

## ГЕОМАГНИТНЫЙ ЭФФЕКТ СИЛЬНОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ТОХОКУ 2011 ГОДА

С.А. Рябова

Институт динамики геосфер РАН, Москва, Россия, e-mail: riabovasa@mail.ru

**Аннотация:** Вопрос об аномалиях магнитного поля Земли во время высокомагнитудных землетрясений неоднократно рассматривался в научной литературе. Предыдущие исследования магнитных аномалий в основном выполнены по данным магнитной регистрации в пунктах, которые расположены вблизи эпицентров землетрясений. Особое внимание в последнее время уделяется землетрясению Тохоку 2011 г., которое произошло на восточном побережье острова Хонсю (Япония, координаты эпицентра 38.32° с.ш., 142.37° в.д.) и имело моментальную магнитуду (Mw) 9.0. Проведено исследование геомагнитных возмущений на значительном расстоянии от эпицентра Великого восточно-японского землетрясения с привлечением данных с обсерваторий международной сети Intermagnet и с Геофизической обсерватории «Михнево». Обработка и анализ результатов инструментальных наблюдений показывает, что процесс инициализации землетрясений сопровождается вариациями магнитного поля. Причем аномалии четко регистрируются на большом расстоянии от эпицентра землетрясения. Регистрация аномальных магнитных сигналов может быть использована при построении прогностических алгоритмов землетрясений и горных ударов. Однако возмущения в период сильных магнитных бурь ограничивают практическую значимость прогностического мониторинга, поскольку величина возмущений, связанных с воздействием магнитосферно-ионосферных процессов значительно превышает возмущения литосферного происхождения.

**Ключевые слова:** аномалии магнитного поля Земли, эпицентр землетрясения, землетрясение Тохоку 2011 г., сейсмомагнитный эффект, обсерватории международной сети Intermagnet, Геофизическая обсерватория «Михнево»

**Для цитирования:** Рябова С.А. Геомагнитный эффект сильного землетрясения Тохоку 2011 года // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 4. – С. 137–151. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-04-0-137-151.

### Geomagnetic effect of the strong 2011 Tohoku earthquake

S.A. Riabova

Institute of Geosphere Dynamics of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia,  
e-mail: riabovasa@mail.ru

**Abstract:** Anomalies of magnetic field of the Earth during high-magnitude earthquake have many times been addressed in the scientific literature. The earlier research of magnetic anomalies mostly used data of magnetic recording at points nearby epicenters of earthquakes. Recently, researchers lay emphasis on the 2011 Tohoku earthquake of moment magnitude Mw 9.0 occurred on the east coast of Honshu (Japan, epicenter at 38.32 degrees North latitude and 142.37 degrees East longitude). This study focuses on geomagnetic perturbations far away from the epicenter of the Great East-Japan Earthquake and uses observatory data from international network Intermagnet and Geophysical Observatory Mikhnevo. Processing and analysis of the instrumental observation data shows that ini-

© С.А. Рябова. 2019.

tiation of earthquakes is accompanied by variations in the magnetic field. These anomalies are distinct and recorded at great distances from the epicenter. Records of anomalous magnetic signals can be used in prediction algorithms of earthquakes and rock bursts. On the other hand, perturbations during storms confine practical importance of predictive monitoring as magnetospheric and ionospheric disturbances considerably exceed lithospheric disturbances.

**Key words:** anomalies of magnetic field of the Earth, earthquake epicenter, 2011 Tohoku earthquake, seismomagnetic effect, Intermagnet international network observatories, Geophysical Observatory Mikhnevo.

**For citation:** Riabova S.A. Geomagnetic effect of the strong 2011 Tohoku earthquake. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2019;4:137-151. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-04-0-137-151.

---

## Введение

Теме генерации возмущений магнитного поля Земли во время землетрясений уделялось внимание в научной литературе уже достаточно давно. Впервые возмущения геомагнитного поля, сопровождающие высокомагнитудные землетрясения, были отмечены британским сейсмологом Дж. Милном [1–2]. Однако в 1914 г. Х.Ф. Рейд подверг сомнению результаты этих работ, показав, что этот наблюдаемый магнитный эффект вероятно вызван простыми колебаниями магнитометра (вверх/вниз) во время прохождения сейсмических волн [3]. Лишь с развитием магнитометрии в середине 1960-х годов (после появления абсолютных магнитометров, разработки методов шумоподавления и уменьшения влияния ускорений и перемещений грунта во время землетрясений на магнитометры) стало возможным получение значимых результатов. Например, в статье [4] приводятся данные об изменении геомагнитного поля на 1.8 нТл, предшествующем землетрясению возле Холлистера (Калифорния, США), которое произошло 28 ноября 1974 г. и имело магнитуду 5.2, а во время землетрясения Лома-Приета около Сан-Франциско (Калифорния, США), которое произошло 17 октября 1989 г. и имело магнитуду 7.1, это изменение составило 1.0 нТл [5]. На основе анализа данных непрерыв-

ной регистрации геомагнитного поля на двух станциях, расположенных друг от друга на расстоянии 6 км, была установлена сильная прямая корреляция между вариациями магнитного поля в эпицентральной области и активностью землетрясения во время серии землетрясений в Мацусиро (Япония) в 1966 г. [6]. Помимо продолжения исследований магнитных возмущений, связанных с сейсмической активностью, по данным магнитной регистрации в приземном слое атмосферы Земли [7–9], с развитием спутниковых систем измерения магнитного поля Земли для разрешения вопроса возможной генерации геомагнитных аномалий при сейсмотектонических процессах стали привлекаться данные со спутников [10–16].

Магнитный эффект при тектонических событиях был обнаружен в широком диапазоне частот, продолжительность этого эффекта варьировала от нескольких минут до нескольких месяцев. В частности, геомагнитные аномалии были обнаружены в УНЧ диапазоне за несколько часов до Спитакского землетрясения (Армения) 7 декабря 1988 г. ( $M_s = 6.9$ ) [17–18], до землетрясения Лома-Приета (Калифорния, США) 17 октября 1989 г. ( $M_s = 7.1$ ) [17, 19] и за несколько дней до землетрясения у берегов острова Гуам (Тихий океан) 8 августа 1993 г. ( $M_s = 8.0$ ) [20]. Однако по результатам ряда иссле-

дований [21–23] не удалось установить сильную корреляцию между сейсмической активностью и геомагнитными аномалиями, что можно объяснить небольшой величиной аномалий по сравнению с фоновыми вариациями.

Неоднократно предпринималась попытка разработки физической модели для объяснения магнитного эффекта при конкретных землетрясениях [24–28]. В целом же установить сейсмомагнитный механизм пока не удалось.

Кроме геомагнитных возмущений, вызванных естественными землетрясениями, могут быть выявлены возмущения при техногенных землетрясениях, как, например, это получено в результатах недавних исследований [29] около Чарвакского водохранилища (Узбекистан). В горных породах под действием медленно меняющихся или импульсных механических нагрузок происходят механико-электрические преобразования энергии. Эти преобразования сопровождаются возникновением импульсного электромагнитного поля (геомагнитный эффект) [30].

В целом исследование сейсмомагнитного эффекта важно как с точки зрения исследования предвестников естественных землетрясений, так и предвестников землетрясений техногенного происхождения, в частности, в зонах горных выработок.

Обнаружение в разных регионах геомагнитного эффекта, сопутствующего геодинамическим процессам, дает основание судить о масштабности влияния сейсмических процессов на геомагнитные вариации.

