

УДК 550.385.3, 550.343

DOI 10.18522/0321-3005-2017-1-118-123

ГРАВИМАГНИТНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

© 2017 г. Л.Е. Собисевич, Д.В. Лиходеев, Х.Д. Канониди, К.Х. Канониди

GRAVIMAGNETIC PERTURBATIONS AND EARTHQUAKES

L.E. Sobisevich, D.V. Likhodeev, Kh.D. Kanonidi, K.Kh. Kanonidi

Собисевич Леонид Евгеньевич – Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, доктор технических наук, главный научный сотрудник, ул. Большая Грузинская, 10, г. Москва, 123995, Россия, e-mail: sobis@ifz.ru

Лиходеев Дмитрий Владимирович – Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник, ул. Большая Грузинская, 10, г. Москва, 123995, Россия, e-mail: dmitry@ifz.ru

Канониди Харлампий Дмитриевич – Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, кандидат физико-математических наук, заведующий сектором магнитно-ионосферных взаимодействий, Калужское шоссе, 4, г. Троицк, Московская область, 142191, Россия, e-mail: kanonidi@izmiran.ru

Канониди Константин Харлампиевич – Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, старший научный сотрудник, Калужское шоссе, 4, г. Троицк, Московская область, 142191, Россия, e-mail: kkkh@izmiran.ru

Leonid E. Sobisevich – Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Science, Main Researcher, Bolshaya Gruzinskaya St., 10, Moscow, 123995, Russia, e-mail: sobis@ifz.ru

Dmitry V. Likhodeev – Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Candidate of Physics and Mathematics, Researcher, Bolshaya Gruzinskaya St., 10, Moscow, 123995, Russia, e-mail: dmitry@ifz.ru

Kharlampiy D. Kanonidi – Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation, Russian Academy of Sciences, Candidate of Physics and Mathematics, Head of Sector of Magnetic-Ionospheric Interactions, Kaluzhskoe Highway, 4, Troitsk, Moscow Region, 142191, Russia, e-mail: kanonidi@izmiran.ru

Konstantin Kh. Kanonidi – Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation, Russian Academy of Sciences, Senior Researcher, Kaluzhskoe Highway, 4, Troitsk, Moscow Region, 142191, Russia, e-mail: kkkh@izmiran.ru

Рассматриваются отличительные особенности гравимагнитных возмущений, наблюдаемых в структуре геофизических полей при развитии сейсмического процесса. Проведен анализ обсерваторских наблюдений вариаций магнитного поля Земли перед крупными сейсмическими событиями. Отмечены некоторые характерные особенности, проявившиеся в процессе развития изучаемого сейсмического процесса перед главным ударом. Выявлено изменение частоты фиксируемых сигналов по мере приближения главного сейсмического удара. Приводятся примеры регистрации вариаций магнитного поля перед землетрясениями в океане и на суше. Первый относится к гравимагнитному возмущению, которое зафиксировано приборами Северокавказской геофизической обсерватории ИФЗ РАН на этапе подготовки и развития сейсмического события 19 марта 2009 г. в районе островов Тонга. Событие отличается характерными квазигармоническими формами, что свидетельствует о наличии в развивающейся очаговой зоне флюид насыщенных дилатантных структур резонансного типа. Во втором примере рассматривается серия землетрясений, которые потрясли Непал начиная с 25 апреля 2015 г. Первое землетрясение, магнитуда которого по разным оценкам составила 7,5–7,9, было сильнейшим. За ним последовал афтершок с магнитудой 6,8. Непосредственно перед этими сейсмическими ударами магнитный фон в регионе начал монотонно возрастать за четыре часа до землетрясения.

На основании многочисленных наблюдений делается вывод о появлении гравимагнитных возмущений за 2–4 ч перед сейсмическим событием.

Ключевые слова: предвестники землетрясений, гравимагнитные возмущения, дилатантные образования, УНЧ-вариации магнитного поля.

