

FORERUNNERS OF ENDOGENOUS CATASTROPHES

A. L. Sobiesevich, L. E. Sobiesievich

Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences (IPE RAS)
123242, Moscow, Russia

In the second half of the last century, geophysicists and seismologists has started to study the experimentally observed seismogravitational processes and accompanying induced anomalous (gravitomagnetic) perturbations in variations of the Earth's magnetic field. It gas been suggested that mentioned field structures contain useful information on the location and possibly the time of the forthcoming catastrophic earthquake.

The results of the first full-scale instrumental observations of a separate class of geophysical processes that reflect the conditions for the development of specific variations in the structure of geophysical fields of the Earth are considered. Initial work on this problem is directly related to the series of dedicated experiments at the SB RAS Bystrovsky geophysical test site, under the supervision of academician Anatoly Semenovich Alekseev. At that time A. S. Alekseev has worked on the theory of the „integral precursor“ of earthquakes and has contributed into solving a separate class of fundamental problems related to the development of methods of active seismology, including the Earth's global tomography using controlled vibroseismic sources.

In the course of the experiments carried out at the Bystrovsky test site on the one-hundred-ton vibroseismic source, various geophysical fields induced in geospheres were studied. It has been shown for the first time in the practice of field observations the possibility to separate the specific class of gravitomagnetic disturbances induced in the lithosphere by powerful seismic sources.

Four years later, our scientific results were confirmed in the set of experiments carried out at the same test site by scientists of the SB RAS.

Further investigations of the class of seismogravitational processes and accompanying gravitomagnetic disturbances, which may be considered as short-term forerunners of powerful seismic events, were continued at the Geophysical observatory in Northern Caucasus.

Observations of variations in the Earth's magnetic field have confirmed that powerful seismic events are likely to be preceded by specific yet anomalous ULF gravitomagnetic disturbances that resemble signals generated by means of vibroseismic sources. It has been established that the seismogravitational processes identified in the Observatory and associated gravitomagnetic disturbances are an integral part of the induced geophysical fields that originate in the focal zones of the „forthcoming“ seismic extents and are being studied today by geophysicists using the data of the „Intermagnet“ global network. The observed variations may have been recommended as a potential medium-term to short-term precursors of disasters of endogenous nature.

Nowadays, geophysics has defined the fundamental physical fields that are used to describe the universe. Historically, among the fundamental physical fields responsible for the electromagnetic and the gravitational interaction were initially discovered. They are well studied in the framework of theoretical and experimental physics, opening up new horizons for knowledge of the world. An example of this is gravity waves, which have been successfully registered by LIGO detectors. The scientific discovery of a group of physicists from the United States, Russia and other countries, awarded the Nobel Prize, makes it necessary to take a fresh look at seismic and gravitational processes in the geospheres of the Earth related to the preparation and development of large endogenous catastrophes.

Instruments at the Geophysical Observatory in placeNorthern Caucasus constantly may allow us to determine the presence of seismogravitational interactions. These scientific data can become the fundamental basis that in the future will allow us to understand the deep nature of the seismogravity and associated induced gravitomagnetic disturbances in the lithosphere and other geospheres of the Earth. While analyzing the obtained scientific results, we always remember the good advice of the Academician A. S. Alekseev, who taught us to approach the analysis of complex wave structures generated by active dilatational restructuring in a real geophysical environment. It becomes clear that the experimental study of a specific class of fundamental problems we have identified in recent years related to the formation of long-period seismogravity processes and ULF gravitomagnetic disturbances in geospheres is becoming one of the defining problems of geophysics today.

Seismogravity processes and gravitomagnetic perturbations recorded at large distances from the focal region contain valuable scientific information about geophysical processes developing in focal structures before the main shock. To use such information in order to attempt a ‘forecast’ of the expected place and time of the forthcoming seismic event, a network of observatories should be developed reflecting separate stages of focal structure formation, geophysical equipment should be improved, other well-known technologies should be used to make predictions of the development of large earthquakes.

Finishing a brief presentation of a number of new ideas and scientific results obtained, many of which were discussed at the initial stage with Anatoly Semenovich Alekseev, and we would like to note that the actual problems of active seismology and the tasks associated with the earthquake prediction were always in the scope of his scientific interests.

So at the end of January 2007, when he was already in sick, Anatoly Semenovich wrote to us: „Studying the fine structure of the structure of geometrical and material in homogeneities of the mantle and the core of the Earth becomes, apparently, not only a task of geotectonics. The drainage system of heat and mass transfer from the core to the surface layers may be of practical interest for the prediction of hydrocarbon provinces and local structures. The evolution of these inhomogeneities can be of fundamental importance for assessing the conditions for the emergence and evolution of the biosphere. For these reasons, the creation of the „Vibro-sounding of the mantle and core of the Earth“ method, which is equivalent to the well-developed seismic method, becomes topical. A fundamentally new scientific and technical problem here is the creation of a precision-controlled, powerful (5–10 thousand tons) cheap and easily mounted, environmentally safe seismic vibrational source. The project of such a source is already being considered. In scientific and technical terms, it can be based on the principles developed in the successfully created method of vibration sounding of the earth’s crust which has been used in country-regionRussia for more than two decades, and in recent years in placecountry-regionJapan. In this situation, I consider it is necessary to create the instruments and method for a detailed study of the mantle and core of the Earth, for which purpose it is feasible to fully utilize the experience of the Siberian Branch of RAS on the topics „Earth Vibrational Surveying“ and „Active Seismology“. Please let us know your comments and suggestions on the feasibility and reality of the organization of the project under discussion at the SB RAS. The Appendix (below) provides an overview of the scientific and practical aspects of Earth degassing. The study of gas-fluid dynamics drainage systems can be carried out within the framework of the mentioned „Earth Vibrational Sounding Project-2. — Yours A. S. Alekseev“.

The time will come, and the scientific background of Academician Anatoly Semenovich Alekseev will be even more in demand. The young generation of scientists will build powerful seismic vibrators and conduct controlled experiments that will allow a glimpse into the deep structures of the Earth’s core, which is actively affecting other geospheres.

Key words: endogenous hazards and catastrophes, seismogravitational processes, active seismology, global vibroseismic sounding of the Earth.

References

1. Alekseev A. S. Sovremennye obratnye zadachi geofiziki v probleme mnogodisciplinarnogo prognoza zemletryasenij // Razvitie metodov i sredstv ehksperimental'noj geofiziki. Vyp. 1. M.: IFZ RAN, 1993. S. 9–24.
2. Alekseev A. S., Glinskij B. M., Kovalevskij V. V., Pushnoj B. M. Principy sozdaniya vibrosejsmicheskikh istochnikov dlya global'noj tomografii Zemli // Razvitie metodov i sredstv ehksperimental'noj geofiziki. Sb. nauchn. tr. Vyp. 2. M.: OIFZ RAN, 1996. S. 149–155.
3. Alekseev A. S., Emanov A. F., Glinskij B. M., Kovalevskij V. V., Mihajlenko B. G., Seleznev S. V., YUshin V. I., Hajretdinov M. S., Kasahara D., Sato T., Mochizuki K. Izuchenie struktury vibrosejsmicheskogo polya moshchnyh istochnikov // Problemy geoakustiki: metody i sredstva. M. Izd. Mosk. Gosud. gorn. Univ., 1996. S. 155–160.
4. Alekseev A. S., Glinskij B. M., Kovalevskij V. V., Sobisevich L. E., Sobisevich A. L. Gidrezonansnye istochniki sejsmicheskikh polej v tekhnologiyah aktivnoj tomografii yadra Zemli // Vserossiyskaya konferenciya „Vnutrennee yadro Zemli. Geofizicheskaya informaciya o processah v yadre“. Tezisy dokladov. RAN, RFFI, MPNiT RF. Moskva. 2000. S. 94.
5. Alekseev A. S., Glinskij B. M., Emanov A. F., Kashun V. N., Kovalevskij V. V., Manshtejn A. K., Seleznev V. S., Serdyukov S. V., Solov'ev V. M., Sobisevich A. L., Sobisevich L. E., Hajretdinov M. S., CHichinin I. S., YUshin V. I. Novye geotekhnologii i kompleksnye geofizicheskie metody izucheniya vnutrennej struktury i dinamiki geosfer. Monografiya. M.: OIFZ RAN, 2002.
6. Alekseev A. S., Glinskij B. M., Imomnazarov H. H., Kovalevskij V. V., Sobisevich L. E., Hajretdinov M. S., Cibul'chik G. M. Monitoring geometrii i fizicheskikh svojstv „poverhnostnoj“ i „ochagovoj“ dilatatsionnykh zon metodom vibrosejsmicheskogo prosvetivaniya sejsmoopasnykh uchastkov zemnoj kory // Stat'ya v kollektivnoj monografii „Izmeneniya prirodnoj sredy i klimata. Prirodnye katastrofy. CHast' 1“. Pod red. akademika N. P. Laverova. T. 1. M.: IFZ RAN. 2008. S. 179–222.
7. Glinskij B. M., Ivakin A. N., Kovalevskij V. V., Levshenko V. T., Rudenko O. V., Sobisevich A. L., Sobisevich L. E. Izuchenie sejsmomagnitnykh ehffektov, vznikayushchih pri vibrovozdeystvii na sredu. IFZ RAN. Razvitie metodov i sredstv ehksperimental'noj geofiziki. Vyp. 2. 1996. S. 226–234.
8. Kuznecov V. V., Plotkin V. V., Homutov S. YU. Akusticheskie i ehlektromagnitnye yavleniya pri vibroakusticheskom zondirovanii // DAN. 2000. T. 370. N 2. S. 273–248.
9. Nikolaevskij V. N., Sobisevich L. E. Priroda bifokal'nogo ochaga zemletryaseniya i predvestniki udara // Geofizicheskij zhurnal. 2015. T. 37. N 4. S. 51–74.
10. Sobisevich A. L. Izbrannye zadachi matematicheskoy geofiziki i vulkanologii. M.: IFZ RAN. 2010.
11. Sobisevich L. E., Kanonidi K. H., Sobisevich A. L. Nablyudeniya UNCH geomagnitnykh vozmushchenij, otrazhayushchih processy podgotovki i razvitiya cunamigennykh zemletryasenij // DAN. 2010. T. 435. N 4. S. 548–553.
12. Sobisevich A. L. Izbrannye zadachi matematicheskoy geofiziki, vulkanologii i geoehkologii. T. 1. Moskva: Izd. IFZ RAN, 2012.
13. Sobisevich A. L. Izbrannye zadachi matematicheskoy geofiziki, vulkanologii i geoehkologii. T. 2. Severokavkazskaya geofizicheskaya observatoriya. Sozdanie, analiz rezul'tatov nablyudenij. Moskva: Izd. IFZ RAN, 2013.
14. Sobisevich L. E., Kanonidi K. H., Sobisevich A. L. Ul'tranizkочastotnye ehlektromagnitnye vozmushcheniya, vznikayushchie pered sil'nymi sejsmicheskimi sobyitiyami // DAN. 2009. T. 429. N 5. S. 688–672.
15. Gohberg M. B., SHalimov S. L. Vozdejstvie zemletryasenij i vzryvov na ionosferu. M.: Nauka. 2008.

