with data gives the opportunity to improve the quality of the final forecast to reduce the time for its creation, as well as to save all the original information in a form suitable for further analysis. The work was supported by the Russian Science Foundation, grant No. 23-17-00161.

---

## **Анализ пространственных данных для задач прогнозирования ледовой информации в Арктике**

Е. А. Павлова, А. В. Юлин, Т. А. Алексеева

Арктический и Антарктический Научно- Исследовательский Институт, Санкт-Петербург, Россия

Методики прогнозирования ледовой информации включают в себя подбор годов гомологов, выделение климатических периодов, задачи, связанные с пространственным распределением характеристик ледяного покрова, сопоставление различных характеристик между собой. Прогнозирование ледовой информации предполагает анализ большого объёма пространственных данных: различной метеорологической, ледовой и океанографической информации. Форматы исходной информации различны по типу: электронные карты, табличные данные, описательные характеристики пространственных объектов, растровые изображения, имеющие геопривязку. Важной задачей подготовки материалов к прогнозу является приведение всей информации к видам, позволяющим её сопоставить между собой. В оперативной практике большая часть данных приводится к векторному формату для работы в геоинформационных системах. Максимально-возможное продление рядов данных из архивных источников позволяет точнее подобрать годы-гомологи и достовернее отразить статистические параметры характеристик. Для этого требуется приведение архивных материалов к одному виду с современной информацией – оцифровка и векторизация карт. Работа с геопространственными данными в Арктическом регионе имеет особенности и определённые сложности, связанные с переходом координат через 180 меридиан. Оптимизированная работа с данными даёт возможность повысить качество конечного прогноза сократить время на его создание, а также сохранить всю исходную информацию в виде, пригодном для дальнейшего анализа. Работа поддержана Российским научным фондом, грант № 23-17-00161.

## **System analysis in space weather tasks based on the results of the Aurora system**

O. Mandrikova

Institute of cosmophysical research and radio wave propagation FEB RAS, Paratunka, Russia

The study of the influence of interplanetary medium parameters on the processes in the magnetosphere-ionosphere system requires the application and development of cognitive technologies in artificial intelligence from the standpoint of system analysis. Accumulated and continuously formed arrays of experimental data and intensively developing physical and mathematical methods in combination with modern information and communication means and technologies at the present moment provide the possibility of transition from the results of direct measurements to information of higher intellectual level. The proposed approach will be considered in the paper on the example of the results of the complex interactive system 'Aurora' ([Isaoperanalysis.ikir.ru:9180/Isaoperanalysis.html](http://Isaoperanalysis.ikir.ru:9180/Isaoperanalysis.html)), developed in the Laboratory of System Analysis of IKIR FEB RAS. The Aurora system analyses and controls magnetospheric and ionospheric activity in the North-Eastern region of Russia in a mode close to the real-time scale using geophysical monitoring data, as well as assesses the state of variation of galactic cosmic ray fluxes. The results of the system are based on complex processing of magnetic and ionospheric data of IKIR FEB RAS observatories, as well as data of the network of ground stations of neutron monitors ([www.nmdb.eu](http://www.nmdb.eu)). The magnetospheric ([ckp.gcras.ru](http://ckp.gcras.ru), [wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp](http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp), [ipg.geospace.ru](http://ipg.geospace.ru), [spaceweather.izmiran.ru](http://spaceweather.izmiran.ru)) and interplanetary environment ([omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html](http://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html)) parameters are also used in forming decisions on the state of the environment. The system has been open access since 2018, and contains continuously formed observation materials and data processing results. The report, using the example of the Aurora system operation during periods of increased solar and magnetic activity, will address the issues of the possibility of space weather forecasting based on ground-based geophysical monitoring data and potential prospects for improving the forecast accuracy based on system analysis approaches. The work was carried out at the expense of the State Assignment of the Institute of Space Research of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences (reg. No. 124012300245-2).