Принимая во внимание тот факт, что геомагнитные возмущения могут проявляться на значительном расстоянии от эпицентра землетрясений [31], в настоящей работе было решено провести анализ геомагнитных записей с привлечением данных с обсерваторий международ-

ной сети Intermagnet и с Геофизической обсерватории «Михнево» во время высокомагнитудного Великого восточно-японского землетрясения.

### Исходные данные

В настоящей работе исследуются геомагнитные вариации, сопровождающие землетрясение Тохоку 2011 г., также известное как Великое восточно-японское землетрясение, которое произошло на восточном побережье острова Хонсю (Япония) и имело моментальную магнитуду ( $M_w$ ) 9.0.

Это землетрясение было вызвано подводным мега-толчком в 05:46:23 UTC в пятницу, 11 марта 2011 г., с гипоцентром ( $38.322^\circ$  с.ш.,  $142.369^\circ$  в.д.) на глубине приблизительно 24 км. Это самое сильное известное землетрясение в Японии. Землетрясение вызвало чрезвычайно разрушительные цунами (высота волн достигала 38,9 м), обрушившиеся на Японию, и стало причиной серьезной аварии на АЭС «Фукусима-1».

Особо следует отметить, что главному толчку предшествовала целая серия форшоков (45 событий) с моментальными магнитудами от 4.0 до 7.5 9 марта 2011 г. и (16 событий) с моментальными магнитудами от 4.0 до 5.6 10 марта 2011 г. [32]. Кроме того, после главного толчка Великого японского землетрясения последовала целая серия афтершоков с магнитудами 7.4, количество которых с  $M_w \geq 4.5$  превысило 1100 [32]. В числе афтершоков наиболее сильным было землетрясение с  $M_w = 7.9$ , также произошедшее 11 марта, но примерно через полчаса после главного толчка.

Данные о тектонической обстановке, механике очага и параметрах землетрясения Тохоку 2011 г. приведены в работах [34–36]. Интерес представляет тот факт, что смещения, наблюдаемые при Великом восточно-японском землетрясении невозможно объяснить в классической

теории тектоники плит. Предполагается, что сейсмическое событие Тохоку — проявление современной геодинамической эволюции Японской дуги и Курильских островов, выраженное в вертикальном подъеме и горизонтальной подвижке континентального склона над глубоководным желобом наряду с прогрессивным и необратимым опусканием морской террасы и прилегающих восточных берегов острова [37].

Доступность и качество геомагнитных данных являются очень важными факторами при исследовании аномальных геомагнитных вариаций, связанных с сейсмической активностью. Необходимым условием получения достаточно достоверных результатов для идентификации аномальных геомагнитных вариаций во время землетрясений является также привлечение данных сети станций. В настоящем исследовании доступность геомагнитных данных многих обсерваторий дает нам хорошую возможность изучить аномальные геомагнитные ва-

риации, которые могут быть связаны с землетрясением Тохоку 2011 г.

В качестве исходных привлекались данные регистрации трех компонент магнитной индукции на земной поверхности, выполненной на обсерваториях международной сети станций Intermagnet [38], а также на Геофизической обсерватории «Михнево» (MHV) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института динамики геосфер Российской академии наук [39]. Географические координаты и месторасположение обсерваторий приведены в таблице. На каждой из обсерваторий выполняется трехкомпонентная регистрация геомагнитного поля.

Чтобы обеспечить возможность проведения сопоставления, данные магнитной регистрации приводились к единой географической системе координат и к всемирному координированному времени (UTC). Для анализа использовались ряды цифровых данных, сформированные с дискретностью 1 мин.

#### **Пункты геомагнитных наблюдений** *Point of geomagnetic observations*

Наименование пункта наблюдения	Обозначение	Широта, град.	Долгота, град.	Месторасположение
Бельск	BEL	51.84	20.79	Польша, г. Бельск
Борок	BOX	58.07	38.23	Россия, Ярославская обл.,
пос. Борок Чанчунь	CNH	43.83	125.30	Китай, Чанчунь, провинция Цзилинь
Чжаоцин	GZH	23.97	112.45	город Чжаоцин, Китай (Пекин)
Иркутск	IRK	52.17	104.45	Россия, Иркутск, пос. Патроны
Какиока	КАК	36.23	140.19	Япония, г. Какиока
Киев	KIV	50.72	30.3	Украина, пос. Дымер
Каноя	KNY	31.42	130.88	Япония, г. Каноя
Львов	LVV	49.9	23.75	Украина, г. Львов
Ланьчжоу	LZH	36.09	103.85	Китай (Пекин)
Михнево	MHV	54.94	37.73	Россия, Московская обл., пос. Михнево
Мемамбецу	MMB	43.91	144.19	Япония, г. Мемамбецу
Новосибирск	NVS	55.03	82.90	Россия, Новосибирская обл., Ключи
Паратунка	PET	53.10	158.63	Россия, Камчатская обл., Елизовский р-н, Паратунка
Якутск	YAK	62.02	129.72	Россия, г. Якутск

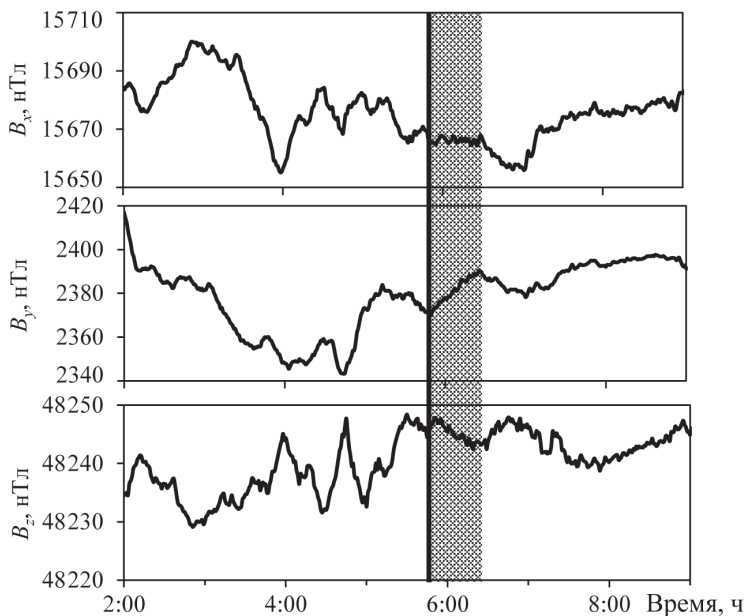


Рис. 1. Вариации компонент геомагнитного поля в период землетрясения Тохоку 2011 г. (регистрация на обсерватории «Михнево»). Фоном помечен примерный период наведенных возмущений магнитного поля (конец фона — время первого афтершока). Горизонтальная линия — время главного толчка землетрясения

Fig. 1. Variations of the geomagnetic field components during the 2011 Tohoku earthquake (registered at the Mikhnevo Observatory). The background shows the approximate period of the induced magnetic field perturbations (the end of the background is the time of the first aftershock). The horizontal line is the time of the main shock of the earthquake

## Результаты

Анализ результатов инструментальных наблюдений показывает, что процесс инициализации землетрясений сопровождается характерными вариациями магнитного поля. При этом следует отметить нелокальный характер вызванных геомагнитных вариаций. Необходимо подчеркнуть, что анализ геомагнитных вариаций существенно осложнен тем, что в период Великого восточно-японского землетрясения наблюдались вариации, вызванные геомагнитной бурей.

