

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВАРИАЦИЙ СКОРОСТИ ОСЕВОГО ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ НА УРОВЕНЬ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ЛОКАЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

В.В. Тютюник<sup>1</sup>, Л.Ф. Черногор<sup>2</sup>, В.Д. Калугин<sup>1</sup>, Т.Х. Агазаде<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Национальный университет гражданской защиты Украины, 61023, г. Харьков, ул. Чернышевского, 94, Украина*

<sup>2</sup>*Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, 61022, г. Харьков, площадь Свободы, 4, Украина*

Предложена оценка влияния вариаций скорости осевого вращения Земли на уровень сейсмической активности территории. Результаты этой оценки использованы для создания автоматизированной информационно-аналитической системы раннего обнаружения очагов чрезвычайных ситуаций тектонического происхождения и прогнозирования уровня сейсмической опасности на контролируемой локальной территории в условиях энергетического равновесия в системе Солнце—Земля—Луна.

**Ключевые слова:** чрезвычайная ситуация, сейсмическая опасность, сейсмическая активность, вариации скорости осевого вращения Земли.

**Постановка проблемы.** Необходимость и важность оценки уровня динамических и энергетических эффектов в системе Солнце—Земля—Луна, влияющих на вариации скорости осевого вращения Земли и на уровень сейсмической активности планеты, определяют актуальность выбранной темы исследования. Постановка проблемы такого рода необходима для более глубокого понимания существования энергетической и динамической (геологической) неоднородности поверхности Земли, а следовательно, и раннего предупреждения причин очагов различной сейсмической активности планеты. Это неотъемлемая составляющая научно-технического направления по исследованию кинетики и энергетики процессов возникновения, развития и разрушающего воздействия различных факторов опасностей [9, 33, 34, 36] при создании и последующем формировании четырехуровневой (объектовой, городской, региональной и государственной уровни обеспечения безопасности жизнедеятельности) системы выявления в пространстве и времени таких факторов на этапе их зарождения и воздействия на них с целью недопущения возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС) [1, 10, 13].

На каждом уровне системы мониторинга в режимах повседневного функционирования, повышенной готовности и чрезвычайного состояния автоматизированно выполняются такие операции: 1) обработка полученной фактической информации о степени опасности от нижнего уровня и информации от территориальной подсистемы мониторинга ЧС данного уровня; 2) прогноз возможного возникновения ЧС; 3) разработка предложений по

предупреждению и ликвидации очагов опасностей на данном и нижнем уровнях, а также о необходимости привлечения дополнительных сил и средств предупреждения и ликвидации ЧС на высших уровнях; 4) передача информации на высший уровень, включая государственный.

На государственном уровне функции системы мониторинга ЧС ориентированы на анализ информации, получаемой как от региональных подсистем мониторинга, так и от территориальной государственной подсистемы мониторинга ЧС, контролирующей очаги опасностей в атмосфере, околоземном пространстве, ближнем и дальнем космосе, в недрах Земли, на территориях других государств, которые могут представлять опасность для территории рассматриваемого государства.

В рамках обозначенных перспектив научных исследований в сфере гражданской защиты и обеспечения безопасности жизнедеятельности на государственном уровне исследовалось влияние энергетических процессов вариации скорости осевого вращения Земли, как одной из составляющих термодинамической открытой динамической нелинейной системы Солнце—Земля—Луна, на территориально-временное распределение количества возникновения ЧС тектонического характера и установление соотношения между уровнями сейсмической активности полушарий планеты.

Сопоставление частотных характеристик вариаций осевого вращения Земли и тектонических проявлений, установление их коррелятивности свидетельствуют о единой природе указанных явлений, что может оказаться надежным инструментом