16. Lin'kov E. M., Petrova L. N. Opyt registracii dlinnoperiodnyh kolebanij s pomoshch'yu magnetronnogo sejsmografa // V sbornike „Issledovanie dlinnoperiodnyh sejsmicheskikh voln“. Minsk. 1976. S. 52–57.
17. Lin'kov E. M., Petrova L. N., Savina N. G., YAnovskaya T. B. Sverhdlinnoperiodnye kolebaniya Zemli // Dokl. AN SSSR. 1982. T. 262. N 2. S. 321–324.
18. Lin'kov E. M. Sejsmicheskie yavleniya. L.: Izd-vo LGU. 1987.
19. Liperovskij V. A., Gladyshev V. A., SHalimov S. S. Litosferno-ionosfernye svyazi pred zemletryasenyami // Izv. AN SSSR. Fizika Zemli. 1991. N 3. S. 26–35.
20. Liperovskij V. A., Pohotelov O. A., SHalimov S. L. Ionosfernye predvestniki zemletryasenij. M.: Nauka. 1992.
21. Morgunov V. A., Matveev I. V., Stepanov A. V. EHlektrichestvo atmosfery v zone tektonicheskogo razloma // Magnitosfernye issledovaniya. M.: Nauka. 1990. N 15. S. 65–68.
22. Sobisevich A. L. Gravitomagnetizm. rezul'taty observatorskikh nablyudenij // DAN. 2018. T. 480. N 5. S. 587–591.
23. Moore G. W. Magnetic disturbances preceding the 1964 Alaska earthquake // Nature. 1964. Vol. 203. P. 508–509.
24. Gohberg M. B., Pilipenko V. A., Pohotelov O. A. O sejsmicheskikh predvestnikah v ionosfere // Izv. AN SSSR. Fizika Zemli. 1983. N 10. S. 17–21.
25. Gohberg M. B., Morgunov V. A., Pohotelov O. A. Sejsmoehlektromagnitnye yavleniya. M.: Nauka. 1988.
26. Gohberg M. B., Steblov G. M., SHalimov S. L., Vejc V. A., Grekhova E. A. Ionosfernyj otklik na podvodnoe zemletryasenie v Yaponii 11.03.2011 g. po nablyudeniyam so sputnikov GPS // Geofizicheskie processy i biosfera. 2011. T. 10. N 1. C. 47–63.
27. Gul'el'mi A. V., Zotov O. D. YAvlenie sinhronizma v dinamicheskoy sisteme magnitosfera–tekhnosfera–litosfera // Fizika Zemli. 2012. N 6. S. 23–33.
28. Sobisevich A. L. Monitoring sloistyh neodnorodnyh sred. M.: OIFZ RAN. 2001.
29. Sobolev G. A. Fizika ochaga i prognoz zemletryasenij. M.: Geofizicheskij centr RAN. 1992.
30. Sobisevich A. L., Gridnev D. G., Sobisevich L. E., Kanonidi K. H. Apparaturnyj kompleks Severokavkazskoj geofizicheskoy observatorii // Sejsmicheskie pribory. 2008. T. 44. S. 12–25.
31. Sobisevich A. L., Sobisevich L. E., Kanonidi K. H., Lihodeev D. V. O gravimagnitnyh vozmushcheniyah, predvaryayushchih sejsmicheskie sobytiya // DAN. 2017. T. 475. N 4. S. 1–4.
32. Rogozhin E. A., Sobisevich A. L., Sobisevich L. E., Kanonidi K. H. O razrushitel'nom zemletryasenii na granice Irana s Irakom // Geofizicheskie processy i biosfera. 2018. T. 17, N 2. S. 93–110.
33. Gul'el'mi A. V., Sobisevich L. E., Sobisevich A. L., Lavrov I. P. O forshokah sil'nyh zemletryasenij // Fizika Zemli. 2014. N 4. S. 43–49.
34. Gul'el'mi A. V., Lavrov I. P., Sobisevich A. L. Vnezapnye nachala magnitnyh bur' i zemletryaseniya // Solnechno-zemnaya fizika. 2015. T. 1. N 1. S. 98–103.
35. Lin'kov E. M., Orlov E. G., Petrova L. N., Karpinskij V. V. Sejsmogravitacionnyj kompleks // Razvitie metodov i sredstv ehksperimental'noj geofiziki M. 1996. S. 252–259.
36. Lin'kov E. M., Petrova L. N., Dunaev A. V. Nablyudeniya dlinnoperiodnyh kolebanij Zemli gorizontal'nym sejsmografom na antiklinal'noj platforme // V kn.: Sejsmicheskie pribory. M.: Nauka, 1988. Vyp. 20. S. 90–96.
37. Lin'kov E. M., Petrova L. N., Zuroshvili D. D. Sejsmogravitacionnye kolebaniya Zemli i svyazannye s nimi vozmushcheniya atmosfery // Dokl. AN SSSR. 1989. T. 306. N 2. S. 314–317.
38. Lin'kov E. M., Petrova L. N., Osipov K. C. Sejsmogravitacionnye pul'sacii Zemli i vozmushcheniya atmosfery kak vozmozhnye predvestniki sil'nyh zemletryasenij // Dokl. AN SSSR. 1990. N 5. S. 1095–1098.

39. Lin'kov E. M., Tipisev S. YA., Bucenko V. V. Pomekhoustojchivost' dlinnoperiodnogo sejsmografa i analiz ego zapisej // Geofizicheskaya apparatura. 1982. Vyp. 75. S.78–87.
40. Fraser-Smith A. C., Bernardi A., McGill P. R., Ladd M. E., Helliwell R. A., Villard Jr O. G., 1990. Low-frequency magnetic field measurements near the epicenter of the MS 7.1 Loma Prieta earthquake. Geophys. Res. Lett. 17 (9), 1465–1468.
41. Fraser-Smith A. C. Effect of man on the geomagnetic activity and pulsations // Adv. Space Res. 1981. V. 1. P. 455–466.
42. Fraser-Smith A. C. Ultralow-Frequency Magnetic Fields Preceding Large Earthquakes // Eos. 2008. Vol. 89. N. 23. P. 211.
43. Fraser-Smith A. C. Weekend increase in geomagnetic activity // J. Geophys. Res. 1979. Vol. 84(A5). P. 2089–2096.
44. Kopytenko Y., Ismagilov V., Hayakawa M., Smirnova N., Troyan V., Peterson T. Investigation of the ULF electromagnetic phenomena related to earthquakes: contemporary achievements and the perspectives // Annali di Geofisika. 2001. Vol. 44. N 2. P. 325–334.
45. Kopytenko Yu. A., Ismaguilov V. S., Hattori K., Voronov P. M., Hayakawa M., Molchanov O. A., Kopytenko E. A., Zaitsev D. B. Monitoring of the ULF electromagnetic disturbances at the station network before EQ in seismic zones of Izu and Chiba peninsulas. In: „Seismo Electromagnetics: Litosphere-Atmosphere-Ionosphere Coupling“. Eds. M. Hayakawa and O. A. Molchanov. Tokyo: TERRAPUB. 2002. P. 11–18.
46. Kopytenko Yu. A., Matiashvili T. G., Voronov P. M., Kopytenko E. A., Molchanov O. A. Detection of Ultra-Low Frequency emissions connected with the Spitak Earthquake and its aftershock activity based on geomagnetic pulsations data at Dusheti and Vardzia observatories // Phys. Earth and Planet. Inter. 1993. Vol. 77. P. 85–95.
47. Kopytenko, Yu. A., Matiashvili T. G., Voronov P. M., Kopytenko E. A., and Molchanov O. A. Detection of ultra-low-frequency emissions connected with the Spitak earthquake and its aftershock activity, based on geomagnetic pulsations data at Dusheti and Vardzia observatories. Phys. Earth Planet. Int. 1993. P. 85–95.
48. Vallée M., Ampuero J. P., Juhel K., Bernard P., Montagner J.-P., Barsuglia M. Observations and modeling of the elastogravity signals preceding direct seismic waves // Science. 2017. V. 358. N 6367. P. 1164–1168.
49. Barsukov O. M. Solnechnye vspyshki, vnezapnye nachala i zemletryaseniya // Fizika Zemli. 1991. N 12. S. 93–96.
50. Abbot B. P. et al. Observation of gravitational waves from a binary black hole merger // Phys. Rev. Lett. 2016. V. 116. N 6. P. 061102. DOI 10.1103/PhysRevLett.116.061102.
51. Makov YU. N., Rudenko O. V., Sobisevich L. E., Sobisevich A. L. O rezonansnyh yavleniyah v geofizicheskoy srede // Sb. nauchn. tr. Razvitie metodov i sredstv ehksperimental'noj geofiziki. M.: OIFZ RAN. 1996. Vyp. 2. S. 194–200.
52. Makov YU. N., Sobisevich A. L. Vliyanie sejsmicheskogo vibracionnogo vozdejstviya na ustojchivost' processa vytesneniya zhidkosti iz flyuidonasyshchennoj sredy // Sb. nauchn. tr. Razvitie metodov i sredstv ehksperimental'noj geofiziki. M.: OIFZ RAN. 1996. Vyp. 2. S. 187–193.
53. Sobisevich L. E., Sobisevich A. L. Volnovye processy i rezonansy v geofizike. M.: OIFZ RAN. 2001.
54. Sobisevich L. E., Kanonidi K. H., Sobisevich A. L. O mekhanizme formirovaniya ochagov glubokofokusnyh zemletryasenij // DAN. 2014. T. 459. N 1. S. 100–105.

ПРЕДВЕСТИКИ ПРИРОДНЫХ КАТАСТРОФ

А. Л. Собисевич, Л. Е. Собисевич

Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН
123242, Москва, Россия

УДК 550.385.3, 550.343

Во второй половине прошлого столетия геофизики и сейсмологи вплотную приступили к изучению открытых экспериментально сейсмогравитационных процессов и сопутствующих наведенных аномальных (гравитомагнитных) возмущений в вариациях магнитного поля Земли. Было установлено, что эти полевые структуры содержат полезную информацию о месте и времени „созревающего“ катастрофического землетрясения.

В статье рассмотрены результаты первых полномасштабных инструментальных наблюдений отдельного класса геолого-геофизических процессов, отражающих условия развития характерных возмущений в структуре геофизических полей Земли. Начало работ по обозначенной проблеме неразрывно связано с постановкой и проведением в конце прошлого столетия под руководством академика Анатолия Семеновича Алексеева специализированных экспериментов на Быстровском полигоне СО РАН. В этот период Анатолий Семенович активно продвигал теорию „интегрального предвестника“ землетрясений и продолжал работать над решением отдельного класса фундаментальных задач, связанных с развитием назревших проблем активной сейсмологии, включая и вопросы глобальной томографии Земли при помощи управляемых сейсмических вибраторов [1–6].

В процессе проведения экспериментальных работ на Быстровском полигоне СО РАН изучались геофизические поля, наведенные в геосферах при работе стотонных сейсмических вибраторов. Эти исследования позволили впервые в практике инструментальных полевых наблюдений выделить отдельный класс гравитомагнитных возмущений, наведенных в литосфере мощными сейсмическими источниками [7].

Четыре года спустя наши научные результаты были подтверждены работами ученых СО РАН, которые провели серию фундаментальных по постановке экспериментов на Быстровском полигоне СО РАН [8].

Дальнейшие исследования отдельного класса сейсмогравитационных процессов и выделенных сопутствующих гравитомагнитных возмущений, которые могут выступать в качестве краткосрочных предвестников природных катастроф, были продолжены на базе созданной нами Северокавказской геофизической обсерватории ИФЗ РАН [9–13].

Обсерваторские наблюдения вариаций магнитного поля Земли подтвердили, что крупные сейсмические события всегда предваряются характерными аномальными УНЧ гравитомагнитными возмущениями, которые напоминают сигналы, генерируемые при работе мощных сейсмических вибраторов [14]. Установлено, что выделенные в условиях Обсерватории сейсмогравитационные процессы и сопутствующие гравитомагнитные возмущения являются составной частью наведенных геофизических полей, которые зарождаются в очаговых зонах „созревающих“ сейсмических катастроф и изучаются сегодня геофизиками с использованием данных международной сети магнитовариационных станций „Интермагнет“. Эти поля достаточно информативны, и их в последние годы рекомендуют рассматривать в качестве среднесрочных или краткосрочных предвестников природных катастроф.