В качестве примера на рис. 1 представлен ход компонент  $B_x$ ,  $B_y$  и  $B_z$  магнитного поля в приземном слое атмосферы в условиях Геофизической обсерватории «Михнево». Наблюдается изменение величины компонент геомагнитного поля, примерно приуроченное ко времени главного толчка землетрясения Тохоку

2011 г. (05:46:23 UTC), и примерно после первого афтершока. Аномалии магнитного поля наблюдаются в компонентах геомагнитного поля и на других обсерваториях (на рис. 2 и 3 приведены данные магнитной регистрации на станциях сети Intermagnet). Следует отметить, что, как и ожидалось, выразительнее всего магнитные вариации проявляются в непосредственной близости к эпицентру землетрясения.

В полном векторе геомагнитного пол. В также выделяются аномальные вариации, что подтверждают данные рис. 3. Вначале происходит небольшое бухтообразное уменьшение полного вектора, а затем или дальнейшее снижение с резкими колебаниями, или повышение его значений. Анализ показал, что наблюдается очевидная задержка времени минимальной точки, которая, вероятно,

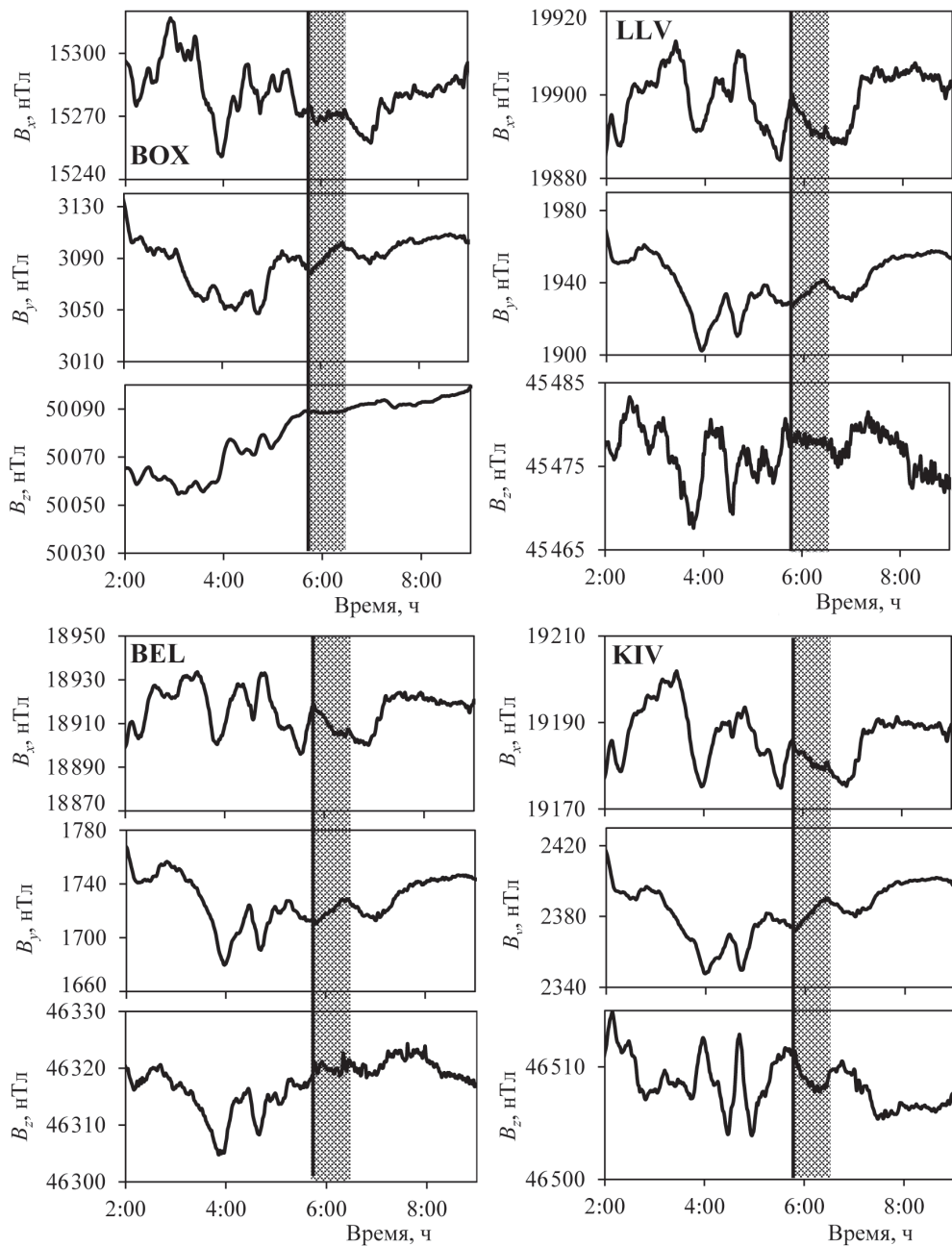


Рис. 2. Вариации компонент геомагнитного поля в период землетрясения Тохоку 2011 г. (данные магнитных обсерваторий сети Intermagnet: BOX, BEL, LLV и KIV). Фоном помечен примерный период наведенных возмущений магнитного поля (конец фона — время первого афтершока). Горизонтальная линия — время главного толчка землетрясения

Fig. 2. Variations of the geomagnetic field components during the 2011 Tohoku earthquake (registered at the magnetic observatories of Intermagnet: BOX, BEL, LLV and KIV). The background shows the approximate period of the induced magnetic field perturbations (the end of the background is the time of the first after-shock). The horizontal line is the time of the main shock of the earthquake