Specific features of the gravimagnetic perturbations observed in the structure of geophysical fields accompanying the development of seismic process are considered. Analysis of the observational data on variations in Earth's magnetic field prior to and along with strong seismic events has been carried out. It has been emphasized that certain features of the observed waveforms originate in the course of preparation of the studied seismic process before the main event. The frequency variation for the mentioned waveforms depending on their temporal proximity to the main seismic event has been revealed. Examples of the registered variations in magnetic field prior to significant earthquakes occurred on-shore and at the ocean bottom are presented. The first example illustrates a gravimagnetic perturbation recorded by the instruments at the Geophysical observatory in Northern Caucasus in the course of preparation and development of the March 19, 2009 earthquake in the Tonga Islands region. This seismic event features specific quasi-harmonic waveforms indicating the existence of the fluid-saturated dilatant structures of resonant type in the developing focal domain. Second example is related to a series of earthquakes that stressed Nepal starting from 25 April, 2015. The first and the strongest earthquake with magnitude estimated as of 7.5–7.9 has been followed by the aftershock with magnitude 6.8. Just before these seismic blows, the magnetic background has begun to increase in the region monotonously in four hours prior to an earthquake. Thus, on the basis of numerous instrumental observations the appearance of gravimagnetic perturbations in the time interval of 2-4 hours prior to strong seismic events is suggested.

Keywords: earthquake precursors, gravimagnetic perturbation, dilatant education, ULF magnetic field variations.

В последние годы XX и в начале XXI столетия расширилась область исследований, посвященная вопросам энергетических взаимодействий в геосферах Земли. Установлено, что воздействие на внешние геосферы возможно и со стороны внутренних оболочек Земли.

Твердая оболочка Земли (литосфера) постоянно находится в неравновесном напряженно-деформированном состоянии. Отдельные разломно-блоковые структурные элементы этого образования способны возбуждаться грозовой деятельностью, взаимодействием атмосферных потоков с подстилающей поверхностью, выбросами энергии и массы как естественного, так и искусственного происхождения при землетрясениях, взрывах, извержениях вулканов, а также во время работы различного рода мощных технических устройств.

Касаясь исторической стороны проблемы, отметим, что широкомасштабные поиски магнитных возмущений – предвестников, развернутые в 70-е гг. на территории СССР, привели российских ученых к выделению ряда характерных сигналов, которые наблюдались перед землетрясениями. Здесь следует отметить работы наших ученых, выполненные в 70-е гг. XX в. Они были связаны с исследованиями импульсного электромагнитного излучения, возникающего перед сильными сейсмическими событиями [1–3].

Однако путь исследовательских поисков предвестников крупных геофизических катастроф в сейсмически активных регионах планеты до сих пор остается сложным и неоднозначным. Характеризуя эту проблему, следует выделить масштабные полевые работы, теоретические исследования ученых Института физики Земли и других институтов АН СССР на полигонах Средней Азии и на Камчатке, которые к концу XX в. привели к обнадеживающим результатам [4]. Были получены новые знания, которые дают возможность более глубоко проанализировать ряд определяющих свойств геологической среды. В их числе трансформация геологических образований дилатансного типа в очаговых зонах, участие флюидов в процессах протекания геохимических реакций и порождаемых ими электродинамических полях [5]. С непознанными пока до конца процессами в ядре Земли, литосфере и других геосферах ряд исследователей связывают генерацию аномальных гравимагнитных возмущений, предваряющих масштабные сейсмические события на суше и в океане [6].

Наблюдаемые взаимосвязи в системе «литосфера – атмосфера – ионосфера» являют пример взаимодействия между различными геофизическими оболочками Земли. Оно проявляется при специфических условиях, когда можно говорить о квазистационарном, но неравновесном состоянии геоло-

гической среды в одной из геосфер, когда малое внешнее воздействие высвобождает ранее накопленную энергию [7]. Подобные эффекты активно изучаются, однако их пока нельзя положить в основу практической системы прогноза землетрясений с жесткими требованиями к уровню пропусков цели и ложных тревог.

Ионосферные аномалии, которые предшествуют сейсмическим событиям, связывают с генерацией электрического поля вблизи или на самой поверхности Земли на этапе подготовки сейсмического события. Можно предположить, что образующиеся перед землетрясениями и несущие положительный заряд микротрещины, определяющие структуру и процесс электростатического заряда дилатансных образований в геологической среде, передают его из фокальной области к поверхности Земли. Пока нет общепринятой точки зрения, позволяющей однозначно интерпретировать данные известных ионосферных и других возмущений, наблюдаемых в геосферах сейсмически активных регионов. Существует гипотеза, что трансформацией УНЧ-полей, генерируемых в процессах смещения и разрушения вдоль активных разломов перед землетрясением, можно объяснить вариации наблюдаемых свечений. Согласно еще одной гипотезе, крупномасштабный ток, текущий вдоль будущего разлома в зоне готовящегося сейсмического события, индуцирует в ионосфере электромагнитные возмущения низкочастотного диапазона.