---

## **Системный анализ в задачах космической погоды по результатам системы «Аврора»**

О. В. Мандрикова

Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Паратунка, Россия

Исследование влияния параметров межпланетной среды на процессы в магнитосферно-ионосферной системе требует применения и развития когнитивных технологий в искусственном интеллекте с позиций системного анализа. Накопленные и непрерывно формируемые массивы экспериментальных данных и интенсивно развивающиеся физико-математические методы в комбинации с современными информационно-коммуникационными средствами и технологиями на текущий момент обеспечивают возможность перехода от результатов прямых измерений к информации более высокого интеллектуального уровня. Предлагаемый подход в докладе будет рассмотрен на примере результатов комплексной интерактивной системы «Аврора» ([Isaoperanalysis.ikir.ru:9180/Isaoperanalysis.html](http://Isaoperanalysis.ikir.ru:9180/Isaoperanalysis.html)), разработанной в лаборатории Системного анализа ИКИР ДВО РАН. В системе «Аврора» в режиме, приближенном к масштабу реального времени, по данным геофизического мониторинга выполняется анализ и контроль магнитосферной и ионосферной активностей в Северо-Восточном регионе России, а также оценивается состояние вариаций потоков галактических космических лучей. Результаты системы основаны на комплексной обработке магнитных и ионосферных данных обсерваторий ИКИР ДВО РАН, а также данных сети наземных станций нейтронных мониторов ([www.nmdb.eu](http://www.nmdb.eu)). При формировании решений о состоянии среды также используются параметры магнитосферы ([ckp.gcras.ru](http://ckp.gcras.ru), [wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp](http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp), [ipg.geospace.ru](http://ipg.geospace.ru), [spaceweather.izmiran.ru](http://spaceweather.izmiran.ru)) и межпланетной среды ([omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html](http://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html)). Система имеет открытый доступ с 2018 года, и содержит формируемые непрерывно материалы наблюдений и результаты обработки данных. В докладе, на примере работы системы Аврора в периоды повышенной солнечной и магнитной активностей, будут рассмотрены вопросы возможности выполнения прогноза космической погоды по наземным данным геофизического мониторинга и потенциальные перспективы повышения точности прогноза на основе подходов системного анализа. Работа выполнена за счет Гос. задания ИКИР ДВО РАН (рег. № темы 124012300245-2).

## **Intelligent method for detecting Forbush effects in cosmic ray variations**

O. Mandrikova, B. Mandrikova

Institute of cosmophysical research and radio wave propagation FEB RAS, Paratunka, Russia

The theoretical basis of the study is the anomaly detection method developed by the authors, based on the synthesis of classical risk theory with nonlinear approximating schemes in orthonormalised wavelet bases and constructed cognitive rules. The proposed method enables near-optimal decision making without pre-training in the data arrival mode of the processing system. The paper will present the results of the detection of Forbush effects in the variations of secondary cosmic rays on a number of strong and moderate magnetic storms in 2024. The study used data from neutron monitors ([www.nmdb.eu](http://www.nmdb.eu)) and information on the parameters of the interplanetary medium and magnetosphere ([ckp.gcras.ru](http://ckp.gcras.ru)) characterising the state of space weather ([ipg.geospace.ru](http://ipg.geospace.ru), [spaceweather.izmiran.ru](http://spaceweather.izmiran.ru)). The effectiveness of the proposed method for detecting sudden, short-period anomalies of various shapes occurring on the eve and during magnetic storms is shown. The general anomalous dynamics of the cosmic ray flux during periods of increased solar activity and magnetic storms is experimentally confirmed. The observed correlation with changes in the parameters of the interplanetary medium testifies to the reliability of the results obtained. The work was carried out at the expense of the State Assignment of the Institute of Cosmic Radiation of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences (reg. No. 124012300245-2).

---

## **Интеллектуальный метод обнаружения Форбуш-эффектов в вариациях космических лучей**

О. В. Мандрикова, Б. С. Мандрикова

Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Паратунка, Россия

Теоретической основой исследования является разработанный авторами метод обнаружения аномалий, основанный на синтезе классической теории рисков с нелинейными аппроксимирующими схемами в ортонормированных вейвлет-базисах и построенными когнитивными правилами. Предлагаемый метод позволяет в режиме поступления данных в систему обработки принимать близкое к оптимальному решение без предобучения. В докладе будут представлены результаты обнаружения Форбуш-эффектов в вариациях вторичных космических лучей на ряде сильных и умеренных магнитных бурь 2024 года. В исследовании использовались данные нейтронных мониторов ([www.nmdb.eu](http://www.nmdb.eu)) и информация о параметрах межпланетной среды и магнитосферы ([ckp.gcras.ru](http://ckp.gcras.ru)), характеризующих состояние космической погоды ([ipg.geospace.ru](http://ipg.geospace.ru), [spaceweather.izmiran.ru](http://spaceweather.izmiran.ru)). Показана эффективность предлагаемого метода для обнаружения внезапных, короткопериодных аномалий разнообразной формы, возникающих накануне и во время магнитных бурь. Экспериментально подтверждена общая аномальная динамика потока космических лучей в периоды повышенной солнечной активности и магнитных бурь. Наблюдаемая корреляция с изменениями параметров межпланетной среды свидетельствует о достоверности полученных результатов. Работа выполнена за счет Государственного задания ИКИР ДВО РАН (рег. № темы 124012300245-2).