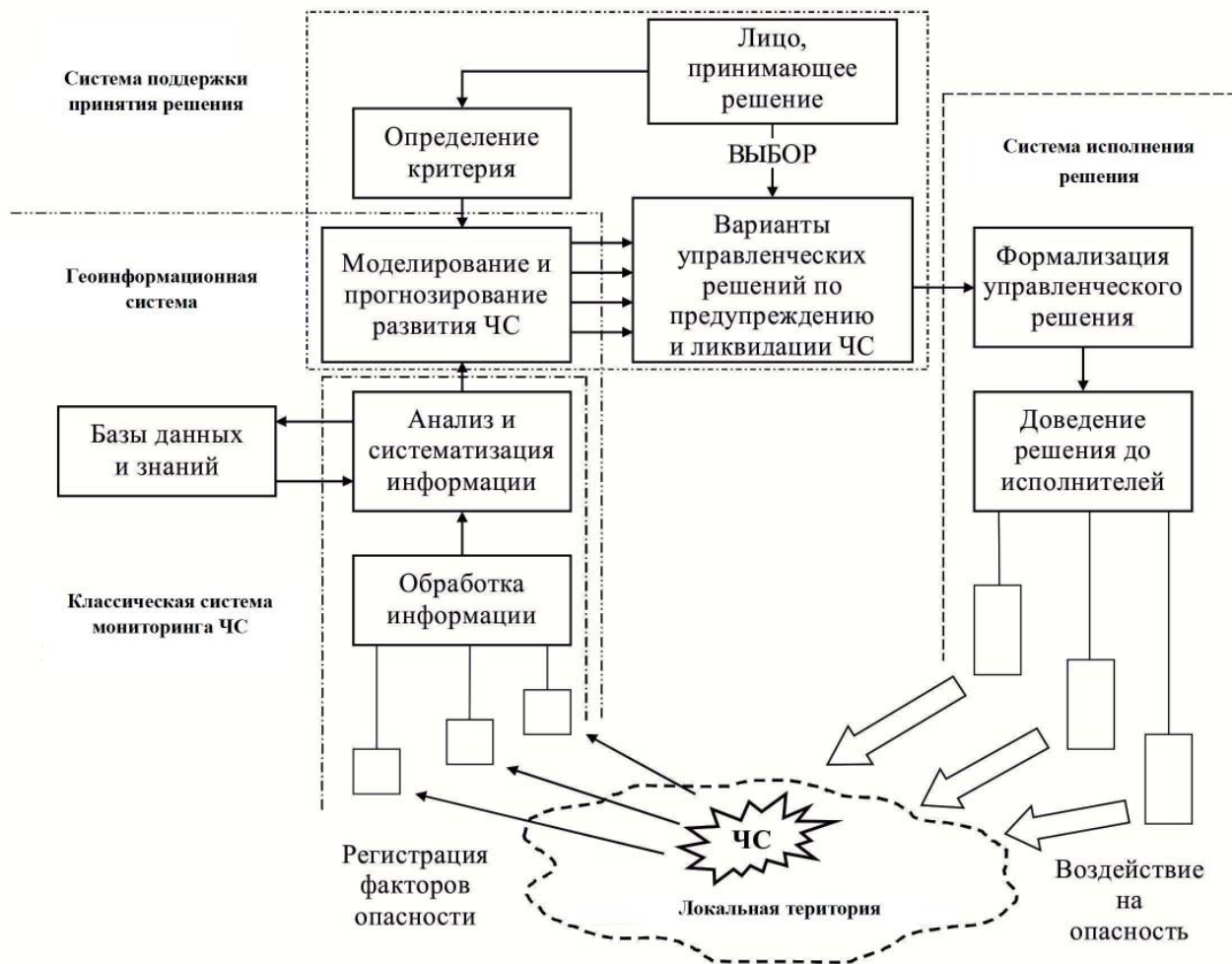


Рис. 1. Схема структуры мониторинга чрезвычайных ситуаций как средства управления  
 Fig. 1. Structure scheme of monitoring emergency as controlling means

раннего обнаружения ЧС тектонического происхождения и стать основой подсистемы контроля сейсмической активности планеты в рамках единой государственной системы гражданской защиты. В связи с изложенным основой автоматизированной информационно-аналитической подсистемы раннего обнаружения очагов сейсмической активности и прогнозирования сейсмической опасности на контролируемой локальной территории является классический контур управления, обеспечивающий, в соответствии с данными рис. 1, сбор, обработку и анализ информации, а также моделирование развития сейсмической опасности на земной поверхности.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Анализ научной литературы с глубиной поиска около 10 лет показывает, что среди направлений научных исследований по прогнозированию опасных тектонических процессов особый интерес представляют исследования, направленные на изучение:

- связи между глобальными свойствами сейсмической активности Земли с ее осевым вращением [12, 24];

- причин возникновения сейсмической опасности, вызванных пространственно-колебательными перемещениями внутреннего ядра Земли и его воздействием на земную оболочку [17, 18].

Так, согласно взглядам о взаимосвязи сейсмической активности оболочки земного шара с процессами в его недрах [17], сейсмичность локальной территории изменяется вследствие годового перемещения центра ядра относительно центра земного шара (рис. 2).