Ключевые слова: эндогенные опасности и катастрофы, сейсмогравитационные процессы, активная сейсмология, вибросейсмическое просвечивание Земли.

В конце прошлого и в начале нынешнего столетия геофизики и сейсмологи вплотную приступили к анализу сложных сейсмогравитационных процессов и аномальных гравитоманнитных возмущений, предшествующих развитию крупных природных катастроф в геосферах Земли.

Так, аномальные флуктуации в вариациях сейсмогравитационного и магнитного поля Земли, предвещающие сейсмические события, начали анализироваться многими учеными, начиная с 60-х годов прошлого столетия [12, 15–23].

Согласно опубликованным данным, наблюдается большое разнообразие аномальных волновых форм в широком диапазоне частот (от 10^{-2} до 10^6 Гц и выше), регистрируемых в системе „литосфера–атмосфера–ионосфера–магнитосфера“ в периоды подготовки землетрясений. Одни из них возбуждаются источниками в атмосфере (грозовые разряды, предгрозовое излучение, радиоизлучение облаков и циклонов), другие возникают в магнитосфере и ионосфере, в результате взаимодействия солнечного ветра с геомагнитным полем, или проникают в магнитосферу и атмосферу из межпланетной среды, третьи — генерируются источниками в литосфере. Открыты также сигналы, связанные с индустриальной деятельностью [15, 24–27].

При изучении геофизических явлений в зонах подготовки сильных землетрясений, а также при активном воздействии на геологическую среду возникают сложные геолого-геофизические процессы, которые не укладываются в привычные сейсмологические рамки [7, 13, 28, 29]. С современных позиций их возникновение и развитие базируется на предположении о том, что под влиянием упругих волн происходит ускоренная релаксация напряжений, накопившихся в приповерхностных горизонтах земной коры. При этом, в соответствии с величинами и знаками компонентов тензора напряжений, осуществляется быстрая перестройка структуры порово-трещиноватой горной породы. Согласно теоретическим работам академика Анатолия Семеновича Алексеева, это преимущественно локальные дилатансные структуры и пограничные слои дилатансии.

Чтобы глубже понять суть геофизических процессов в случае, когда сейсмические вибраторы используются в районах, где имеют место геологические образования дилатансного типа, по инициативе академика Анатолия Семеновича Алексеева и члена-корреспондента РАН Алексея Всеволодовича Николаева в девяностые годы прошлого столетия были проведены полевые эксперименты. Работы проводились на геофизических полигонах, созданных учеными АН СССР в республике Беларусь и в Сибирском отделении РАН.

При проведении полевых работ в районе Узнож (республика Беларусь) особое внимание отводилось изучению гидросейсмических эффектов, возникающих при вибрационном воздействии на водоносные горизонты, неглубоко залегающие под земной поверхностью. Анализ гидрогеодинамических последствий активного воздействия на поверхность земли показал, что они сходны с гидрогеодинамическими аномалиями, возникающими при сильных землетрясениях.

Пример характерной гидрогеодинамической аномалии, связанной с вибрационным воздействием, представлен на рис. 1.

Анализ экспериментальных данных позволил установить возможные причины аномального поведения уровня подземных вод в результате сильного вибрационного воздей-



Рис. 1. Изменение уровня воды в скважине, связанное с вибровоздействием

ствия. Показано, что формирование гидрогеодинамических аномалий связано не только с изменением емкостных свойств водоносных горизонтов, но и в большой степени определяется фильтрационными параметрами разномасштабных дилатансных структур.

В то же время осталось невыясненным происхождение выделенных в процессе полевых экспериментов „особых“ частот, которое явно не связано со стратификационным резонансом насыщенных коллекторов. Возможно, что наблюдаемые „аномальные“ частоты в структуре наведенных геофизических полей „генетически“ связаны с резонансными частотами определяющих дилатансных образований, формирующих внутреннюю структуру реальной геологической среды в районе полигона.

Вывод был подтвержден деформационными измерениями сейсморадиационных сил, наведенных при работе мощного вибрационного источника. В качестве датчика деформаций использовался полевой деформометр с оптоэлектронным преобразователем смещений и длиной измерительной базы 2 м. Было установлено, что поле деформаций, возникающих в приповерхностных слоях вблизи вибратора, содержит постоянную составляющую, обусловленную действием сейсморадиационных сил, которая достигает десятков процентов от амплитуды колебаний частиц среды вблизи штампа и убывает с удалением от него как квадрат амплитуды колебательной скорости частиц в волне.

Для изучения процессов, возникающих при длительном вибровоздействии, и динамики их релаксации после прекращения вибровоздействия на геологические структуры, был проведен сеанс двухчасовой непрерывной работы вибратора СВ-10/100 (10:00–12:00 ч 14.09.92). Вибратор излучал сейсмические сигналы в диапазоне 15–25 Гц при максимальном усилии. Деформограф был установлен на удалении около 40 м. После выключения вибратора запись деформаций была проведена в нескольких временных интервалах.

На рис. 2 представлен временной ход квазистатической составляющей деформации после двухчасовой непрерывной работы вибратора. Возрастание соответствует сжатию среды, уменьшение — растяжению.

Обнаруженное в процессе эксперимента геофизическое явление, связанное с частотной трансформацией и переизлучением волновых полей, ассоциируется с таким понятием как „память Земли“. Установлено, что „память Земли“ может обуславливаться любыми распределенными в нижнем полупространстве резонансными образованиями дилатансно-

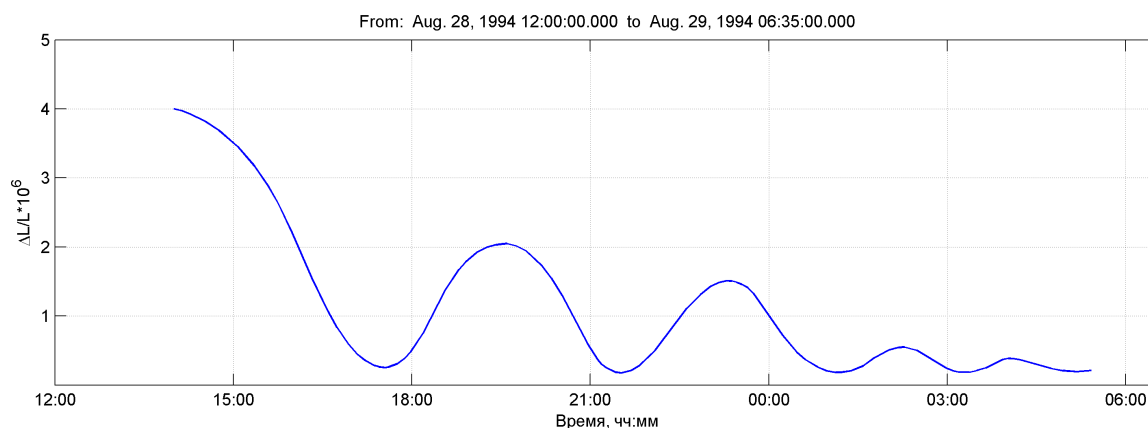


Рис. 2. Временной ход статической составляющей деформации после двухчасовой непрерывной работы вибратора

го типа, которые способны накапливать энергию и затем переизлучать ее в окружающее пространство [12, 28].

Эксперименты по изучению эмиссии, обусловленной „памятью Земли“, являются составной частью общей фундаментальной проблемы, связанной с оценкой роли флюидонасыщенных геологических структур дилатансного типа, введенных в сейсмологическую практику академиком А. С. Алексеевым с целью объяснения условий развития аномальных геолого-геофизических явлений в зонах подготовки землетрясений и построения теории „интегрального предвестника“ крупных сейсмических катастроф.

В 1992 году академик А. С. Алексеев предложил нам продолжить совместные эксперименты по изучению аномальных геолого-геофизических явлений, вызываемых вибровоздействием на геологическую среду, на Быстровском полигоне СО РАН (рис. 3 и рис. 4), где в тот период еще функционировали мощные сейсмические вибраторы.

В проведении полигонных измерений активное участие приняли ученые института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, который в то время возглавлял академик А. С. Алексеев. Эксперименты были согласованы с Председателем Сибирского отделения РАН академиком Добрецовым Николаем Леонтьевичем, который принял нас и внимательно ознакомился с программой экспериментальных работ.

Руководство комплексной экспедицией осуществляли: доктор технических наук, профессор Глинский Б. М. и доктор технических наук, профессор Собисевич Л. Е.

В этот период под руководством академика А. С. Алексеева ученые из института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН активно развивали инновационные вибрационные технологии глубинного зондирования сложно построенных геологических образований, многие из которых востребованы сегодня при изучении литосферы [2, 6].

Геологическое строение Быстровского полигона характеризуется наличием (до глубины 15 м) рыхлой песчано-глинистой толщи, сменяющейся затем (на глубинах порядка 50 м) глинистыми трещиноватыми сланцами. Глубже залегают коренные породы фундамента, представленные глинистыми метаморфизованными сланцами (рис. 5).

Характеризуя условия работ на полигоне, отметим наличие постоянного сейсмоакустического шумового фона в районе расположения вибраторов. Это „белый“ шум, в спектре которого наблюдаются незначительные по амплитуде резонансные всплески, связанные с

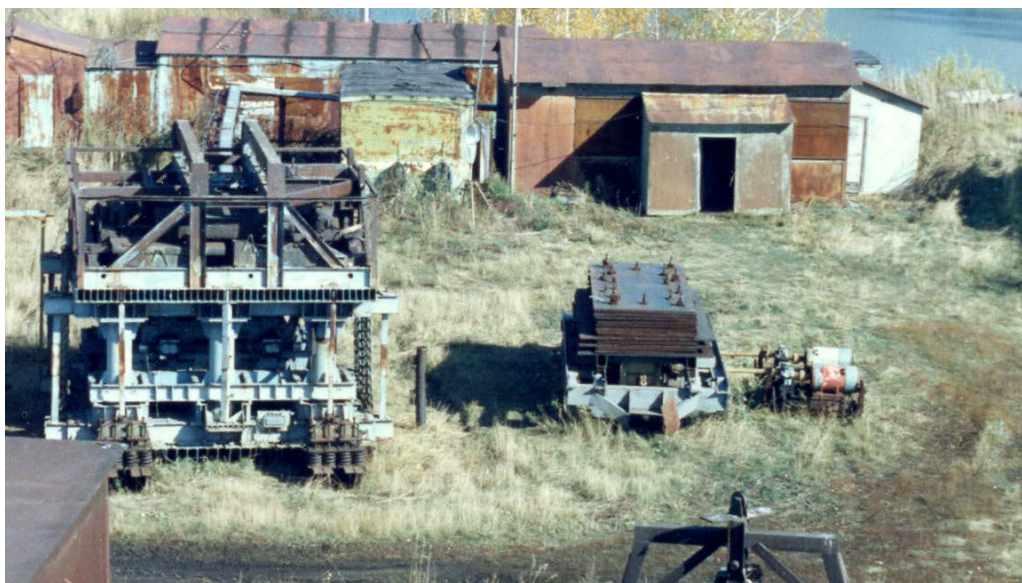


Рис. 3. Мощные сейсмические виброисточники ЦВ-100 и ЦВ-40 на Быстровском геофизическом полигоне СО РАН (фото А. Л. Собисевича)

динамическими явлениями в бассейне Новосибирского моря, на берегу которого и расположен Быстровский полигон.