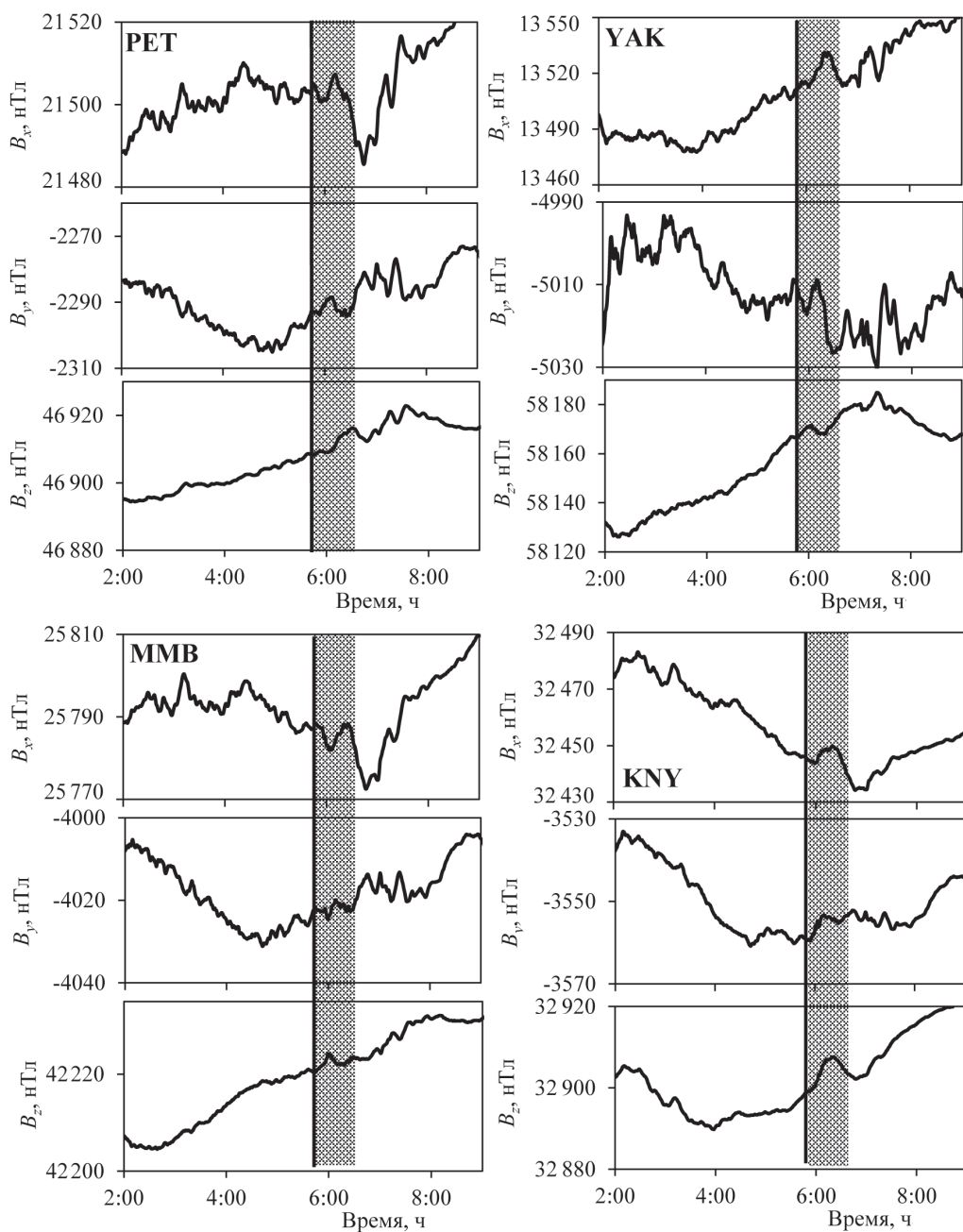


Рис. 3. Вариации компонент геомагнитного поля в период землетрясения Тохоку 2011 г. (данные магнитных обсерваторий сети Intermagnet: PET, MMB, YAK и KNY). Фон помечен примерный период наведенных возмущений магнитного поля (конец фона — время первого афтершока). Горизонтальная линия — время главного толчка землетрясения.

Fig. 3. Variations of the geomagnetic field components during the 2011 Tohoku earthquake (registered at the magnetic observatories of Intermagnet: PET, MMB, YAK and KNY). The background shows the approximate period of the induced magnetic field perturbations (the end of the background is the time of the first after-shock). The horizontal line is the time of the main shock of the earthquake

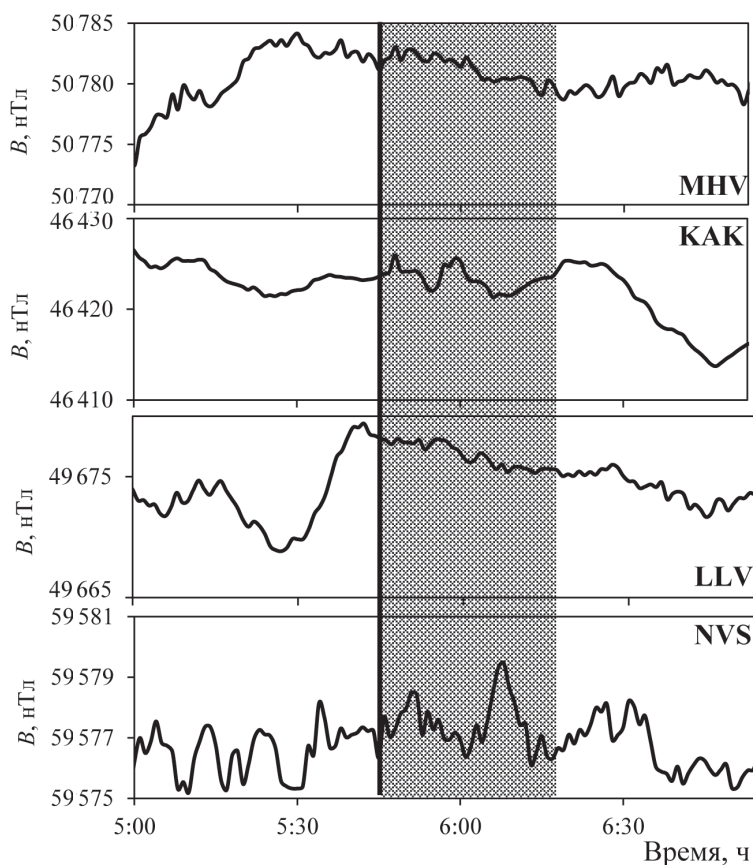


Рис. 4. Вариации модуля индукции геомагнитного поля в период землетрясения Тохоку 2011 г. (данные магнитных обсерваторий сети Intermagnet: MHV, KAK, LVV и NVS). Фоном помечен примерный период наведенных возмущений магнитного поля (конец фона — время первого афтершока). Горизонтальная линия — время главного толчка землетрясения

Fig. 4. Variations of the induction module of the geomagnetic field during the 2011 Tohoku earthquake (registered at the magnetic observatories of Intermagnet: MHV, KAK, LVV and NVS). The background shows the approximate period of the induced magnetic field perturbations (the end of the background is the time of the first aftershock). The horizontal line is the time of the main shock of the earthquake

зависит от расстояния от эпицентра землетрясения. Амплитуда возмущения в целом уменьшается с ростом расстояния от эпицентра.

### Обсуждение

Данные, приведенные в предыдущем разделе, показывают, что магнитные возмущения обнаруживаются на разных расстояниях от эпицентра землетрясения. Следует отметить, что сейсмомагнитный эффект при сильном землетрясении Тохоку 2011 г. был широко исследован.

Впервые аномальные вариации геомагнитного поля во время этого землетрясения выделены на основе анализа данных 14 японских обсерваторий, расположенных на расстоянии около 1000 км от эпицентра [40]. По данным обсерваторий Какиока, Мизусава и Эсаси была выделена вековая аномалия магнитного поля за три года до землетрясения [41]. Зарегистрированы ионосферные и геомагнитные возмущения, вызванные этим землетрясением, на расстоянии более 2000 км от эпицентра [31]. УНЧ/СНЧ



были идентифицированы за 5 дней до главного толчка [42]. По данным японских обсерваторий выделены суточные геомагнитные аномалии предшествующие Великому восточно-японскому землетрясению [43–45]. Кроме того, фрактальный анализ УНЧ вариации магнитного поля, выполненный в работе [46], показал изменение его фрактальных характеристик во время землетрясения. Некоторые исследования продемонстрировали синхронность и скоррелированность изменений уровня моря при землетрясении Тохоку и вариаций вертикальной составляющей магнитного поля [47–48]. Обнаружению аномалий в вариациях магнитного поля посвящены статьи [49–50].

Полученные в настоящей работе данные пополняют банк выделенных телесейсмических магнитных возмущений и могут послужить основой для последующих исследований магнитных аномалий во время высокомагнитудных землетрясений.

Принимая во внимание тот факт, что при отработке месторождений полезных ископаемых происходит перераспределение напряженно-деформируемого состояния горного массива, при этом в горных породах активно идут механико-электрические преобразования, результатом которых являются возмущения в электромагнитном поле, и с учетом вышеизложенных результатов, представляется весьма перспективным оценивать грядущее изменение напряженно-деформируемого состояния горного массива по данным регистрации геомагнитного поля.