В статьях [12, 24] описаны результаты работ, направленных на установление статистическими методами корреляции между глобальными свойствами сейсмической активности Земли (распределение количества землетрясений между полушариями), угловой скоростью и угловым ускорением вращения планеты. Был проведен корреляционный анализ данных о землетрясениях за период 1964–2008 гг., предоставленных Национальным информационным центром по землетрясениям Геологической службы США [12, 24]. На основе результатов указанного направления исследований, а также наших данных сформулированы представления о двух классах ди-

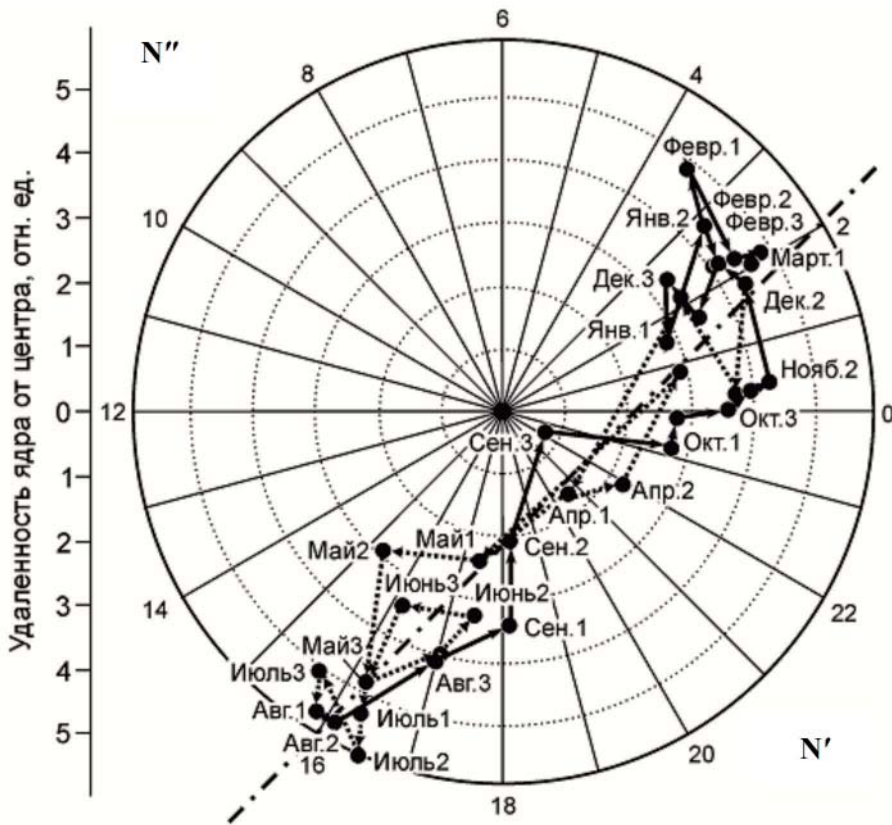


Рис. 2. Трасса движения ядра внутри Земли в течение года (вид со стороны полюса) [10]: N' и N'' – полусферы относительно плоскости движения ядра (сечение в зонах 2-го и 16-го временных поясов)

Fig. 2. Core Earth movements line within a year (a type the pole party) [10]: N' and N'' – hemispheres concerning the plane core driving (section in zones 2 and 16 of time zones)

динамических факторов, определяющих изменение сейсмичности в крупных тектонических структурах [22, 31–33, 35], а также о механизме, определяющем изменение во времени общего количества сильных землетрясений, и механизме, вызывающем изменение напряженности на стыках тектонических плит.

Исходя из изложенного выше, необходимо объединить представления о воздействии динамики и энергетики внутренних физико-химических процессов земного шара на процесс генерирования ЧС тектонического происхождения с целью достоверной оценки сейсмической активности выбранной локальной территории. Сформулированный нами подход к изучению природы сейсмических явлений – важный инструмент анализа при проведении исследований в сфере гражданской защиты по разработке моделей процессов возникновения и развития ЧС тектонического происхождения.

**Постановка задачи и ее решения.** Цель данной работы – развитие представлений о влиянии энергетических эффектов, происходящих в системе Солнце–Земля–Луна, на вариации скорости осевого вращения Земли и уровень ее сейсмической активности. Формирование задачи исследования неразрывно связано с необходимостью выявления факторов сейсмической опасности, которые опреде-

ляют условия функционирования локальной территории.

Физико-химические процессы, протекающие в системе Солнце–Земля–Луна и влияющие на уровень сейсмической опасности функционирования локальной территории, схематически можно охарактеризовать следующими пространственными построениями (рис. 3–5).