Колебательные процессы на акватории Новосибирского моря проявляются на сейсмограммах в инфразвуковой области (0.5–1.0 Гц) и в диапазоне 7.5–8.7 Гц, что соответствует первому и второму локальному резонансу полигона. Второй резонанс был открыт экспериментально учеными СО РАН в процессе разработки и исследования мощных вибраторов и в последующем использован для согласования их со средой.

В девяностые годы прошлого столетия вибраторы Быстровского полигона функционировали именно в этом диапазоне частот и оказались способны генерировать мощные сейсмические поля, которые регистрировались за тысячи километров.

Полученные в процессе активных экспериментов новые научные результаты, связанные с изучением „памяти Земли“, позволили сделать важный вывод о том, что каждый изучаемый участок геофизической среды отличается набором характерных резонансных частот [7].

Измерения гравитомагнитных возмущений, наведенных в геосферах в результате вибрационного воздействия на дневную поверхность земли, были выполнены с использованием цифрового индукционного магнитометра конструкции П. Беляева. В процессе проведения экспериментов обеспечивалась приемлемая сейсмическая развязка магнитометра, а запись осуществлялась как непосредственно у источника, так и в отдельных выносных пунктах наблюдений, которые располагались на удалении 1–7 км от работающего вибратора. Здесь впервые в практике инструментальных наблюдений были зарегистрированы наведенные гравитомагнитные возмущения — аномальные волновые структуры, выделяемые в вариациях магнитного поля Земли. При этом амплитуда такого сигнала на удалении 7 км от источника составила (по нашим оценкам) величину порядка 14 пТл [7].

Четыре года спустя ученые СО РАН, используя более совершенную аппаратуру, повторили наши эксперименты на более высоком уровне с использованием усовершенство-



Рис. 4. Гидрорезонансный сейсмический виброисточник ГРВ-50 на Быстровском геофизическом полигоне СО РАН (фото Л. Е. Собисевича)

ванных информационно-измерительных систем и впервые успешно разделили наведенные магнитный и сейсмический сигналы [8].

Открытие наведенных гравитоманнитных возмущений при вибросейсмическом воздействии на геологическую среду привело к необходимости дальнейшего изучения этой фундаментальной проблемы. С этой целью в районе Центрального Кавказа на базе Баксанской нейтринной обсерватории Института ядерных исследований РАН нами были развернуты две полномасштабные геофизические лаборатории (рис. 6). По мере развития измерительной базы создавались новые лаборатории, которые затем объединились в Северокавказскую геофизическую обсерваторию ИФЗ РАН [30]. Помимо стандартной сейсмологической аппаратуры, были установлены магнитные вариометры системы В. Н. Боброва и уникальные кварцевые наклонометры системы Д. Г. Гриднева. На протяжении последних 10 лет ведется постоянный геофизический мониторинг катастрофических эндогенных процессов в масштабах Земли [30, 31].

Развивая затронутую проблему, впервые детально обоснованную в работах академика РАН А. С. Алексеева, обратимся к результатам наших обсерваторских наблюдений последних лет и приведем данные об успешно зафиксированных сейсмогравитационных процессах и гравитоманнитных возмущениях, предвещавших крупные сейсмические мелкофокусные и глубокофокусные землетрясения.

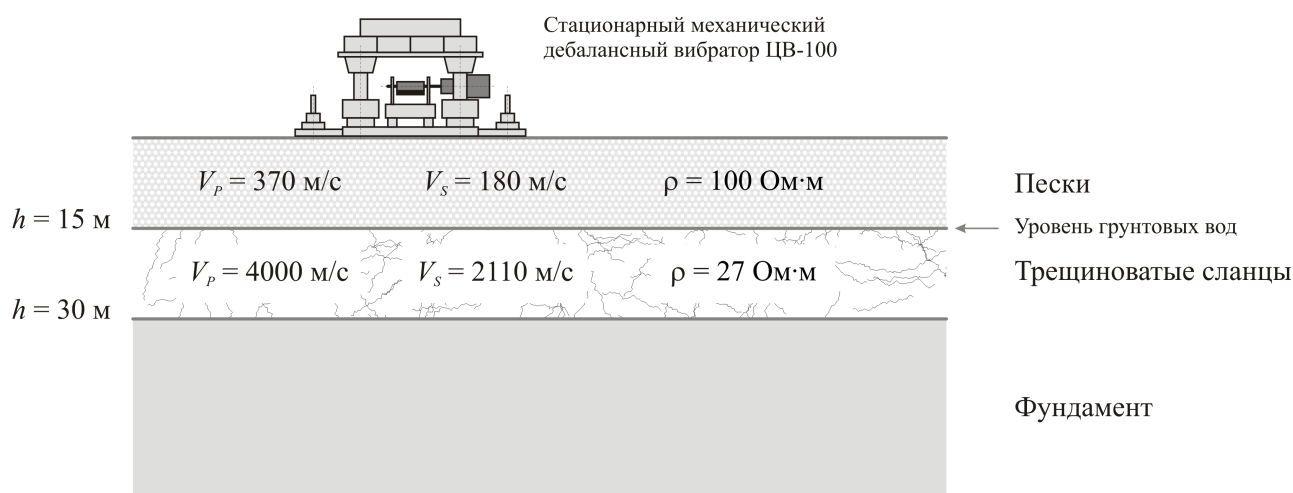


Рис. 5. Геологическое строение полигона

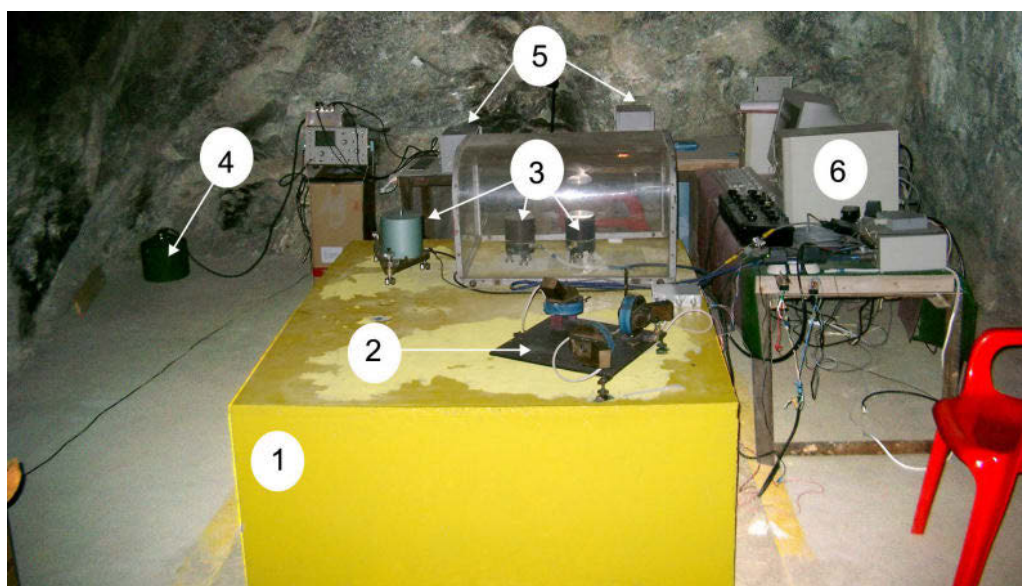


Рис. 6. Инструментальные постаменты лаборатории Северокавказской геофизической обсерватории, расположенной на отметке 4,1 км в боковой вырубке штольни „Вспомогательная“ БНО ИЯИ РАН [13]

Уже первые обсерваторские наблюдения вариаций магнитного поля Земли подтвердили, что крупные сейсмические события всегда предваряются характерными аномальными гравитомангнитными возмущениями в УНЧ диапазоне, которые напоминают сигналы, генерируемые при работе мощных сейсмических виброисточников [11].

В качестве характерного примера, подтверждающего сказанное, проанализируем разрушительное мелкофокусное землетрясение с $M = 7.4$ на границе Ирана и Ирака, которое произошло 12.11.2017 г. Это сейсмическое событие стало сильнейшим за всю историю сейсмологических наблюдений в данном регионе [32].

Установленное положение эпицентра главного удара и проведенный мониторинг афтершокового процесса, наряду с имеющимися данными о макросейсмических проявлениях и решением фокального механизма, позволили составить достаточно полное представление



Координаты $N 43^{\circ}16'$, $E 42^{\circ}41'$, $H 1700$ м. Углубление под гору Анадырчи 1500 м. Габариты камеры $\sim 3 \times 7 \times 4$ м

1 - бетонный постамент 1200*1200*800 мм

2 - трёхкомпонентная магнитно-вариационная станция

3 - наклономерная станция

4 - четырёхканальная сейсмическая станция

5 - автономный регистратор сейсмических процессов

6 - система сбора и передачи геофизической информации

Рис. 7. Лаборатория Северокавказской геофизической обсерватории, расположенная в боковой вырубке штольни „Главная“ БНО ИЯИ РАН на отметке 1,5 км [13]

о строении и сейсмотектонической позиции очага, а зафиксированная структура гравито-магнитных возмущений, наведенных на этапе формирования очаговой области, оказалась достаточно выразительной [32]. Непрерывающийся перестроечный процесс в горной породе, включающий образования дилатансного типа, позволил более оценить условия взаимодействия отдельностей на этапе созревания очага.

Академик А. С. Алексеев в беседах с нами неоднократно подчеркивал, что в периоды подготовки сейсмических катастроф важную роль следует отводить флюидной (в первую очередь водородной или водородно-гелиевой) активности ядра Земли, когда восходящие струи водорода взаимодействуют с горной породой в окрестности „созревающей“ очаговой зоны [1, 4]. Это предположение подтвердилось на практике. Перед землетрясением 12.11.2017 г. на границе Ирака и Ирана информационно-измерительные системы Северокавказской геофизической обсерватории ИФЗ РАН зафиксировали за несколько часов до главного удара гравитомангнитные УНЧ возмущения, которые были подготовлены в том числе и флюидной активностью Земли.

Отметим в этой связи, что сейсмогравитационные и гравитомангнитные возмущения регистрируются практически всегда перед крупными землетрясениями. Эти прогностические эффекты рассматривались и ранее [13, 16, 17, 19, 20, 32–48].

Основные результаты обсерваторских наблюдений анализируемого сейсмического события, которые были зафиксированы как в показаниях наклономерных станций, так и в показаниях магнитных вариометров Северокавказской геофизической обсерватории ИФЗ РАН, приведены на рис. 8.