В последние годы проводятся масштабные экспериментальные исследования УНЧ-магнитных полей, которые отражают процессы подготовки крупных сейсмических событий. Установлено, что перед сильными землетрясениями практически всегда удается выделить характерные УНЧ-магнитные возмущения, интенсивность и квазипериодические волновые формы которых трансформируются по мере приближения главного удара [8–10]. Первые значимые результаты здесь были получены при анализе данных наблюдений аномальных гравитомагнитных возмущений, зафиксированных в период подготовки и развития катастрофического Суматра-Андаманского цунамигенного землетрясения [11].

Ниже мы остановимся на некоторых отличительных особенностях гравитомагнитных возмущений, наблюдаемых в структуре геофизических полей при развитии сейсмического процесса. В этой связи обратимся к одному из цунамигенных землетрясений, которое произошло в районе Тонга – сейсмоактивной области Тихого океана.

Район Тонга входит в островодужную систему Тонга – Кермадек, протягивающуюся в субмеридиональном направлении более чем на 3 тыс. км от островов Самоа до Новой Зеландии. Здесь происходит около половины глубокофокусных землетря-

сений. По данным наблюдений, сейсмофокальная зона в регионе прослеживается до 600–700 км. Именно поэтому эпицентры глубокофокусных землетрясений, связанных с этой зоной, расположены достаточно далеко к западу от островной дуги.

Гравимагнитное возмущение, зафиксированное приборами Северокавказской геофизической обсерватории ИФЗ РАН на этапе подготовки и развития

сейсмического события 19.03.2009 г. в районе островов Тонга (рис. 1), отличается характерными квазигармоническими формами, что свидетельствует о наличии в развивающейся очаговой зоне флюидонасыщенных дилатансных структур резонансного типа [10]. Во время афтершоков здесь также отмечались гравитомангнитные возмущения (рис. 1, вставки 3 и 5).