1. Ось вращения Земли описывает на небесной сфере сложную волнообразную траекторию, точки которой находятся на угловом расстоянии в среднем около  $23,5^\circ$  от полюса эклиптики (рис. 3). Вершина конуса совпадает с центром Земли. Точки равноденствий и солнцестояний движутся по эклиптике навстречу Солнцу. Моменты сил притяжения, которые действуют на экваториальные

вздутия, изменяются в зависимости от положений Луны и Солнца по отношению к Земле. Когда Луна и Солнце находятся в плоскости земного экватора, моменты сил притяжения исчезают, а когда склонения Луны и Солнца максимальны, величина моментов сил наибольшая. Вследствие колебаний моментов сил тяготения наблюдаются нутации оси вращения Земли, которые складываются из небольших периодических колебаний. Основной из них имеет период 18,6 года – время обращения узлов орбиты Луны. Движение с этим периодом происходит по эллипсу. Большая ось эллипса перпендикулярна к направлению прецессионного движения и равна  $18,4''$ , малая – параллельна ему и равна  $13,7''$ . Далее по величине амплитуды располагаются составляющие с периодом 0,5 года, 13,7 сут, 9,3 года, 1 год, 27,6 сут и т. д., поэтому траектория имеет вид «тонких кружев» (показано на увеличенном фрагменте в левой части рис. 3) [4, 12, 15, 24–26, 39, 42, 43].

2. В результате эксцентрического обращения оболочки Земли вокруг смещенного внутреннего ядра возникает давление со стороны твердого внутреннего ядра и окружающего расплава (внешнего ядра) на мантию, которое вытесняет оболочку изнутри. В других частях планеты возникают силы, сжимающие оболочку шара, втягивая ее внутрь к ядру. Данный процесс имеет две составляющие: воздействие вследствие годового перемещения центра ядра относительно центра земного шара (рис. 3–5);