Можно предположить следующий механизм генерации магнитных возмущений: волны Рэлея достигают телесейсмических участков; атмосферные возмущения возникают локально и распространяются вверх в верхнюю часть ионосферы [31, 51–52], а затем колебания электронной

плотности ионосферы вызывают возмущения магнитного поля внизу. Эта причинно-следственная цепочка кажется разумной.

### **Заключение**

В результате сбора и анализа данных на примере сильного землетрясения Тохоку 2011 г. показано, что геомагнитные возмущения генерируются во время высокомагнитудных землетрясений на значительном расстоянии от эпицентра. При анализе использовались данные инструментальных наблюдений за магнитным полем, выполненных на станциях Intermagnet, а также на Геофизической обсерватории «Михнево». Представляется перспективным проведение такого рода исследований для других землетрясений. Собственно, вопрос о возникновении сейсмомагнитного эффекта при сильных землетрясениях сложен и требует разработки эмпирических и теоретических моделей, описывающих это явление.

Известно, что при отработке месторождений полезных ископаемых происходит перераспределение напряженно-деформируемого состояния горного массива, возрастание горного давления, которые приводят к горно-тектоническим ударам и техногенным землетрясениям. При таких процессах в горных породах активно идут механико-электрические преобразования, результатом которых являются возмущения в электромагнитном поле. В связи с вышеизложенным результаты наблюдений за вариациями геомагнитного поля могут быть использованы при построении прогностических алгоритмов землетрясений как естественных, так и техногенных, и горных ударов. При этом следует учесть то, что в период сильных магнитных бурь выделение менее амплитудных возмущений литосферного происхождения может быть затруднено.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Milne J.* Earthquakes in connection with electric and magnetic phenomena // Transactions of the Seismological Society of Japan, 1890, Vol. 15, pp. 135–163.
2. *Milne J.* Seismic, magnetic, and electric phenomena // Seismological journal of Japan, 1894, Vol. 19, pp. 23–33.
3. *Reid H.F.* Free and forced vibrations of a suspended magnet // Terrestrial Magnetism, 1914, Vol. 19, pp. 57–189.
4. *Smith B.E., Johnston M.J.S.* A tectonomagnetic effect observed before a magnitude 5.2 earthquake near Hollister, California // Journal of Geophysical Research, 1976, Vol. 81, pp. 3556–3560.
5. *Mueller R.J., Johnston M.J.S.* Seismomagnetic effect generated by the October 18, 1989, ML 7.1 Loma Prieta, California earthquake // Geophysical Research Letters, 1990, Vol. 17, pp. 1231–1234.
6. *Rikitake T., Yamazaki Y.* Strain steps as observed by a resistivity variometer // Tectonophysics, 1970, Vol. 9, pp. 197–203.
7. *Tate J., Daily W.* Evidence of electro-seismic phenomena // Physics of the Earth and Planetary Interiors, 1989, Vol. 57, pp. 1–10.
8. *Asada T., Baba H., Kawazoe M., Sugiura M.* An attempt to delineate very low frequency electromagnetic signals associated with earthquakes // Earth, Planets and Space, 2001, Vol. 53, pp.55–62.
9. *Bortnik J., Cutler J.W., Dunson C., Bleier T.E.* The possible statistical relation of Pc1 pulsations to Earthquake occurrence at low latitudes // Annales Geophysicae, 2008, Vol. 26, pp. 2825–2836.
10. *Parrot M., Mogilevsky M.M.* VLF emissions associated with earthquakes and observed in the ionosphere and the magnetosphere // Physics of the Earth and Planetary Interiors, 1989, Vol. 57, pp. 86–99.
11. *Larkina V.I., Migulin V.V., Molchanov O.A., Kharkov I.P., Inchin A.S., Schvetcova V.B.* Some statistical results on very low frequency radiowave emissions in the upper ionosphere over earthquake zones // Physics of the Earth and Planetary Interiors, 1989, Vol. 57, pp. 100–109.
12. *Molchanov O.A., Mazhaeva O.A., Goliavin A.N., Hayakawa M.* Observation by the Interkosmos-24 satellite of ELF-VLF electromagnetic emissions associated with earthquakes // Annales Geophysicae, 1993, Vol. 11, pp. 431–440.
13. *Parrot M.* Statistical study of ELF/VLF emissions recorded by a low-altitude satellite during seismic events // Journal of Geophysical Research, 1994, Vol. 99, no. A12, pp. 23339–23347.
14. *Hobara Y., Lefevre F., Parrot M., Molchanov O.A.* Low-latitude ionospheric turbulence observed by Aureol-3 satellite // Annales Geophysicae, 2005, Vol. 23, pp. 1259–1270.
15. *Molchanov O., Rozhnoi A., Solovieva M., Akentieva O., Berthelier J.-J., Parrot M., Lefevre F., Biagi P.F., Castellana L., Hayakawa M.* Global diagnostics of the ionospheric perturbations related to the seismic activity using the VLF radio signals collected on the DEMETER satellite // Natural Hazards and Earth System Science, 2006, Vol. 6, pp.745–753.
16. *Nemec F., Santolik O., Parrot M., Berthelier J.J.* Spacecraft observations of electromagnetic perturbations connected with seismic activity // Geophysical Research Letters, 1990, Vol. 35, L05109, doi:10.1029/2007GL032517.
17. *Molchanov O.A., Kopytenko Yu. A., Voronov P.M., Kopytenko E.A., Matiashvili T.G. Fraser-Smith A.C., Bernardi A.* Results of ULF magnetic field measurements near the epicenters of the Spitak ( $M_s = 6.9$ ) and Loma Prieta ( $M_s = 7.1$ ) earthquakes: Comparative analysis // Geophysical Research Letters, 1992, Vol. 19, pp. 1495–1498.
18. *Kopytenko Y.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 // Physics of the Earth and Planetary Interiors, 1993, Vol. 77, pp. 85–95.
19. *Fraser-Smith A.C., Bernardi A., McGill P.R., Ladd M.E., Helliwell R.A., Villard O.G.* Low-frequency magnetic measurements near the epicenter of the Ms 7.1 Loma Prieta earthquake // Geophysical Research Letters, 1990, Vol. 17, pp. 1465–1468.
20. *Hayakawa M., Kawate R., Molchanov O.A., Yumoto K.* Results of ultra-low frequency magnetic field measurements during the Guam earthquake of 8 August 1993 // Geophysical Research Letters, 1996, Vol. 23, pp. 241–244.