Для анализа нами был выбран временной интервал 12:00–19:00 12.11.2017 г., в котором были выделены два землетрясения с магнитудой более 5. В процессе анализа полученных

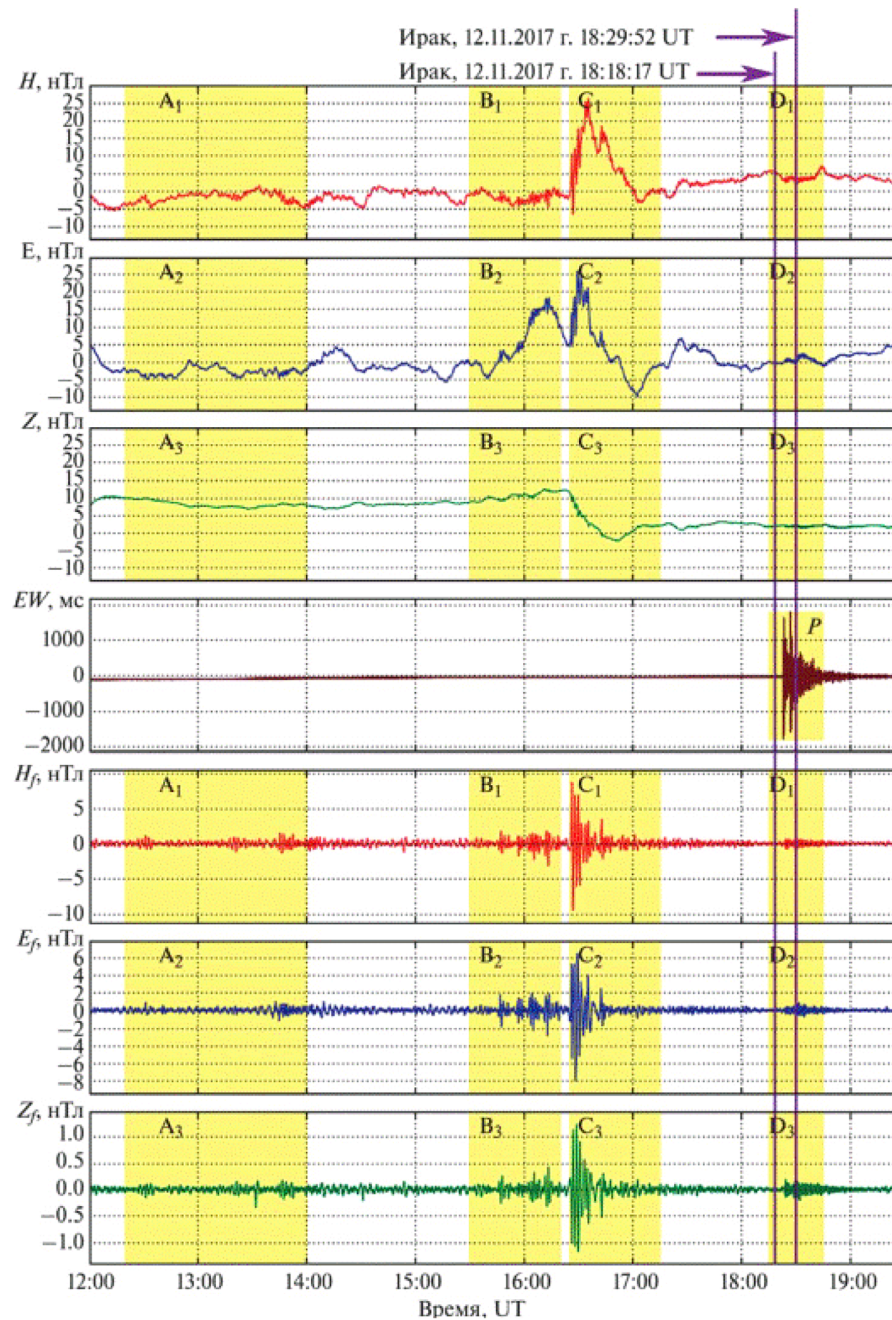


Рис. 8. Показания информационно-измерительных систем Северокавказской геофизической обсерватории ИФЗ РАН, зафиксировавших 12.11.2017 г. землетрясения на границе Ирана и Ирака. Здесь: EW — показания наклономера (Восток–Запад); H , E , Z — вариации магнитного поля Земли; H_f , E_f , Z_f — выделенные инструментально гравитомагнитные возмущения, проявившиеся в вариациях магнитного поля Земли. Вертикальные линии отмечают время в очаге зафиксированных землетрясений:
 1) 18:18:17 UT; $34,905^\circ$ с. ш., $45,956^\circ$ в. д.; $ms = 7.3$; глубина — 19 км;
 2) 18:29:52 UT; $34,914^\circ$ с. ш., $45,599^\circ$ в. д.; $ms = 5.3$; глубина — 10 км

научных результатов удается проследить за последовательностью импульсных сигналов (см., рис. 8, А1, 2, 3 и рис. 9, А1, 2, 3), отражающих структуру гравитомагнитного возмущения, которое закончилось за 4 часа до главного удара. Отмеченная закономерность практически всегда проявляется перед крупными землетрясениями [31, 32].

Следующее характерный всплеск гравитомагнитного возмущения зафиксирован в период 15:30–17:00 (участки В на рис. 8 и рис. 9). Здесь во временном интервале 16:30–17:00 начала развиваться суббуря.

Анализируя протекание геофизических процессов в геосферах в этот период, отметим, что на начальном этапе развития суббури (рис. 8) произошло более чем трехкратное усиление наблюдаемого гравитомагнитного возмущения. Тонкая структура зафиксированного гравитомагнитного возмущения, усиленного развивающейся суббурей, представлена на рис. 9, С.

Полученный результат заставляет подумать о том, что является первичным: наведенные гравитомагнитные возмущения, связанные с сейсмогравитационными процессами в нижних геосферах, формирующими очаг сейсмического события, или развивающаяся суббуря, которая в неустойчивой энергонасыщенной ионосфере может возникнуть даже тогда, когда нет никаких очевидных причин и признаков магнитной бури.

В науках о Земле существует отдельное научное направление, в рамках которого сейсмические катастрофы связывают с магнитными бурями, состоящими из серии суббурь, происходящих настолько часто, что магнитосфера не успевает полностью восстанавливаться. Именно поэтому суббури относят к фундаментальным динамическим процессам, которые следует учитывать при анализе взаимодействий полей в геосферах Земли [15, 34, 49].

В рассматриваемом случае мы имеем дело с пока не изученным до конца явлением, когда развивающаяся суббуря вызвана сейсмогравитационными процессами в отдельно взятом сейсмоактивном районе Земли. При этом необходимо принимать во внимание и тот очевидный факт, что гравитомагнитные возмущения, зарождающиеся в нижних геосферах, „мгновенно“ воздействуют на неустойчивые энергонасыщенные структуры ионосферы, что и становится причиной суббури на фоне развивающегося глобального сейсмогравитационного процесса в нижних геосферах Земли.

Отмеченное геофизическое явление не получило пока удовлетворительного объяснения в научной литературе. Впервые оно было отмечено в работе [31].

Попробуем на примере рассматриваемого землетрясения уточнить, как в очаговой области разномасштабные гравитирующие отдельности горной породы формируют сейсмогравитационные процессы, которые становятся источниками гравитомагнитных возмущений, предвещающих землетрясение.

Прежде всего отметим, что сейсмогравитационный процесс в развивающейся очаговой области анализируемого землетрясения был связан с подвижкой масштабных объемов горной породы.

Подвижки привели к возникновению многочисленных локальных резонансных образований горной породы, в составе которых выделяются преимущественно сейсмические излучающие области, которые могут быть смоделированы излучателями монопольного, дипольного и квадрупольного типа, формирующими результирующее сейсмогравитационное поле на этапе формирования очаговой области [32]. При этом именно излучатели квадрупольного типа ответственны за генерацию длиннопериодного сейсмогравитационного процесса.

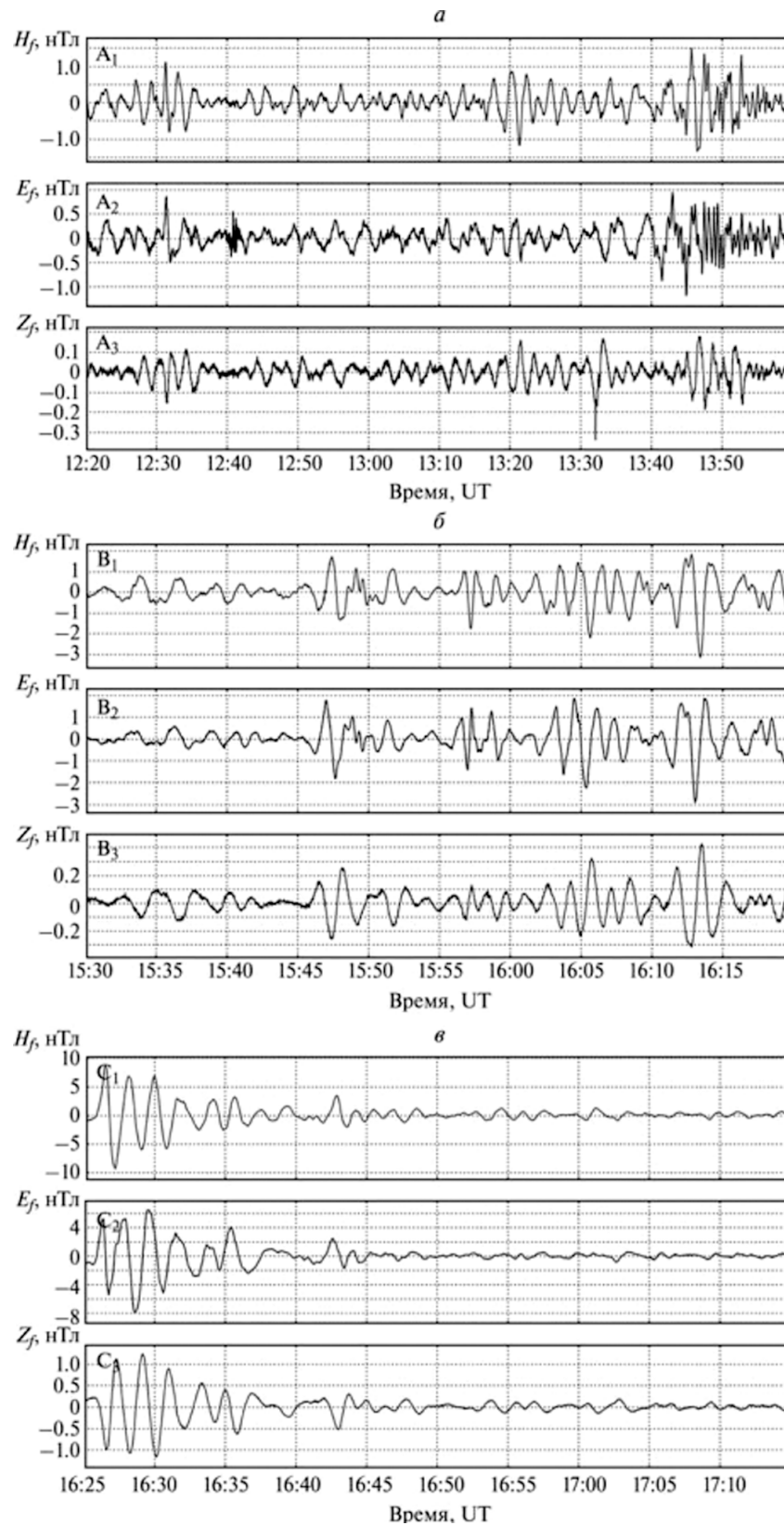


Рис. 9. Развернутая структура УНЧ гравитомангнитных возмущений, зафиксированных в исследуемом регионе в выделенных временных интервалах

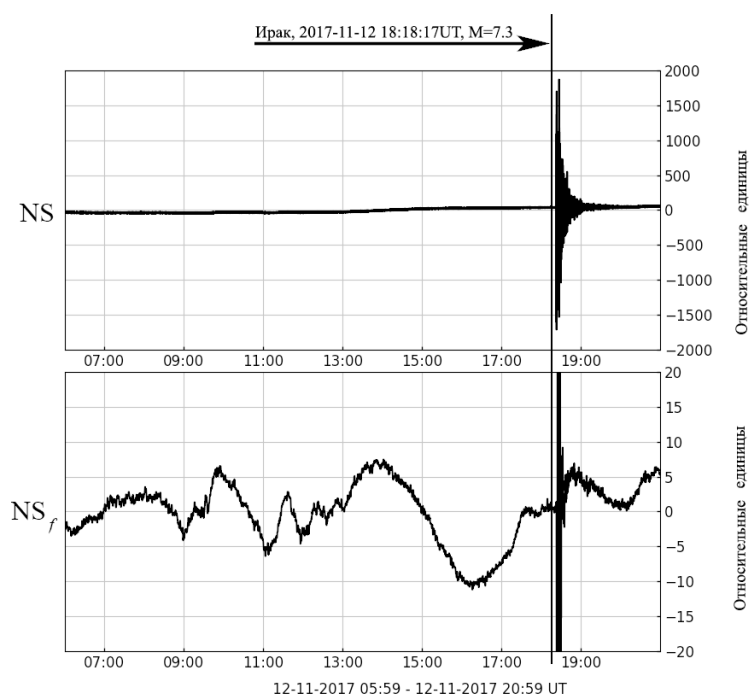


Рис. 10. Землетрясение в Ираке 12.11.2017. Здесь: NS — показания накломера на Северокавказской геофизической обсерватории, ориентированного в азимут „север–юг“; NSf — результаты фильтрации данных накломера в диапазоне 0.04–10 мГц

На рис. 10 приведены данные, которые подтверждают, что сейсмогравитационный процесс сформировался здесь более чем за 7 часов до главного удара. В то время как гравитомагнитные возмущения были зафиксированы аппаратными комплексами Северокавказской геофизической обсерватории ИФЗ РАН только за два с половиной часа до главного удара.