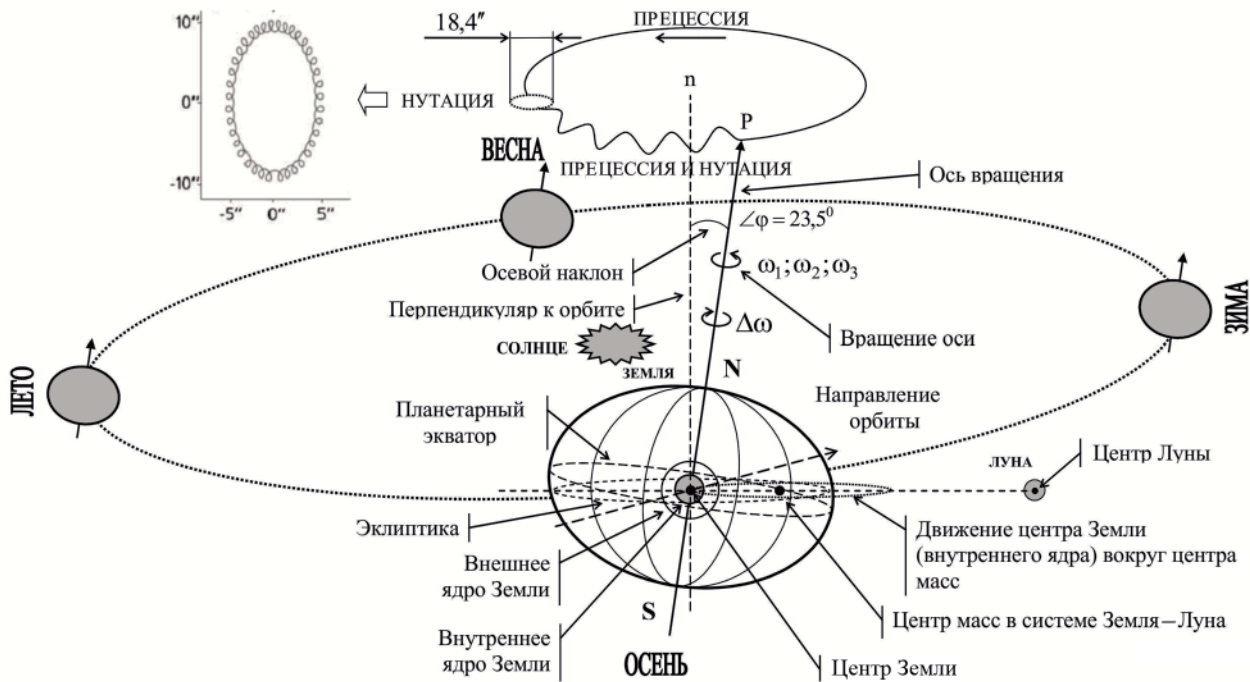


Рис. 3. Схема движения внутреннего ядра Земли в системе Солнце—Земля—Луна

Fig. 3. Driving scheme of an internal core of Earth within Sun-Earth-Moon system

воздействие при эксцентрическом обращении ядра относительно нижней мантии, когда за счет разницы в угловых скоростях обращения ядра и нижней мантии ( $\omega_1$  — угловая скорость вращения мантии;  $\omega_2$  — угловая скорость вращения внешнего ядра;  $\omega_3$  — угловая скорость вращения внутреннего ядра;  $\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1$  — угловая скорость поворота внешнего ядра относительно мантии («западный дрейф»)) наблюдаются зоны повышенного давления и разряжения ( $P_1 \neq P_2$ , где  $P_1$  и  $P_2$  — показатели давления внутреннего ядра земного шара на ее поверхность),

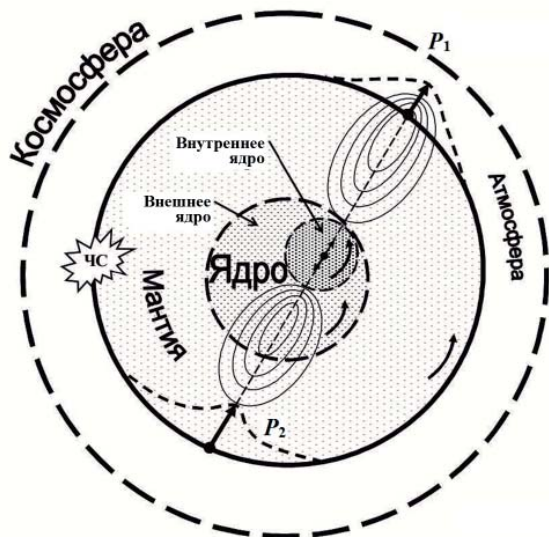


Рис. 4. Схема влияния колебаний внутреннего ядра на сейсмическую активность

Fig. 4. Influence scheme of internal core on seismic activity fluctuations

влияющие на уровень сейсмической активности поверхности земного шара (рис. 4). Такие зоны существуют до тех пор, пока угловые скорости обращения и смещения ядра различны.

3. При перемещении литосферных плит (рис. 5) формируются внутренние упругие напряжения, — источники землетрясений  $Z_0$  [3, 6, 11, 20, 28]. Глубина возникновения упругих напряжений зависит от величины перемещения плит. Относительное

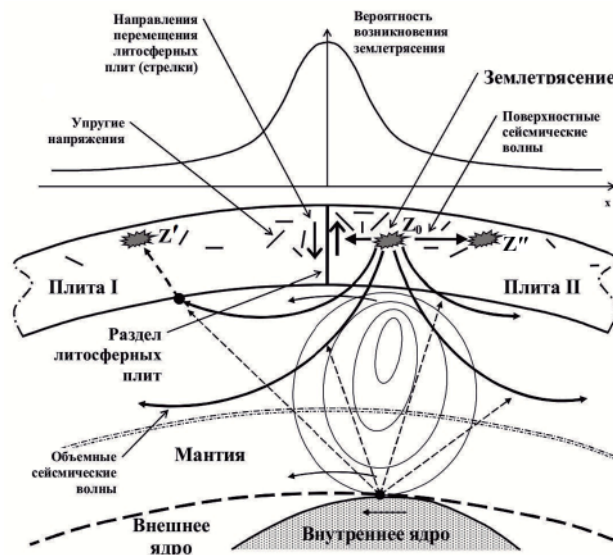


Рис. 5. Схема процесса возникновения землетрясений и распространения сейсмической активности

Fig. 5. Process flow diagram of emergence earthquakes and distribution of seismic activity

движение литосферных плит приводит к появлению неглубокозалегающих (не глубже 20–25 км) источников землетрясений, а погружение литосферных плит в мантию — источников глубоких (превышающих 70 км) землетрясений. При увеличении расстояния от границы раздела литосферных плит снижается вероятность возникновения упругих напряжений.

4. Факторами распространения опасности от землетрясения  $Z_0$  могут быть поверхностные и объемные сейсмические волны, вызывающие вторичные землетрясения [3, 11, 23].

5. В процессе пространственно-колебательного перемещения внутреннего ядра Земли и его влияния на внешнее ядро возникает вероятность взаимного усиления или ослабления объемных сейсмических волн и возможность проявления вторичных землетрясений  $Z'$  [16, 30].