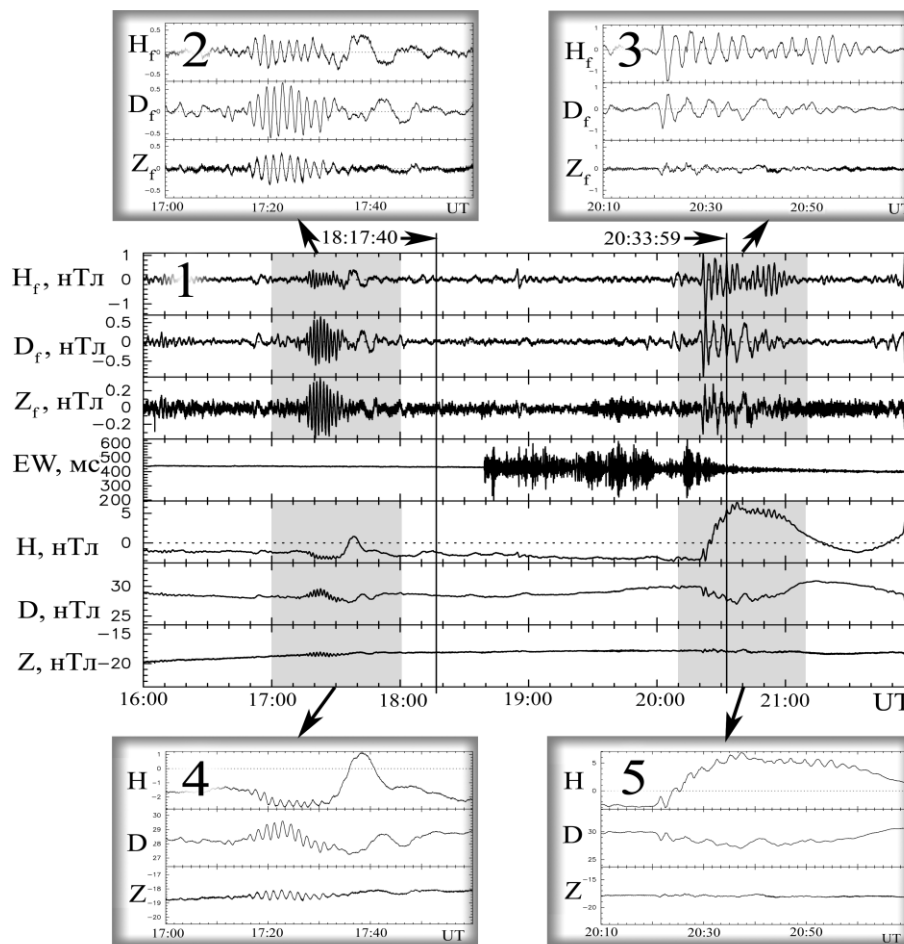


Рис. 1. УНЧ-возмущения на этапе подготовки и развития цунамигенного землетрясения в районе островов Тонга 19.03.2009 г. (время в очаге: 18:17:38.8, магнитуда 7,6, глубина 33 км, широта – 23.2, долгота – 174.6), зарегистрированные магнитными вариометрами (H, D, Z) и наклономерами (E-W) Северокавказской геофизической обсерватории за один час до главного удара.

На врезках показана тонкая структура зарегистрированных волновых форм магнитных вариаций до (врезки 2 и 3) и после (врезки 4 и 5) фильтрации в диапазоне периодов 20–300 с. Вставка 1 – регистрограммы магнитовариационной станции (H, D, Z) и показания наклономеров запад – восток (EW); 2, 4 – волновые формы аномального ультранизкочастотного магнитного возмущения, проявившиеся за час до землетрясения; 3 и 5 – характерные волновые формы аномальных УНЧ-квазигармонических магнитных возмущений, которые наблюдались на этапах подготовки и развития землетрясения. H, D, Z – вариации магнитного поля Земли; EW – показания наклонометра (восток – запад); H_f, D_f, Z_f – вариации магнитного поля Земли, профильтрованные в диапазоне периодов 20–300 с. Стрелкой и вертикальной линией здесь отмечено время в очаге для первого события и последовавшего афтершока / Fig. 1. ULF perturbations during the preparation and development of tsunamigenic earthquake near Tonga Islands 19.03.2009 (time in the outbreak: 18: 17: 38.8, magnitude 7.6, depth of 33 km, the latitude - 23.2, longitude - 174.6) registered by magnetic variometers (H, D, Z) and tiltmeter (EW) of the North Caucasus Geophysical Observatory, one hour before the main attack. The insets show the fine structure of the registered waveforms magnetic variations before (inset 2 and 3) and after (inset 4 and 5) filtering in the period range from 20–300 s. Inset 1 - program registers of magnetic variation station (H, D, Z) and tiltmeters indications, west-east (EW). Insets 2, 4 - waveforms of very low frequency anomalous magnetic disturbance, manifested in an hour before the earthquake. Insets 3 and 5 - characteristic waveforms of anomalous ULF quasi-harmonic magnetic disturbances were observed at the stages of preparation and development of the earthquake. H, D, Z - the variation of the magnetic field of the Earth; EW - tiltmeter indications (east-west); H_f, D_f, Z_f - variation of the magnetic field of the Earth, the filtered in the period range from 20–300 s. The arrow and the vertical line is the time noted in the focus for the first event and subsequent aftershocks

Отметим, что изменение частоты фиксируемых сигналов по мере приближения главного сейсмического удара – характерная особенность гравитоманнитных возмущений, наблюдаемых в геосферах.

Сопоставляя полученные экспериментальные результаты, отражающие структуру гравитоманнитных возмущений с данными о геологическом строении дна океана в регионе, можно заключить, что здесь мы встречаемся с мощными деформационными процессами, активизация которых неразрывно связана с флюидодинамическими особенностями структур дилатансного типа.

Теперь обратимся к землетрясениям, которые произошли на суше. Они потрясли Непал, начиная с 25.04.2015 г. Первое землетрясение, магнитодиаграмма которого приведена на рис. 2, оказалось сильнейшим. Магнитуда этого катастрофического события по разным оценкам составила величину 7,5–7,9. Удар стихии был зафиксирован в 11:24 по местному времени (07:05:17 по мировому), широта 27.82, долгота 86.21, глубина 15 км. За ним последовал афтершок магнитудой 6,8. Эпицентр землетрясения располагался в 82 км к северо-западу от столицы Катманду.