21. *Henderson T.R., Sonwalkar V.S., Helliwell R.A., Inan U.S., Fraser-Smith A.C.* A search for ELF/VLF emissions induced by earthquakes as observed in the ionosphere by the DE 2 satellite // *Journal of Geophysical Research*, 1993, Vol. 98, pp. 9503–9514.
22. *Rodger C.J., Thomson N.R., Dowden R.L.* A search for ELF/VLF activity associated with earthquakes using ISIS satellite data // *Journal of Geophysical Research*, 1996, Vol. 101, pp. 13369–13378.
23. *Ciliverd M.A., Rodger C.J., Thomson N.R.* Investigating seismoionospheric effects on a long subionospheric path // *Journal of Geophysical Research*, 1999, Vol. 104, pp. 28171–28179.
24. *Gershenzon N.I., Gokhberg M.B., Karakin A.V., Petviashvili N.V., Rykunov A.L.* Modelling the connection between earthquake preparation processes and crustal electromagnetic emission // *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 1989, Vol. 57, pp. 129–138.
25. *Molchanov O.A., Hayakawa M., Rafalsky V.A.* Penetration characteristics of electromagnetic emissions from an underground seismic source into the atmosphere, ionosphere, and magnetosphere // *Journal of Geophysical Research*, 1995, Vol. 100, pp. 1691–1712.
26. *Molchanov O.A., Hayakawa M.* On the generation mechanism of ULF seismogenic electromagnetic emissions // *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 1998, Vol. 105, pp. 201–210.
27. *Molchanov O.A., Kulchitsky A., Hayakawa M.* Inductive seismo-electromagnetic effect in relation to seismogenic ULF emission // *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2001, Vol. 1, pp. 61–67.
28. *Sorokin V.M., Chmyrev V.M., Yaschenko A.K.* (2001), Electrodynamic model of the lower-atmosphere and the ionosphere coupling // *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 2001, Vol. 63, no. 16, pp. 1681–1691.
29. *Yusupov V.R.* Anomalies of geomagnetic field related to natural and technogenic events in Charvak area // *Geodesy and Geodynamics*, 2018, Vol. 9, no. 5, pp. 367–371.
30. *Яковлев Д.В., Тарасов Б.Г.* Идентификация геомагнитных флуктуаций с вариацией геодинамических полей и процессов // *Геодинамика и напряженное состояние недр Земли*. Новосибирск: ИГД СО РАН, 2006, С. 219–231.
31. *Hao Y.Q., Xiao Z., Zhang D.H.* Teleseismic magnetic effects (TMDs) of 2011 Tohoku earthquake // *Journal of Geophysical Research*, 2013, Vol. 118, pp. 3914–3923.
32. *Завьялов А.Д.* Японское землетрясение 11 марта 2011 года и проблемы краткосрочного прогноза сильных тектонических землетрясений // *Геориск*. — 2011. — № 2. — С. 14–23.
33. *Родкин М.В., Тихонов И.Н.* Мегаземлетрясение в Японии 11 марта 2011 г.: величина события и характер афтершоковой последовательности // *Геофизические процессы и биосфера*. — 2011. — Т. 10. — № 1. — С. 64–80.
34. *Лутиков А.И.* Катастрофическое землетрясение Тохоку 11.03.2011 г.: предварительный сейсмологический анализ // *Геофизические процессы и биосфера*. — 2011. — Т. 10. — № 2. — С. 37–48.
35. *Полец А.Ю., Орлов И.Н., Сафонов Д.А.* Реконструкция поля тектонических напряжений до и после Японского землетрясения 11 марта 2011 г. // *Геодинамика*. — 2013. — № 2(15). — С. 289–291.
36. *Тихонов И.Н., Ломтев В.Л.* Великое японское землетрясение 11 марта 2011 г.: Тектонические и сейсмологические аспекты // *Геофизические процессы и биосфера*. — 2011. — Т. 10. — № 2. — С. 49–66.
37. *Rogozhin E.A.* March 11, 2011 M 9.0 Tohoku Earthquake in Japan: Tectonic setting of source, macroseismic, seismological, and geodynamic manifestations // *Geotectonics*, 2011, Vol. 45, No. 5, pp. 337–348.
38. *Гвишиани А.Д., Лукьянова Р.Ю.* Геоинформатика и наблюдения магнитного поля Земли: российский сегмент // *Физика Земли*. — 2015. — № 2. — С. 3–20.
39. *Адушкин В.В., Овчинников В.М., Санина И.А., Ризниченко О.Ю.* «Михнево»: от станции №1 до современной геофизической обсерватории // *Физика Земли*. — 2016. — № 1. — С. 108–119.
40. *Utada H., Shimizu H., Ogawa T., Maeda T., Furumura T., Yamamoto T., Yamazaki N., Yoshitake Y., Nagamachi S.* Geomagnetic field changes in response to the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake and Tsunami // *Earth and Planetary Science Letters*, 2011, Vol. 311, pp. 11–27.

41. Kopytenko Yu.A., *Ismaguilov V.S., Hattori K., Hayakawa M.* Anomaly disturbances of the magnetic fields before the strong earthquake in Japan on March 11, 2011 // *Annales Geophysicae*, 2012, Vol. 55, pp. 101–107.
42. *Ohta K., Izutsu J., Schekotov A.* The ULF/ELF electromagnetic radiation before the 11 March 2011 Japanese earthquake // *Radio Science*, 2013, Vol. 48. No. 5, pp. 589–596.
43. *Xu G., Han P., Huang Q., Hattori K., Febriani F., Yamaguchi H.* Anomalous behaviors of geomagnetic diurnal variations prior to the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake ( $M_w = 9.0$ ) // *Journal of Asian Earth Sciences*, 2013, Vol. 77, pp. 59–65.
44. *Han P., Hattori K., Xu G., Ashida R., Chen C.H., Febriani F., Yamaguchi H.* Further investigations of geomagnetic diurnal variations associated with the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake ( $M_w = 9.0$ ) // *Journal of Asian Earth Sciences*, 2015, Vol. 114, pp. 321–326.
45. *Han P., Hattori K., Huang Q., Hirooka S., Yoshino C.* Spatiotemporal characteristics of the geomagnetic diurnal variation anomalies prior to the 2011 Tohoku earthquake ( $M_w 9.0$ ) and the possible coupling of multiple pre-earthquake phenomena // *Journal of Asian Earth Sciences*, 2016, Vol. 129, pp. 13–21.
46. *Potirakis S.M., Hayakawa M., Schekotov A.* Fractal analysis of the ground-recorded ULF magnetic fields prior to the 11 March 2011 Tohoku earthquake ( $M_w = 9.0$ ): discriminating possible earthquake precursors from space-sourced disturbances // *Natural Hazards*, 2017, Vol. 85, no. 1, pp. 59–86.
47. *Tatehata H., Ichihara H., Hamano Y.* Tsunami-induced magnetic fields detected at Chichijima Island before the arrival of the 2011 Tohoku earthquake tsunami // *Earth, Planets and Space*, 2015, Vol. 67:185, doi:10.1186/s40623-015-0347-3.
48. *Klausner V., Kherani E.A., Mueller M.T.* Near and far-field sunamigenic effects on the Z component of the geomagnetic field during the Japanese event, 2011 // *Journal of Geophysical Research*, 2016, Vol. 121, pp. 1772–1779.
49. *Kamiyama M., Sugito M., Kuse M., Schekotov A., Hayakawa M.* On the precursors to the 2011 Tohoku earthquake: crustal movements and electromagnetic signatures // *Journal Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 2016, Vol. 7, no. 2, pp. 471–492.
50. *Yaso N., Hasbi A.M., Abdullah M.* Investigation of ionospheric and geomagnetic response during 2011 Tohoku earthquake using ground based measurement // *Journal Indian Journal of Radio and Space Physics*, 2016, Vol. 45, no. 3, pp. 115–125.
51. *Шалимов С.Л.* Атмосферные волны в плазме ионосферы (с геофизическими примерами). — М.: ИФЗ РАН, 2018. — 390 с.
52. *Шалимов С.Л., Нестеров И.А., Воронцов А.М.* О возмущениях ионосферы, регистрируемых посредством GPS, после землетрясения и цунами в Тохоку 11.03.2011 г. // *Физика Земли*. — 2017. — № 2. — С. 97–108. **ГИАБ**