6. Не исключена возможность воздействия поверхностных и объемных сейсмических волн на напряженность в литосфере, возникающую вблизи землетрясения и провоцирующую цепную реакцию распространения сейсмической опасности  $Z''$  [5, 14, 19, 30–32].

7. Установлено, что вследствие движения внутреннего ядра Земли происходят территориально-временные изменения интенсивности естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ), провоцирующие аномальные процессы в атмосфере [2, 11, 17, 18, 21, 27, 31, 32, 38, 40, 41].

На основе результатов анализа данных рис. 3–5 сформулирована задача — установление взаимосвязи между вариацией скорости осевого вращения Земли и ее уровнями сейсмической активности, с привлечением данных Главного центра специального контроля Государственного космического агентства Украины [7].

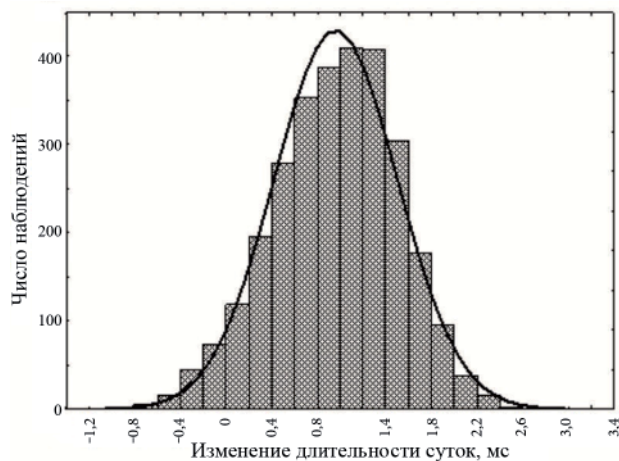


Рис. 6. Распределение числа наблюдений по изменению скорости осевого вращения Земли ( $LOD(t)$ ), гипотетически подчиняющегося нормальному закону распределения

Fig. 6. The histogram of number distribution observations on change of axial rotation speed of Earth ( $LOD(t)$ ), hypothetically submitting to the normal distribution law

Для изучения вариации скорости осевого вращения Земли используется понятие изменения длительности суток в таком виде [15, 25, 26]:

$$LOD(t) = D(t) - 86400,$$

где  $D(t) = \frac{r_0}{r(t)} \cdot 86400$  — длительность суток, мс;  $r_0 = 7,292115 \cdot 10^{-5}$  — постоянная (средняя) угловая скорость собственного вращения планеты.

Согласно результатам графического сопоставительного анализа за период 2009–2016 гг. между вариацией скорости осевого вращения Земли с центром, находящимся на уровне изменения длительности суток, равном 1 мс (рис. 6), и удалением

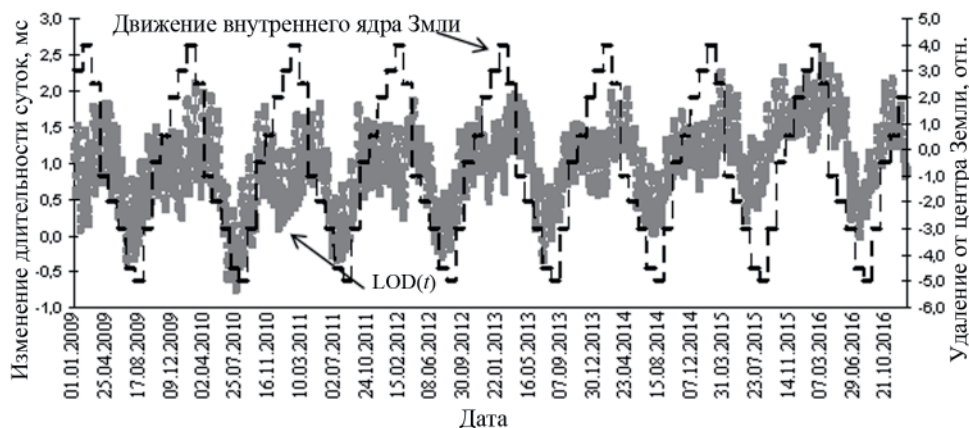


Рис. 7. Помесячная динамика показателей вариации скорости осевого вращения Земли ( $LOD(t)$ ) и удаления внутреннего ядра от ее центра за период 2009–2016 гг.

Fig. 7. Monthly dynamics of speed variation indexes of Earth axial rotation ( $LOD(t)$ ) and removals of an internal core from the center of the Globe during 2009–2016

внутреннего ядра от центра (см. рис. 2), это удаление имеет циклический характер и демонстрирует отсутствие тренда на временном периоде исследования (рис. 7).