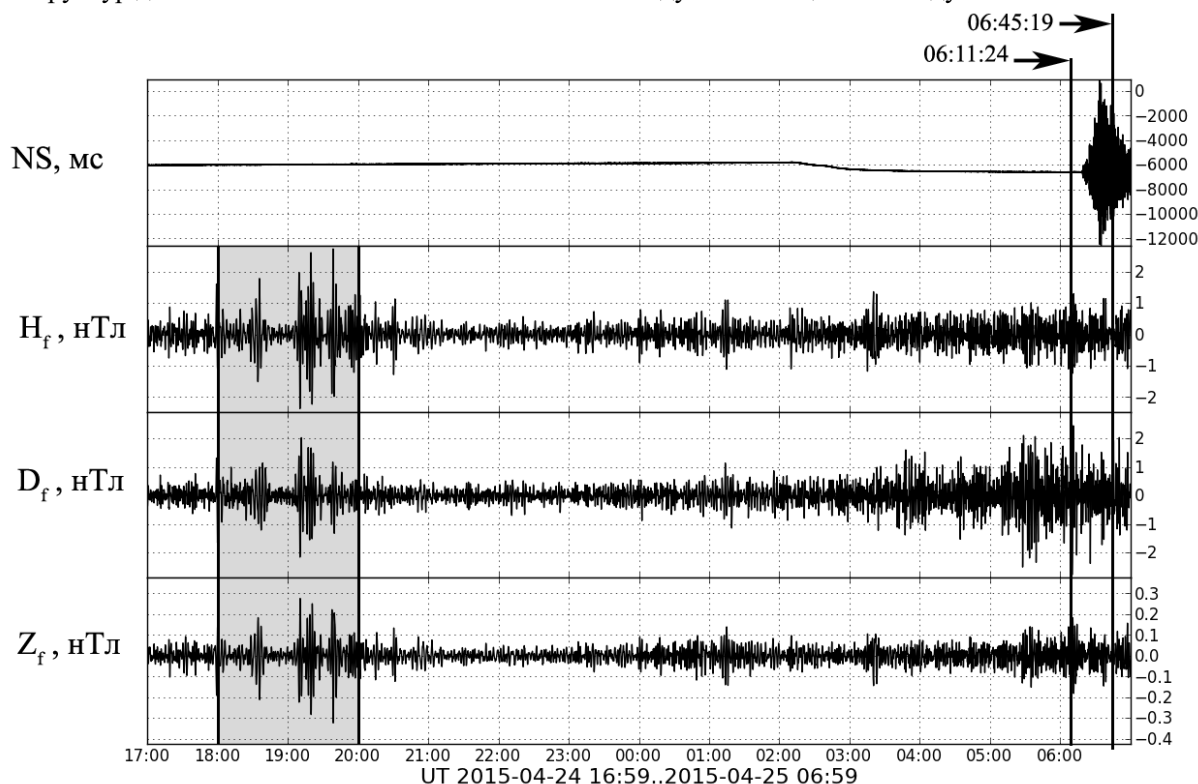


Рис. 2. УНЧ-магнитные возмущения, наблюдаемые на этапе подготовки и развития землетрясения в Непале 25.04.2015 г. Сигналы зарегистрированы магнитными вариометрами (каналы Н и Z) в авральной зоне (Архангельская область, с. Карпогоры). Данные профильтрованы в диапазоне периодов 20–300 с. Стрелками и вертикальной линией отмечено время в очаге для первого события и последовавшего афтершока / Fig. 2. ULF magnetic disturbances observed during the preparation and development of the earthquake in Nepal 25.04.2015. The magnetic signals recorded magnetic variometers (H and Z channels) in the auroral zone (Arkhangelsk Region, village Karpogory). Data filtered in the period range from 20-300 s. The arrows and the vertical line indicates the time in the focus for the first event and subsequent aftershocks

Отметим, что сейсмическая катастрофа произошла здесь через 81 год после приблизительно равного по мощности стихийного бедствия, которое случилось в 1934 г. Анализируя результаты натуральных наблюдений, следует обратить внимание на некоторые характерные особенности, проявившиеся в процессе развития изучаемого сейсмического процесса перед главным ударом. Так, если обратиться к данным, приведенным на рис. 2, то можно заметить, что гравитоманнитное возмущение длительностью около двух часов, величина

которого составила 3,8 нТ, проявилось за 10 ч перед главным ударом. Развернутая структура характерных возмущений-предвестников в вариациях магнитного поля Земли представлена на рис. 3.

Наблюдения сейсмических событий в других регионах Земли указывают, что чаще всего гравитоманнитные возмущения появляются за 2–4 ч. Однако здесь, непосредственно перед сейсмическим ударом, магнитный фон в регионе начал монотонно возрастать за четыре часа до землетрясения.