## REFERENCES

1. Milne J. Earthquakes in connection with electric and magnetic phenomena. *Transactions of the Seismological Society of Japan*, 1890, Vol. 15, pp. 135–163.
2. Milne J. Seismic, magnetic, and electric phenomena. *Seismological journal of Japan*, 1894, Vol. 19, pp. 23–33.
3. Reid H. F. Free and forced vibrations of a suspended magnet. *Terrestrial Magnetism*, 1914, Vol. 19, pp. 57–189.
4. Smith B. E., Johnston M. J.S. A tectonomagnetic effect observed before a magnitude 5.2 earthquake near Hollister, California. *Journal of Geophysical Research*, 1976, Vol. 81, pp. 3556–3560.
5. Mueller R.J., Johnston M.J.S. Seismomagnetic effect generated by the October 18, 1989, ML 7.1 Loma Prieta, California earthquake. *Geophysical Research Letters*, 1990, Vol. 17, pp. 1231–1234.
6. Rikitake T., Yamazaki Y. Strain steps as observed by a resistivity variometer. *Tectonophysics*, 1970, Vol. 9, pp. 197–203.
7. Tate J., Daily W. Evidence of electro-seismic phenomena. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 1989, Vol. 57, pp. 1–10.
8. Asada T., Baba H., Kawazoe M., Sugiura M. An attempt to delineate very low frequency electromagnetic signals associated with earthquakes. *Earth, Planets and Space*, 2001, Vol. 53, pp. 55–62.

9. Bortnik J., Cutler J. W., Dunson C., Bleier T. E. The possible statistical relation of Pc1 pulsations to Earthquake occurrence at low latitudes. *Annales Geophysicae*, 2008, Vol. 26, pp. 2825–2836.
10. Parrot M., Mogilevsky M. M. VLF emissions associated with earthquakes and observed in the ionosphere and the magnetosphere. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 1989, Vol. 57, pp. 86–99.
11. Larkina V. I., Migulin V. V., Molchanov O. A., Kharkov I. P., Inchin A. S., Schvetcova V. B. Some statistical results on very low frequency radiowave emissions in the upper ionosphere over earthquake zones. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 1989, Vol. 57, pp. 100–109.
12. Molchanov O. A., Mazhaeva O. A., Goliavin A. N., Hayakawa M. Observation by the Inter-cosmos-24 satellite of ELF-VLF electromagnetic emissions associated with earthquakes. *Annales Geophysicae*, 1993, Vol. 11, pp. 431–440.
13. Parrot M. Statistical study of ELF/VLF emissions recorded by a low-altitude satellite during seismic events. *Journal of Geophysical Research*, 1994, Vol. 99, no. A12, pp. 23339–23347.
14. Hobara Y., Lefeuvre F., Parrot M., Molchanov O. A. Low-latitude ionospheric turbulence observed by Aureol-3 satellite. *Annales Geophysicae*, 2005, Vol. 23, pp. 1259–1270.
15. Molchanov O., Rozhnoi A., Solovieva M., Akentieva O., Berthelier J.-J., Parrot M., Lefeuvre F., Biagi P. F., Castellana L., Hayakawa M. Global diagnostics of the ionospheric perturbations related to the seismic activity using the VLF radio signals collected on the DEMETER satellite. *Natural Hazards and Earth System Science*, 2006, Vol. 6, pp. 745–753.
16. Nemeč F., Santolík O., Parrot M., Berthelier J. J. Spacecraft observations of electromagnetic perturbations connected with seismic activity. *Geophysical Research Letters*, 1990, Vol. 35, L05109, doi: 10.1029/2007GL032517.
17. Molchanov O. A., Kopytenko Yu. A., Voronov P. M., Kopytenko E. A., Matiashvili T. G., Fraser-Smith A. C., Bernardi A. Results of ULF magnetic field measurements near the epicenters of the Spitak ( $M_s = 6.9$ ) and Loma Prieta ( $M_s = 7.1$ ) earthquakes: Comparative analysis. *Geophysical Research Letters*, 1992, Vol. 19, pp. 1495–1498.
18. Kopytenko Y. 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. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 1993, Vol. 77, pp. 85–95.
19. Fraser-Smith A. C., Bernardi A., McGill P. R., Ladd M. E., Helliwell R. A., Villard O. G. Low-frequency magnetic measurements near the epicenter of the Ms 7.1 Loma Prieta earthquake. *Geophysical Research Letters*, 1990, Vol. 17, pp. 1465–1468.
20. Hayakawa M., Kawate R., Molchanov O. A., Yumoto K. Results of ultra-low frequency magnetic field measurements during the Guam earthquake of 8 August 1993. *Geophysical Research Letters*, 1996, Vol. 23, pp. 241–244.
21. Henderson T. R., Sonwalkar V. S., Helliwell R. A., Inan U. S., Fraser-Smith A. C. A search for ELF/VLF emissions induced by earthquakes as observed in the ionosphere by the DE 2 satellite. *Journal of Geophysical Research*, 1993, Vol. 98, pp. 9503–9514.
22. Rodger C. J., Thomson N. R., Dowden R. L. A search for ELF/VLF activity associated with earthquakes using ISIS satellite data. *Journal of Geophysical Research*, 1996, Vol. 101, pp. 13369–13378.
23. Ciliverd M. A., Rodger C. J., Thomson N. R. Investigating seismoionospheric effects on a long subionospheric path. *Journal of Geophysical Research*, 1999, Vol. 104, pp. 28171–28179.
24. Gershenzon N. I., Gokhberg M. B., Karakin A. V., Petviashvili N. V., Rykunov A. L. Modelling the connection between earthquake preparation processes and crustal electromagnetic emission. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 1989, Vol. 57, pp. 129–138.
25. Molchanov O. A., Hayakawa M., Rafalsky V. A. Penetration characteristics of electromagnetic emissions from an underground seismic source into the atmosphere, ionosphere, and magnetosphere. *Journal of Geophysical Research*, 1995, Vol. 100, pp. 1691–1712.
26. Molchanov O. A., Hayakawa M. On the generation mechanism of ULF seismogenic electromagnetic emissions. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 1998, Vol. 105, pp. 201–210.
27. Molchanov O. A., Kulchitsky A., Hayakawa M. Inductive seismo-electromagnetic effect in relation to seismogenic ULF emission. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2001, Vol. 1, pp. 61–67.

28. Sorokin V. M., Chmyrev V. M., Yaschenko A. K. (2001), Electrodynamical model of the lower-atmosphere and the ionosphere coupling. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 2001, Vol. 63, no. 16, pp. 1681–1691.

29. Yusupov V. R. Anomalies of geomagnetic field related to natural and technogenic events in Charvak area. *Geodesy and Geodynamics*, 2018, Vol. 9, no. 5, pp. 367–371.

30. Yakovlev D. V., Tarasov B. G. *Identifikatsiya geomagnitnykh fluktuatsiy s variatsiyey geodinamicheskikh poley i protsessov. Geodinamika i napryazhennoe sostoyanie nedr Zemli* [Identification of geomagnetic fluctuations with variation of geodynamic fields and processes. Geodynamics and stress state of the Earth's interior], Novosibirsk, IGD SO RAN, 2006, pp. 219–231.

31. Hao Y. Q., Xiao Z., Zhang D. H. Teleseismic magnetic effects (TMDs) of 2011 Tohoku earthquake. *Journal of Geophysical Research*, 2013, Vol. 118, pp. 3914–3923.

32. Zav'yalov A. D. The Japanese earthquake on the 11th of March 2011 and problems of short-range forecast of strong tectonic earthquakes. *Georisk*. 2011, no 2, pp. 14–23. [In Russ].