Согласно результатам спектрального анализа данного временного периода (рис. 8), наблюдается явно выраженный пик на частоте  $0,003 \text{ сут}^{-1}$ , что указывает на годовой цикл движения ядра Земли (рис. 9) и свидетельствует об адекватности использования спектрального анализа при оценке периодичности сейсмической активности земного шара и его отдельных локальных территорий в условиях предполагаемого, в соответствии с данными рис. 3, энергетического равновесия в системе Солнце—Земля—Луна.

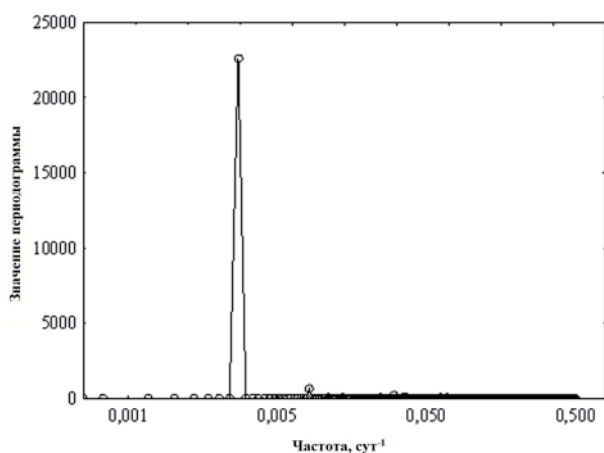


Рис. 8. Периодограмма временного ряда, характеризующего удаление внутреннего ядра от центра Земли (по данным рис. 2, 7)

Fig. 8. A periodogram of the time series characterizing removal of an internal core from the center of the Globe (according to fig. 2 and 7)

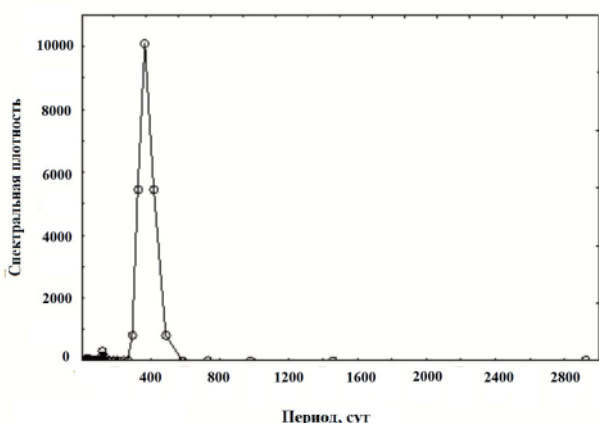


Рис. 9. Зависимость спектральной плотности от периода вариации скорости осевого вращения Земли (по данным рис. 7)

Fig. 9. Dependence of a spectral density on the period of a speed axial variation rotation of Earth (according to fig. 7)

Результаты спектрального анализа данного временного ряда показаны на рис. 10, 11. Явно выраженными пиками на частотах  $0,003$  и  $0,005 \text{ сут}^{-1}$  (рис. 10), в соответствии с данными рис. 11, подтверждаются годовой и полугодовой циклы вариации скорости вращения Земли вокруг Солнца. Специфика полугодового цикла отличается тем, что вершины колебаний  $LOD(t)$  в интервале положительных значений, соответствующих положению внутреннего ядра Земли на максимальном удалении от центра планеты, характерны для зимнего (по данным рис. 2, 3) периода года.

Явно выраженные пики на частотах  $0,036$  и  $0,073 \text{ сут}^{-1}$ , в соответствии с данными рис. 11, указывают на месячный ( $T \approx 27,57 \text{ сут}$ ) и полумесячный ( $T \approx 13,65 \text{ сут}$ ) циклы вариации скорости вращения Земли вокруг собственной оси.

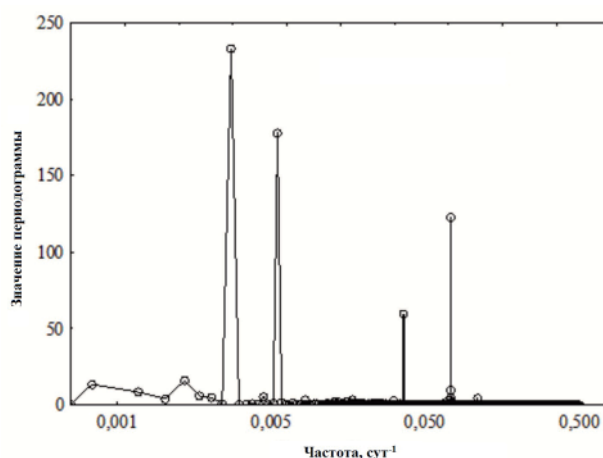


Рис. 10. Периодограмма временного ряда, характеризующего вариации скорости осевого вращения Земли (по данным рис. 7)