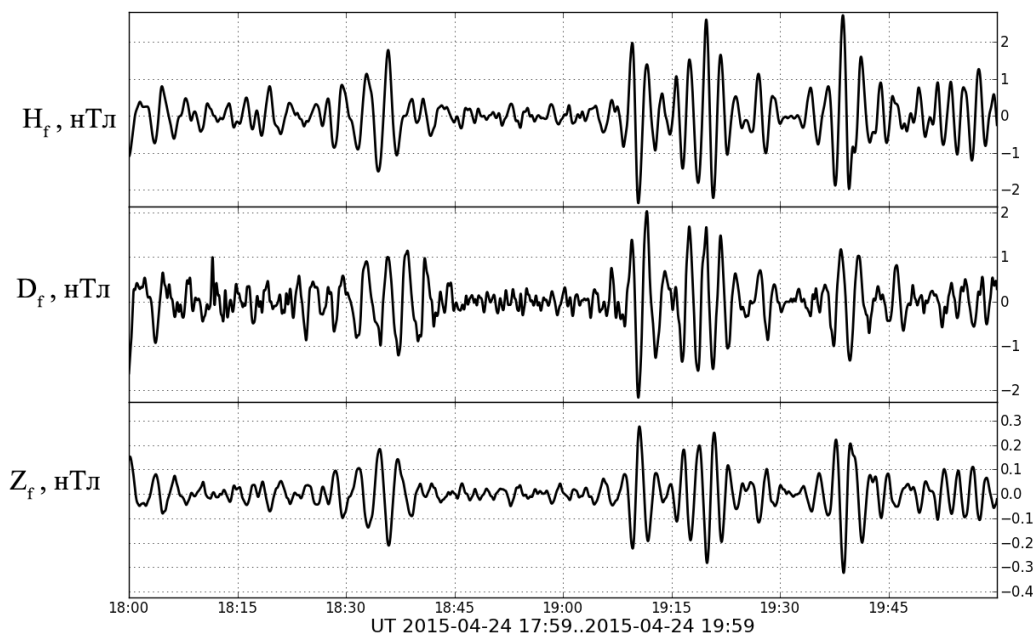


Рис. 3. Развернутая структура характерных возмущений-предвестников в вариациях магнитного поля Земли (H и Z – компоненты) по данным научного стационара «Карпогоры» в период подготовки и развития землетрясения в Непале 25.04.2015 г. Данные магнитных вариометров профильтрованы в диапазоне периодов 20–300 с / Fig. 3. The detailed structure of the specific perturbation - precursors in variations of the Earth magnetic field (H and Z-components) according to the research center Karpogory during the preparation and development of the earthquake in Nepal 25.04.2015. The magnetic variometers data filtered in the period range of 20-300 s

Изучение большого числа экспериментальных данных по мелко- и глубокофокусным землетрясениям позволило получить уникальную геофизическую информацию, которая показывает, что тонкая структура наблюдаемых аномальных гравитомагнитных возмущений определяется в первую очередь геологическими особенностями среды в очаговой зоне и отражает характерные свойства наблюдаемых геолого-геофизических процессов развивающегося сейсмического события [5, 6]. Она отражает непрекращающиеся перестройки геологической среды (спонтанные трансформации локальных геофизических структур резонансного типа) в районе готовящейся сейсмической катастрофы.