К анализу сейсмогравитационных процессов мы еще вернемся, а сейчас отметим, что в геологических структурах литосферы на границе Ирана и Ирака медленные движения масштабных объемов горной породы, формирующие локальные сейсмогравитационные процессы, могут быть представлены некоторой динамической физической величиной с присущими только ей резонансными особенностями. Отличительная черта такого длиннопериодного сейсмогравитационного „резонатора“ — генерация сейсмогравитационных процессов и сопутствующих гравитомагнитных возмущений, проявляющихся в виде аномалий в структуре геофизических полей Земли. Эти аномалии удастся наблюдать в обсерваторских экспериментах на всех этапах развития масштабных перестроек в локальных геологических образованиях, которые в процессе взаимодействия формируют очаги крупных землетрясений. Они характерны для огромного объема геологической среды, вовлеченного в зону очаговых деформаций, в том числе и при развитии землетрясения на границе Ирана и Ирака 12.11.2017 г.

Сформулированную при такой постановке парадигму, отражающую на фундаментальном уровне всю физическую реальность наведенных волновых процессов в геосферах Земли и сводящуюся к небольшому количеству взаимодействующих полей, следует отнести к одной из важнейших в науках о Земле.

Говоря о сейсмогравитационных процессах, отметим, что открытие этого явления сделали ученые СССР в семидесятые годы прошлого столетия. Профессор Ленинградского государственного университета Евгений Михайлович Линьков вместе со своими коллегами [16, 17, 35–39] зафиксировали экспериментально и проанализировали новое явление — сейсмогравитационные колебания локальных неоднородностей литосферы, предваряющие развитие сейсмического процесса еще до начала активной стадии. Результаты работ ленинградских ученых стали предметом открытия № 217 (1974 г.) „Явление сейсмогравитационных колебаний Земли“ [16, 17, 35–39].

Сегодня зарубежные физики получили новые научные результаты, которые не только подтверждают, но и расширяют открытие наших ученых, сделанное 40 лет назад. Так, было показано, что сейсмогравитационные или, по определению авторов цитируемой работы, опубликовавших полученные ими новые научные результаты в журнале „Science“ [48], упруго-гравитационные колебания разномасштабных отдельностей горной породы в объеме сформировавшегося очага активизировались в момент главного удара на этапе развития землетрясения Тохоку 2011 г.

Эффект активизации деформационных процессов выразился в генерации слабого сейсмогравитационного возмущения. Авторы цитируемой выше научной публикации полагают, что выделенные ими упруго-гравитационные колебания, распространяющиеся со скоростью света, позволят в будущем выходить на энергетическую оценку параметров крупных сейсмических событий.

В этой связи обратимся к нашим инструментальным данным, отражающим процесс развития Великого японского восточного землетрясения (Тохоку).

Землетрясение произошло 11 марта 2011 г. в 05:46 по Гринвичу восточнее о. Хонсю в донных структурах Тихого океана. Характеризуя условия развития очаговых образований и главный удар землетрясения Тохоку, отметим, что он связан общим сейсмогравитационным процессом с подводным землетрясением (которое трактуют как форшок Тохоку), которое произошло 9 марта 2011 г., $M = 7.7$ (http://www.ceme.gsras.ru/cgi-bin/info_quake.pl?mode=1&id=167). Эпицентр этого предварительного удара был пространственно близок по положению к эпицентру главного удара Тохоку.

Исследуемый сейсмогравитационный процесс был зафиксирован наклономерной станцией, установленной на измерительном постаменте Северокавказской геофизической обсерватории ИФЗ РАН и выставленной в азимут „восток-запад“. Зафиксированные сигналы были профильтрованы в полосе 0.04–10 мГц. Время в очагах сильного форшока и землетрясения Тохоку отмечено на графике вертикальными линиями и стрелками (рис. 10 а, б).

Приведенные научные результаты о длиннопериодных сейсмогравитационных процессах в районе развивающихся очагов анализируемых землетрясений получены впервые. Они позволяют с новых позиций проанализировать развитие масштабных гравитирующих отдельностей горной породы в разломно-блоковых структурах формирующегося очага Великого японского землетрясения 2011 г., включая и этап главного удара.

Прежде всего, обратим внимание на тот очевидный факт, что уже за девять суток до форшока (первое зафиксированное землетрясение с $M=7.7$) в океаническом дне начали формироваться очаговые структуры, которые затем образовали единый очаг цунамигенного землетрясения Тохоку. Об этом свидетельствуют зафиксированные и выделенные фильтрованием первый (а) и второй (б) длиннопериодные сейсмогравитационные процессы **EWf**. Наблюдаемые подвижки масштабных отдельностей горной породы ста-

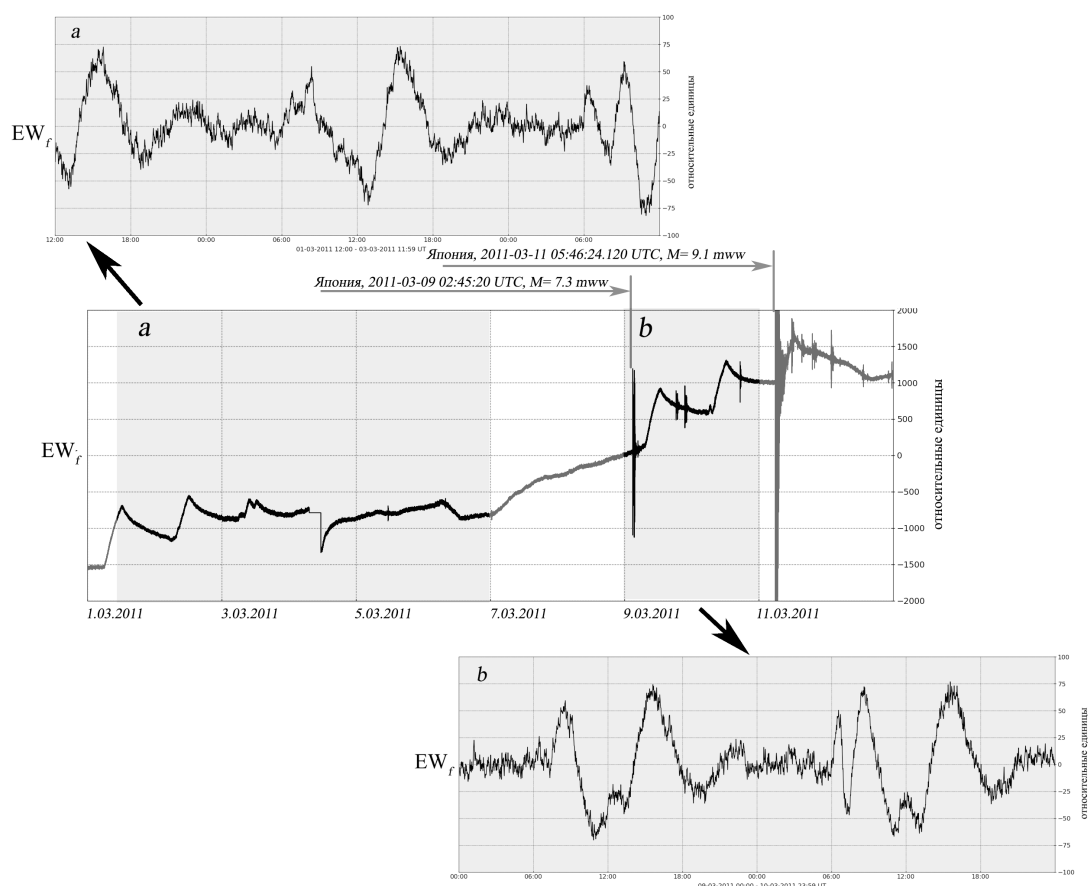


Рис. 11. Северокавказская геофизическая обсерватория ИФЗ РАН. Записи форшока и землетрясения Тохоку. Время в очаге событий отмечено стрелками и вертикальными линиями. EW_f — показания наклонометра, установленного в азимут „восток-запад“. Приведены данные развивающихся локальных сейсмогравитационных процессов (фрагменты выделены цветом), отражающих формирование очаговых структур в период 1–12 марта 2011 г. для двух зафиксированных японских землетрясений: форшока $M=7.7$, (а) и Тохоку $M=9.1$ (b). Здесь: а, b — длиннопериодные сейсмогравитационные процесс, выделенный фильтрованием в диапазоне частот 0.04–6.0 мГц

ли определяющими в подготовке обширной возмущенной области в структурах морского дна, где и сформировался очаг форшока, который после разрушения стал основой очага катастрофического цунамигенного землетрясения Тохоку.

Объем статьи не позволяет детально изложить полученные новые научные результаты, отражающие открытое сейсмическое явление. Они будут отражены в последующих публикациях. Здесь, подводя итоги краткого анализа, скажем только несколько слов о гравитоманнитных возмущениях, предваряющих развитие крупных сейсмических катастроф. Они отчетливо проявляются на фоне развивающегося сейсмогравитационного процесса при умеренной магнитной обстановке на Земле и могут выступать в качестве краткосрочных предвестников. Важной особенностью этих структур является тот факт, что возмущения фиксируются существующими аппаратными комплексами в масштабах всей Земли.

Примером сказанному могут служить, например, землетрясения, которые часто происходят в окрестности о. Тонга.