33. Rodkin M. V., Tikhonov I. N. Megaequake of March 11, 2011, in Japan: The event magnitude and the character of the aftershock sequence. *Geofizicheskie protsessy i biosfera*. 2011. Vol. 10, no 1, pp. 64–80. [In Russ].

34. Lutikov A. I. Great Tohoku earthquake of March 11, 2011: Preliminary seismological analysis. *Geofizicheskie protsessy i biosfera*. 2011. Vol. 10, no 2, pp. 37–48. [In Russ].

35. Polets A. Yu., Orlov I. N., Safonov D. A. Reconstruction of the tectonic stress field before and after Japan earthquake 11 March 2011 *Geodinamika*. 2013, no 2(15), pp. 289–291. [In Russ].

36. Tikhonov I. N., Lomtev V. L. Great Japan earthquake of March 11, 2011: Tectonic and seismological aspects. *Geofizicheskie protsessy i biosfera*. 2011. T. 10, no 2, pp. 49–66. [In Russ].

37. Rogozhin E. A. March 11, 2011 M 9.0 Tohoku Earthquake in Japan: Tectonic setting of source, macroseismic, seismological, and geodynamic manifestations. *Geotectonics*, 2011, Vol. 45, No. 5, pp. 337–348.

38. Gvishiani A. D., Luk'yanova R. Yu. Geoinformatics and observations of the Earth's magnetic field: The Russian segment. *Fizika Zemli*. 2015, no 2, pp. 3–20. [In Russ].

39. Adushkin V. V., Ovchinnikov V. M., Sanina I. A., Riznichenko O. Yu. Mikhnevo: from seismic station no. 1 to a modern geophysical observatory. *Fizika Zemli*. 2016, no 1, pp. 108–119. [In Russ].

40. Utada H., Shimizu H., Ogawa T., Maeda T., Furumura T., Yamamoto T., Yamazaki N., Yoshitake Y., Nagamachi S. Geomagnetic field changes in response to the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake and Tsunami. *Earth and Planetary Science Letters*, 2011, Vol. 311, pp. 11–27.

41. Kopytenko Yu. A., Ismaguilov V. S., Hattori K., Hayakawa M. Anomaly disturbances of the magnetic fields before the strong earthquake in Japan on March 11, 2011. *Annales Geophysicae*, 2012, Vol. 55, pp. 101–107.

42. Ohta K., Izutsu J., Schekotov A. The ULF/ELF electromagnetic radiation before the 11 March 2011 Japanese earthquake. *Radio Science*, 2013, Vol. 48. No. 5, pp. 589–596.

43. Xu G., Han P., Huang Q., Hattori K., Febriani F., Yamaguchi H. Anomalous behaviors of geomagnetic diurnal variations prior to the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake ( $M_w = 9.0$ ). *Journal of Asian Earth Sciences*, 2013, Vol. 77, pp. 59–65.

44. Han P., Hattori K., Xu G., Ashida R., Chen C. H., Febriani F., Yamaguchi H. Further investigations of geomagnetic diurnal variations associated with the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake ( $M_w = 9.0$ ). *Journal of Asian Earth Sciences*, 2015, Vol. 114, pp. 321–326.

45. Han P., Hattori K., Huang Q., Hirooka S., Yoshino C. Spatiotemporal characteristics of the geomagnetic diurnal variation anomalies prior to the 2011 Tohoku earthquake ( $M_w = 9.0$ ) and the possible coupling of multiple pre-earthquake phenomena. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2016, Vol. 129, pp. 13–21.

46. Potirakis S. M., Hayakawa M., Schekotov A. Fractal analysis of the ground-recorded ULF magnetic fields prior to the 11 March 2011 Tohoku earthquake ( $M_w = 9.0$ ): discriminating possible earthquake precursors from space-sourced disturbances. *Natural Hazards*, 2017, Vol. 85, no. 1, pp. 59–86.

47. Tatehata H., Ichihara H., Hamano Y. Tsunami-induced magnetic fields detected at Chichijima Island before the arrival of the 2011 Tohoku earthquake tsunami. *Earth, Planets and Space*, 2015, Vol. 67:185, doi:10.1186/s40623-015-0347-3.

48. Klausner V., Kherani E. A., Muella M. T. Near and far-field sunamigenic effects on the Z component of the geomagnetic field during the Japanese event, 2011. *Journal of Geophysical Research*, 2016, Vol. 121, pp. 1772–1779.

49. Kamiyama M., Sugito M., Kuse M., Schekotov A., Hayakawa M. On the precursors to the 2011 Tohoku earthquake: crustal movements and electromagnetic signatures. *Journal Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 2016, Vol. 7, no. 2, pp. 471–492.

50. Yaso N., Hasbi A. M., Abdullah M. Investigation of ionospheric and geomagnetic response during 2011 Tohoku earthquake using ground based measurement. *Journal Indian Journal of Radio and Space Physics*, 2016, Vol. 45, no. 3, pp. 115–125.

51. Shalimov S.L. *Atmosfernye volny v plazme ionosfery (s geofizicheskimi primerami)* [Atmospheric waves in the plasma of the ionosphere (with geophysical examples)], Moscow, IFZ RAN, 2018, 390 p.

52. Shalimov S.L., Nesterov I.A., Vorontsov A.M. On the GPS-based ionospheric perturbation after the Tohoku earthquake of March 11, 2011. *Fizika Zemli*. 2017, no 2, pp. 97–108. [In Russ].

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Рябова Светлана Александровна — младший научный сотрудник,  
Институт динамики геосфер РАН, e-mail: ryabovasa@mail.ru.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

S.A. Ryabova, Junior Researcher, e-mail: ryabovasa@mail.ru,  
Institute of Geosphere Dynamics of Russian Academy of Sciences,  
119334, Moscow, Russia.



---

## ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

---

### РАЗВИТИЕ РЕГИОНАЛЬНОГО УГЛЕДОБЫВАЮЩЕГО ОБЪЕДИНЕНИЯ: РЕЗУЛЬТАТЫ, АНАЛИЗ, ОСМЫСЛЕНИЕ, ОБОБЩЕНИЕ (2018, № 12, СБ 50, 312 с.)

Приведены реальные примеры разработки, освоения и реализации на предприятиях угледобывающего производственного объединения АО «СУЭК-Красноярск» инструментария развития персонала, подразделений и предприятий. Представлены результаты анализа и осмысления, обобщен опыт, полученный в процессе реализации организационно-управленческих и технико-технологических решений по улучшению деятельности в объединении в целом, производственных единицах, подразделениях, на рабочих местах. Реализованные решения позволили выявить и использовать имеющиеся возможности снижения риска травм и аварий, экономические и организационные резервы. Для руководителей и специалистов региональных производственных объединений и отдельных угледобывающих предприятий, занимающихся выработкой и реализацией наступательных стратегий развития.

### DEVELOPMENT OF REGIONAL COAL MINING ENTERPRISES: RESULTS, ANALYSIS, UNDERSTANDING, GENERALIZATION

Real examples of the development, development and implementation of tools for the development of personnel, departments and enterprises at the enterprises of the coal mining production Association of JSC «SUEK-Krasnoyarsk» are given. The article presents the results of analysis and understanding, summarizes the experience gained in the implementation of organizational, managerial and technical and technological solutions to improve the activities in the Association as a whole, production units, departments, workplaces. The implemented solutions made it possible to identify and use the available opportunities to reduce the risk of injuries and accidents, economic and organizational reserves. For managers and specialists of regional production associations and individual coal mining enterprises engaged in the development and implementation of offensive development strategies.