Литература

1. Воробьев А.А. О возможности электрических разрядов в недрах Земли // Геология и геофизика. 1970. № 12. С. 3–13.
2. Воробьев А.А., Дмитриевский В.С., Заводская Е.К., Приезжей Б.Н., Сальников В.Н. Наблюдение излучения горных пород // Вопросы геологии Сибири. Томск, 1971. С. 17–21.
3. Воробьев А.А. Высокие электрические поля в земных недрах и возможная роль в геологических, геохимических процессах в горном деле // Изв. Томского политехн. ин-та. 1976. Вып. 288. С. 15–18.
4. Сидорин А.Я. Предвестники землетрясений. М., 1992. 190 с.
5. Николаевский В.Н. Очаг землетрясения – события и предвестники удара // Экстремальные природные процессы и катастрофы. М., 2011. Т. 2. С. 316–322.
6. Николаевский В.Н., Собисевич Л.Е. Природа бифокального очага землетрясения и предвестники удара // Геофиз. журн. 2015. Т. 37, № 4. С. 51–74.
7. Popov L.N., Krakovezkiy Yu.K., Gokhberg M.B., Pilipenko V.A. Terrogenic effects in the ionosphere: a review // Phys. Earth and Planet. Int. 1989. Vol. 57. P. 115–128.
8. Собисевич А.Л. Избранные задачи математической геофизики, вулканологии и геоэкологии. М., 2012. Т. 1. 512 с.
9. Собисевич А.Л. Избранные задачи математической геофизики, вулканологии и геоэкологии. М., 2013. Т. 2. 286 с.
10. Собисевич Л.Е., Канониди К.Х., Собисевич А.Л. Аномальные геомагнитные возмущения в вариациях магнитного поля Земли на этапах подготовки и развития глубокофокусных землетрясений // Докл. АН. Геофизика. 2013. Т. 453, № 3. С. 329–333.
11. Собисевич Л.Е., Канониди К.Х., Собисевич А.Л. Наблюдения УНЧ-геомагнитных возмущений, отражающих процессы подготовки и развития цунамигенных землетрясений // Докл. АН. Геофизика. 2010. Т. 435, № 4. С. 548–553.

References

1. Vorob'ev A.A. O vozmozhnosti elektricheskikh razryadov v nedrakh Zemli [On the possibility of electric discharges in the bowels of the Earth]. *Geologiya i geofizika*. 1970, No. 12, pp. 3-13.
2. Vorob'ev A.A., Dmitrievskii V.S., Zavodskaya E.K., Priezzhei B.N., Sal'nikov V.N. [Observation of radiation from rocks]. *Voprosy geologii Sibiri* [Questions of geology of Siberia]. Tomsk, 1971, pp. 17-21.
3. Vorob'ev A.A. Vysokie elektricheskie polya v zemnykh nedrakh i vozmozhnaya rol' v geologicheskikh, geokhimicheskikh protsessakh v gornom dele [High electric fields in the earth's interior and possible role in geological, geochemical processes in mining]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo instituta*. 1976, iss. 288, pp. 15-18.
4. Sidorin A.Ya. *Predvestniki zemletryaseni* [Precursors of earthquakes]. Moscow, 1992, 190 p.
5. Nikolaevskii V.N. [The earthquake focus - events and harbingers of impact]. *Ekstremal'nye prirodnye protsessy i katastrofy* [Extreme natural processes and catastrophes]. Moscow, 2011, vol. 2, pp. 316-322.
6. Nikolaevskii V.N., Sobisevich L.E. Priroda bifokal'nogo ochaga zemletryaseniya i predvestniki udara [The nature of the bifocal focus of the earthquake and the precursors of the impact]. *Geofizicheskii zhurnal*. 2015, vol. 37, No. 4, pp. 51-74.
7. Popov L.N., Krakovezkiy Yu.K., Gokhberg M.B., Pilipenko V.A. Terrogenic effects in the ionosphere: a review. *Phys. Earth and Planet. Int.* 1989, vol. 57, pp. 115-128.
8. Sobisevich A.L. *Izbrannye zadachi matematicheskoi geofiziki, vulkanologii i geoekologii* [Selected problems of mathematical geophysics, volcanology and geoecology]. Moscow, 2012, vol. 1, 512 p.
9. Sobisevich A.L. *Izbrannye zadachi matematicheskoi geofiziki, vulkanologii i geoekologii* [Selected problems of mathematical geophysics, volcanology and geoecology]. Moscow, 2013, vol. 2, 286 p.
10. Sobisevich L.E., Kanonidi K.Kh., Sobisevich A.L. Anomal'nye geomagnitnye vozmushcheniya v variatsiyakh magnitnogo polya Zemli na etapakh podgotovki i razvitiya glubokofokusnykh zemletryaseni [Anomalous geomagnetic disturbances in variations of the earth's magnetic field at the stages of preparation and development of deep-focus earthquakes]. *Doklady AN. Geofizika*. 2013, vol. 453, No. 3, pp. 329-333.
11. Sobisevich L.E., Kanonidi K.Kh., Sobisevich A.L. Nablyudeniya UNCh-geomagnitnykh vozmushchenii, otrazhayushchikh protsessy podgotovki i razvitiya tsunamigennykh zemletryaseni [Observations of ULF geomagnetic disturbances reflecting the processes of preparation and development of tsunamigenic earthquakes]. *Doklady AN. Geofizika*. 2010, vol. 435, No. 4, pp. 548-553.