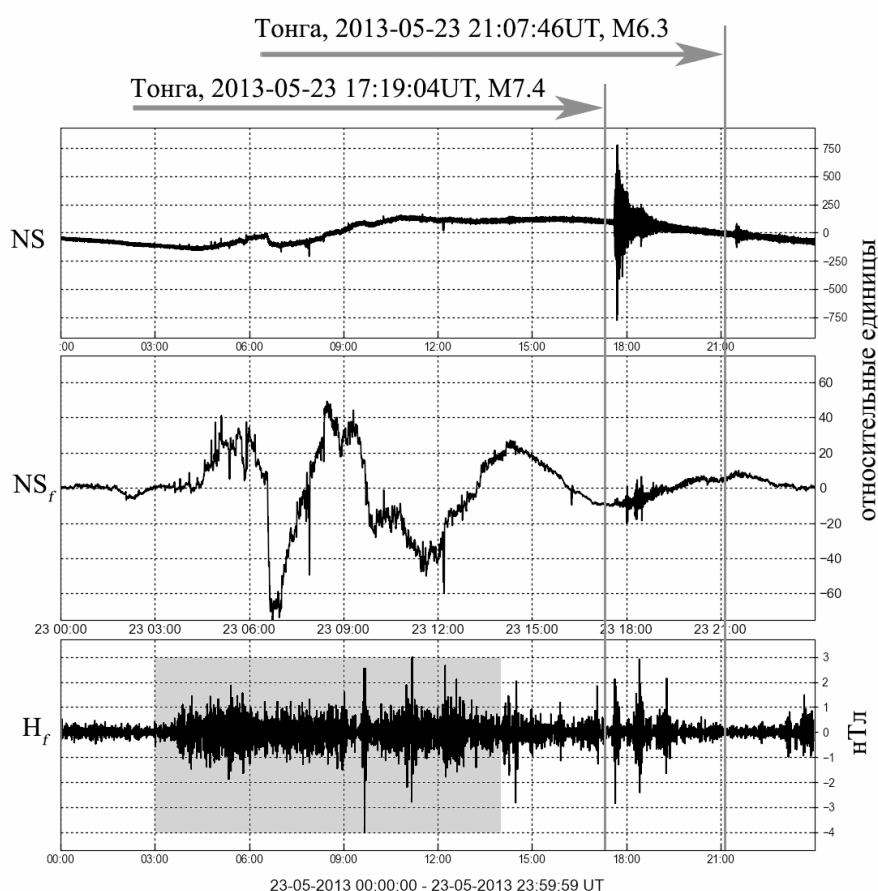


Рис. 12. Северокавказская геофизическая обсерватория ИФЗ РАН. Зафиксированное землетрясение в районе о. Тонга, которое предварялось сейсмогравитационным процессом и проявившимися на его фоне гравитомагнитными возмущениями. Здесь: NS — показания наклономера, выставленного в азимут „север–юг“. Лаборатория № 3 Северокавказской геофизической обсерватории в г. Нальчик.

NSf — сейсмогравитационный процесс, зафиксированный наклономером, выставленным в азимут „север–юг“. Сигналы профильтрованы в полосе 0.04–10 мГц. Hf, — показания северной компоненты напряженности магнитного поля, профильтрованные в диапазоне 3–100 мГц

На представленном ниже графике показаны результаты аппаратного мониторинга выбранных характерных сейсмических событий в этом регионе (рис. 12).

Выделенные здесь сейсмогравитационные процессы и сопутствующие гравитомагнитные возмущения являются составной частью наведенных полей, которые зарождаются в очаговых зонах созревающих сейсмических катастроф и изучаются сегодня достаточно активно. Эти поля достаточно информативны, и их часто рекомендуют рассматривать в качестве среднесрочных или краткосрочных предвестников.

Сегодня в геофизике определены фундаментальные поля, которые используются для описания картины мироздания. Исторически среди фундаментальных полей сначала были обнаружены поля, ответственные за электромагнитное (электрическое и магнитное поля, затем объединенные в электромагнитное поле) и гравитационное взаимодействие. Они активно изучаются в рамках теоретической и экспериментальной физики, открывая новые горизонты познания мира. Примером тому гравитационные волны, которые были успеш-

но зарегистрированы 14.09.2015 г. в 9:51 UTC двумя детекторами LIGO в Хэнфорде и Ливингстоне [50].

Научное открытие группы физиков из США, России и других стран, отмеченное Нобелевской премией, заставляет по-новому взглянуть и на сейсмогравитационные процессы в геосферах Земли, связанные с подготовкой и развитием крупных геофизических катастроф. Геофизики должны более глубоко изучить природу сейсмогравитационных процессов и оценить их роль в формировании природных катастроф.

Обсерваторские геофизические комплексы Северокавказской геофизической обсерватории ИФЗ РАН постоянно фиксируют наличие сейсмогравитационных взаимодействий на уровне „ближних“ полей. Эти научные данные могут стать той фундаментальной основой, которая в будущем позволит понять глубинную природу сейсмогравитационных и сопутствующих наведенных гравитоманнитных возмущений в литосфере и других геосферах Земли.

Заключение. Анализируя получаемые новые научные результаты, мы всегда помним добрые советы академика РАН Анатолия Семеновича Алексеева, который научил нас с новых позиций подходить к анализу сложных волновых структур, генерируемых при активной перестройке образований дилатансного типа и других структур в реальной геофизической среде [51, 52].

В свете изложенного становится понятным, что экспериментальное изучение выделенного нами в последние годы отдельного класса фундаментальных задач, связанных с формированием длиннопериодных сейсмогравитационных процессов и УНЧ гравитоманнитных возмущений в геосферах, становится сегодня одной из определяющих проблем геофизики [53, 54]. Сейсмогравитационные процессы и гравитоманнитные возмущения, зарегистрированные на больших расстояниях от очаговой области, содержат ценную научную информацию о геофизических процессах, развивающихся в очаговых структурах перед главным ударом. Для использования такой информации в целях реального прогноза ожидаемых места и времени грядущей сейсмической катастрофы следует развивать сеть обсерваторских наблюдений, отражающих отдельные этапы формирования очаговых структур, совершенствовать геофизическую аппаратуру, комплексно использовать другие известные технологии, позволяющие выходить на прогнозные оценки условий развития крупных землетрясений.

Заканчивая краткое изложение ряда новых идей и полученных научных результатов, многие из которых еще на начальной стадии обсуждались с Анатолием Семеновичем Алексеевым, нам хочется отметить, что актуальные проблемы активной сейсмологии и задачи, связанные с прогнозом землетрясений, всегда были в его поле зрения.

Так в конце января 2007 года, будучи уже больным, Анатолий Семенович писал нам:

«Изучение тонкой структуры строения геометрических и вещественных неоднородностей мантии и ядра Земли становится, по-видимому, не только задачей геотектоники. Дренажная система тепломассопереноса из ядра в поверхностные слои может представлять практический интерес для прогноза углеводородных провинций и локальных структур. Эволюция указанных неоднородностей может иметь фундаментальное значение для оценки условий возникновения и эволюции биосферы.

По этим причинам приобретает актуальность создание метода „Вибропросвечивания мантии и ядра Земли“, эквивалентного (по разрешающей способности и разработанности математического обеспечения, схем наблюдения, количественной обработки, интерпретации и визуализации) хорошо разработанному методу сейсморазведки.

Существенно новой научно-технической проблемой здесь является создание прецизионно управляемого, мощного (5–10 тысяч тонн) дешевого и легко монтируемого, экологически безопасного вибрационного источника. Проект такого источника уже просматривается. Он в научно-техническом отношении может основываться на принципах, развитых в успешно созданном методе ВПЗ для земной коры (в частности, на гидро-резонансном принципе с совмещением нескольких опробованных ГРВ в обойму: или на дебалансном принципе) более двух десятков лет используемом в России, а последние годы и в Японии.

В сложившейся ситуации считаю необходимым создание нужных источников и метода для детального изучения мантии и ядра Земли, для чего целесообразно организовать работу, используя опыт работ СО РАН по темам „Вибропросвечивание Земли“ и „Активной сейсмологии“.

Прошу сообщить ваши замечания и предложения по поводу целесообразности и реальности организации обсуждаемого проекта в СО РАН.

В приложении (ниже) дан обзор научных и практических аспектов дегазации Земли. Изучение дренажных систем газогидродинамики может выполняться в рамках упомянутого „Проекта ВПЗ-2“.

А. С. Алексеев“.

Настанет время, и научный задел академика Анатолия Семеновича Алексеева будет еще более востребован. Молодое поколение ученых СО РАН построит мощные сейсмические вибраторы и проведет управляемые эксперименты, которые позволят заглянуть в глубинные структуры ядра Земли, активно воздействующего на другие геосферы [4].

Список литературы

1. Алексеев А. С. Современные обратные задачи геофизики в проблеме многодисциплинарного прогноза землетрясений // Развитие методов и средств экспериментальной геофизики. Вып. 1. М.: ИФЗ РАН, 1993. С. 9–24.
2. Алексеев А. С., Глинский Б. М., Ковалевский В. В., Пушной Б. М. Принципы создания вибросейсмических источников для глобальной томографии Земли // Развитие методов и средств экспериментальной геофизики. Сб. научн. тр. Вып. 2. М.: ОИФЗ РАН, 1996. С. 149–155.
3. Алексеев А. С., Еманов А. Ф., Глинский Б. М., Ковалевский В. В., Михайленко Б. Г., Селезнев С. В., Юшин В. И., Хайретдинов М. С., Касахара Д., Сато Т., Мочизуки К. Изучение структуры вибросейсмического поля мощных источников // Проблемы геоакустики: методы и средства. М. Изд. Моск. Госуд. горн. Унив., 1996. С. 155–160.
4. Алексеев А. С., Глинский Б. М., Ковалевский В. В., Собисевич Л. Е., Собисевич А. Л. Гидрорезонансные источники сейсмических полей в технологиях активной томографии ядра Земли // Всероссийская конференция „Внутреннее ядро Земли. Геофизическая информация о процессах в ядре“. Тезисы докладов. РАН, РФФИ, МПНТ РФ. Москва. 2000. С. 94.
5. Алексеев А. С., Глинский Б. М., Еманов А. Ф., Кашун В. Н., Ковалевский В. В., Манштейн А. К., Селезнев В. С., Сердюков С. В., Соловьев В. М., Собисевич А. Л., Собисевич Л. Е., Хайретдинов М. С., Чичинин И. С., Юшин В. И. Новые геотехнологии и комплексные геофизические методы изучения внутренней структуры и динамики геосфер. Монография. М.: ОИФЗ РАН, 2002.
6. Алексеев А. С., Глинский Б. М., Имомназаров Х. Х., Ковалевский В. В., Собисевич Л. Е., Хайретдинов М. С., Цибульчик Г. М. Мониторинг геометрии и физических свойств „поверхностной“ и „очаговой“ дилатантных зон методом вибросейсмического просвечивания сейсмоопасных

участков земной коры // Статья в коллективной монографии „Изменения природной среды и климата. Природные катастрофы. Часть 1“. Под ред. академика Н. П. Лаверова. Т. 1. М.: ИФЗ РАН. 2008. С. 179–222.

7. Глинский Б. М., Ивакин А. Н., Ковалевский В. В., Левшенко В. Т., Руденко О. В., Собисевич А. Л., Собисевич Л. Е. Изучение сейсмоманнитных эффектов, возникающих при вибровоздействии на среду. ИФЗ РАН. Развитие методов и средств экспериментальной геофизики. Вып. 2. 1996. С. 226–234.

8. Кузнецов В. В., Плоткин В. В., Хомутов С. Ю. Акустические и электромагнитные явления при виброакустическом зондировании // ДАН. 2000. Т. 370. № 2. С. 273–248.

9. Николаевский В. Н., Собисевич Л. Е. Природа бифокального очага землетрясения и предвестники удара // Геофизический журнал. 2015. Т. 37. № 4. С. 51–74.

10. Собисевич А. Л. Избранные задачи математической геофизики и вулканологии. М.: ИФЗ РАН. 2010.

11. Собисевич Л. Е., Канониди К. Х., Собисевич А. Л. Наблюдения УНЧ геомагнитных возмущений, отражающих процессы подготовки и развития цунамигенных землетрясений // ДАН. 2010. Т. 435. № 4. С. 548–553.

12. Собисевич А. Л. Избранные задачи математической геофизики, вулканологии и геоэкологии. Т. 1. Москва: Изд. ИФЗ РАН, 2012.

13. Собисевич А. Л. Избранные задачи математической геофизики, вулканологии и геоэкологии. Т. 2. Северокавказская геофизическая обсерватория. Создание, анализ результатов наблюдений. Москва: Изд. ИФЗ РАН, 2013.

14. Собисевич Л. Е., Канониди К. Х., Собисевич А. Л. Ультранизкочастотные электромагнитные возмущения, возникающие перед сильными сейсмическими событиями // ДАН. 2009. Т. 429. № 5. С. 688–672.

15. Гохберг М. Б., Шалимов С. Л. Воздействие землетрясений и взрывов на ионосферу. М.: Наука. 2008.

16. Линьков Е. М., Петрова Л. Н. Опыт регистрации длиннопериодных колебаний с помощью магнетронного сейсмографа // В сборнике „Исследование длиннопериодных сейсмических волн“. Минск. 1976. С. 52–57.

17. Линьков Е. М., Петрова Л. Н., Савина Н. Г., Яновская Т. Б. Сверхдлиннопериодные колебания Земли // Докл. АН СССР. 1982. Т. 262. № 2. С. 321–324.

18. Линьков Е. М. Сейсмические явления. Л.: Изд-во ЛГУ. 1987.

19. Липеровский В. А., Гладышев В. А., Шалимов С. С. Литосферно-ионосферные связи перед землетрясениями // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1991. № 3. С. 26–35.

20. Липеровский В. А., Похотелов О. А., Шалимов С. Л. Ионосферные предвестники землетрясений. М.: Наука. 1992.

21. Моргунов В. А., Матвеев И. В., Степанов А. В. Электричество атмосферы в зоне тектонического разлома // Магнитосферные исследования. М.: Наука. 1990. № 15. С. 65–68.

22. Собисевич А. Л. Гравитоманетизм. результаты обсерваторских наблюдений // ДАН. 2018. Т. 480. № 5. С. 587–591.

23. Moore G. W. Magnetic disturbances preceding the 1964 StateplaceAlaska earthquake // Nature. 1964. Vol. 203. P. 508–509.

24. Гохберг М. Б., Пилипенко В. А., Похотелов О. А. О сейсмических предвестниках в ионосфере // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1983. № 10. С. 17–21.

25. Гохберг М. Б., Моргунов В. А., Похотелов О. А. Сейсмoeлектромагнитные явления. М.: Наука. 1988.

26. Гохберг М. Б., Стеблов Г. М., Шалимов С. Л., Вейс В. А., Грехова Е. А. Ионосферный отклик на подводное землетрясение в Японии 11.03.2011 г. по наблюдениям со спутников GPS // Геофизические процессы и биосфера. 2011. Т. 10. № 1. С. 47–63.

27. Гульельми А. В., Зотов О. Д. Явление синхронизма в динамической системе магнитосфера–техносфера–литосфера // *Физика Земли*. 2012. № 6. С. 23–33.
28. Собисевич А. Л. Мониторинг слоистых неоднородных сред. М.: ОИФЗ РАН. 2001.
29. Соболев Г. А. Физика очага и прогноз землетрясений. М.: Геофизический центр РАН. 1992.
30. Собисевич А. Л., Гриднев Д. Г., Собисевич Л. Е., Канониди К. Х. Аппаратурный комплекс Северокавказской геофизической обсерватории // *Сейсмические приборы*. 2008. Т. 44. С. 12–25.
31. Собисевич А. Л., Собисевич Л. Е., Канониди К. Х., Лиходеев Д. В. О гравимагнитных возмущениях, предвещающих сейсмические события // *ДАН*. 2017. Т. 475. № 4. С. 1–4.
32. Рогожин Е. А., Собисевич А. Л., Собисевич Л. Е., Канониди К. Х. О разрушительном землетрясении на границе Ирана с Ираком // *Геофизические процессы и биосфера*. 2018. Т. 17, № 2. С. 93–110.
33. Гульельми А. В., Собисевич Л. Е., Собисевич А. Л., Лавров И. П. О форшоках сильных землетрясений // *Физика Земли*. 2014. № 4. С. 43–49.
34. Гульельми А. В., Лавров И. П., Собисевич А. Л. Внезапные начала магнитных бурь и землетрясения // *Солнечно-земная физика*. 2015. Т. 1. № 1. С. 98–103.
35. Линьков Е. М., Орлов Е. Г., Петрова Л. Н., Карпинский В. В. Сейсмогравитационный комплекс // *Развитие методов и средств экспериментальной геофизики* М. 1996. С. 252–259.
36. Линьков Е. М., Петрова Л. Н., Дунаев А. В. Наблюдения длиннопериодных колебаний Земли горизонтальным сейсмографом на антиклинальной платформе // В кн.: *Сейсмические приборы*. М.: Наука, 1988. Вып. 20. С. 90–96.
37. Линьков Е. М., Петрова Л. Н., Зурошвили Д. Д. Сейсмогравитационные колебания Земли и связанные с ними возмущения атмосферы // *Докл. АН СССР*. 1989. Т. 306. № 2. С. 314–317.
38. Линьков Е. М., Петрова Л. Н., Осипов К. Ц. Сейсмогравитационные пульсации Земли и возмущения атмосферы как возможные предвестники сильных землетрясений // *Докл. АН СССР*. 1990. № 5. С. 1095–1098.
39. Линьков Е. М., Типисев С. Я., Буценко В. В. Помехоустойчивость длиннопериодного сейсмографа и анализ его записей // *Геофизическая аппаратура*. 1982. Вып. 75. С. 78–87.
40. Fraser-Smith A. C., Bernardi A., McGill P. R., Ladd M. E., Helliwell R. A., Villard Jr O. G., 1990. Low-frequency magnetic field measurements near the epicenter of the MS 7.1 Loma Prieta earthquake. *Geophys. Res. Lett.* 17 (9), 1465–1468.
41. Fraser-Smith A. C. Effect of man on the geomagnetic activity and pulsations // *Adv. Space Res.* 1981. V. 1. P. 455–466.
42. Fraser-Smith A. C. Ultralow-Frequency Magnetic Fields Preceding Large Earthquakes // *Eos*. 2008. Vol. 89. N. 23. P. 211.
43. Fraser-Smith A. C. Weekend increase in geomagnetic activity // *J. Geophys. Res.* 1979. Vol. 84(A5). P. 2089–2096.
44. Kopytenko Y., Ismagilov V., Hayakawa M., Smirnova N., Troyan V., Peterson T. Investigation of the ULF electromagnetic phenomena related to earthquakes: contemporary achievements and the perspectives // *Annali di Geofisika*. 2001. Vol. 44. N 2. P. 325–334.
45. Kopytenko Yu. A., Ismaguilov V. S., Hattori K., Voronov P. M., Hayakawa M., Molchanov O. A., Kopytenko E. A., Zaitsev D. B. Monitoring of the ULF electromagnetic disturbances at the station network before EQ in seismic zones of Izu and placeCityChiba peninsulas. In: „Seismo Electromagnetics: Litosphere-Atmosphere-Ionosphere Coupling“. Eds. M. Hayakawa and O. A. Molchanov. placeCityTokyo: TERRAPUB. 2002. P. 11–18.
46. Kopytenko Yu. A., Matiashvili T. G., Voronov P. M., Kopytenko E. A., Molchanov O. A. Detection of Ultra-Low Frequency emissions connected with the Spitak Earthquake and its aftershock activity based on geomagnetic pulsations data at Dusheti and Vardzia observatories // *Phys. Earth and Planet. Inter.* 1993. Vol. 77. P. 85–95.

47. Kopytenko, Yu. A., Matiashevili T. G., Voronov P. M., Kopytenko E. A., and Molchanov O. A. Detection of ultra-low-frequency emissions connected with the Spitak earthquake and its aftershock activity, based on geomagnetic pulsations data at Dusheti and Vardzia observatories. *Phys. Earth Planet. Int.* 1993. P. 85–95.
48. Vallée M., Ampuero J. P., Juhel K., Bernard P., Montagner J.-P., Barsuglia M. Observations and modeling of the elastogravity signals preceding direct seismic waves // *Science*. 2017. V. 358. № 6367. P. 1164–1168.
49. Барсуков О. М. Солнечные вспышки, внезапные начала и землетрясения // *Физика Земли*. 1991. № 12. С. 93–96.
50. Abbot B. P. et al. Observation of gravitational waves from a binary black hole merger // *Phys. Rev. Lett.* 2016. V. 116. N 6. P. 061102. DOI 10.1103/PhysRevLett.116.061102.
51. Маков Ю. Н., Руденко О. В., Собисевич Л. Е., Собисевич А. Л. О резонансных явлениях в геофизической среде // *Сб. научн. тр. Развитие методов и средств экспериментальной геофизики*. М.: ОИФЗ РАН. 1996. Вып. 2. С. 194–200.
52. Маков Ю. Н., Собисевич А. Л. Влияние сейсмического вибрационного воздействия на устойчивость процесса вытеснения жидкости из флюидонасыщенной среды // *Сб. научн. тр. Развитие методов и средств экспериментальной геофизики*. М.: ОИФЗ РАН. 1996. Вып. 2. С. 187–193.
53. Собисевич Л. Е., Собисевич А. Л. Волновые процессы и резонансы в геофизике. М.: ОИФЗ РАН. 2001.
54. Собисевич Л. Е., Канониди К. Х., Собисевич А. Л. О механизме формирования очагов глубоководных землетрясений // *ДАН*. 2014. Т. 459. № 1. С. 100–105.



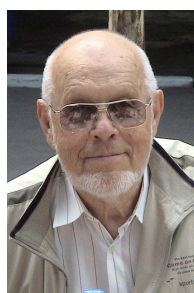
Собисевич Алексей Леонидович — д-р физ.-мат. наук, чл.-корр. РАН, главн. науч. сотр. Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, e-mail: alex@ifz.ru.

Специалист в области математической геофизики, вулканологии и геоэкологии, в числе достижений — разработка основ теории наведенных волновых процессов в геологических образованиях резонансного типа, изучение флюидно-магматических систем Северного Кавказа, участие в создании Северокавказской геофизической обсерватории.

Alexey L. Sobisievch, doctor of physical and mathematical sciences, corresponding member of RAS, principal researcher at the Schmidt Institute of Physics of the Earth of RAS, e-mail: alex@ifz.ru, phone: +7 (499) 254-90-80.

Specialist in the field of mathematical geophysics, volcanology and geoecology, among the achievements is the development of the foundations of the theory of induced wave processes in geological formations of the resonance type, the study of fluid-magmatic systems in

the Northern Caucasus, and participation in the creation of the Geophysical observatory in Northern Caucasus.



Собисевич Леонид Евгеньевич — д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ, главн. науч. сотр. Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, e-mail: sobis@ifz.ru.

Специалист в области гео-гидроакустики, прикладной геофизики и геоэкологии, в числе достижений — экспериментальное обнаружение и изучение магнитных возмущений, наводимых в геосферах при подготовке крупных сейсмических событий, разработка научных основ новых геофизических технологий двойного назначения для обнаружения малозумных подводных объектов и разведки углеводородов в Арктике.

Leonid E. Sobisievch, doctor of technical sciences, professor, principal researcher at the Schmidt Institute of Physics of the Earth of RAS, e-mail: sobis@ifz.ru, phone: +7 (499) 254-87-52.

Specialist in the field of geo-hydroacoustics, applied geophysics and geoecology, among the achievements is the experimental detection and study of magnetic disturbances induced in geospheres in the preparation of strong seismic events, the development of scientific foundations for new geophysical paramilitary technologies for the detection of low-noise underwater objects and hydrocarbon exploration in the placeArctic.

Дата поступления — 07.09.2018