Fig. 10. A periodogram of the time series characterizing variations of axial rotation speed of Earth (according to fig. 7)

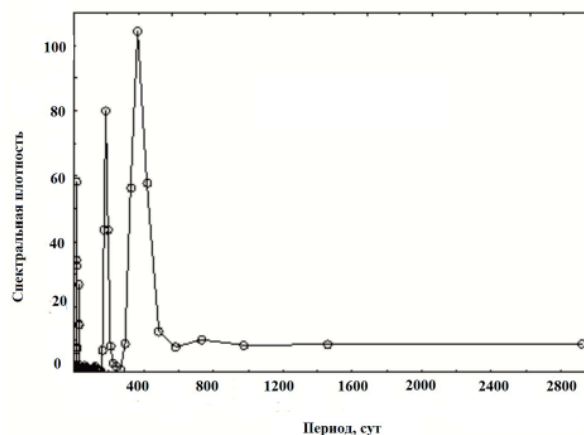


Рис. 11. Зависимость спектральной плотности от периода вариации скорости осевого вращения Земли (по данным рис. 7)

Fig. 11. Dependence of a spectral density on the period of a variation speed axial rotation of Earth (according to fig. 7)

Результаты спектрального анализа динамики показателей вариации скорости осевого вращения Земли и удаления внутреннего ядра от центра (см. рис. 8—11) однозначно свидетельствуют о единой природе происхождения анализируемых характеристик. Можно уверенно говорить о том, что осцилляции  $LOD(t)$  связаны с собственными колебаниями внутреннего ядра Земли и территориальным распределением интенсивности ЕИЭМПЗ [16—18].

С целью подтверждения адекватности обобщенной физической модели возникновения и распространения на земной поверхности сейсмической активности (см. рис. 3—5) на основе результатов анализа данных (см. рис. 8—11) сформулирована задача, включающая установление по данным Главного центра специального контроля Государственного космического агентства Украины комплексной взаимосвязи между уровнем сейсмической активности Земли, пространственно-колебательным перемещением ее внутреннего ядра и вариацией скорости осевого вращения планеты.

Согласно результатам спектрального анализа временного ряда по количеству возникших на планете за период 2009—2016 гг. землетрясений с магнитудой  $M \geq 5$  (рис. 12), наблюдается явно выраженный пик на частоте  $0,002 \text{ сут}^{-1}$ , что подтверждает, в соответствии с данными рис. 13, псевдогодовой ( $T \approx 417,43 \text{ сут}$ ) цикл сейсмической активности Земли с магнитудой  $M \geq 5$ . Большое количество внутригодовых циклов указывает на специфику локальных зон сейсмической нестабильности и необходимость исследования причин возникновения землетрясений отдельно в каждой зоне земного шара. Эти исследования планируется проводить на примере анализа сейсмической опасности территории Каспийского региона с учетом обобщенных в графическом виде (см. рис. 3—5) представлений о возник-

новении и распространении на земной поверхности сейсмической активности.

Согласно анализу помесечно-территориально-временного распределения сейсмической активности на земной поверхности (рис. 14), с движением внутреннего ядра Земли в системе Солнце—Земля—Луна связаны вариации скорости осевого вращения планеты и распределение землетрясений на ее поверхности. Это, на наш взгляд, определяется законом перераспределения энергии воздействия внутреннего ядра (в процессе его движения (см. рис. 2—5)) на тектонические процессы, происходящие в оболочке планеты.

По данным рис. 14 можно заключить, что в периоды обращения Земли вокруг Солнца ее внутреннее ядро, максимально удаляясь от центра и максимально приближаясь к оболочке, энергетически максимально влияет на скорость осевого вращения и, соответственно, на колебания тектонических плит оболочки планеты. Это обусловлено, как показано на рис. 4, появлением зон повышенного давления и разряжения ( $P_1 \neq P_2$ ). Увеличение неравномерного давления внутреннего ядра Земли на ее оболочку приводит к повышению сейсмической активности на стыках геологических плит.

Данное обстоятельство обусловлено появлением в условиях неравенства угловых скоростей  $\omega_1 \neq \omega_2 \neq \omega_3$  вращательного движения зон давления внутреннего ядра на оболочку планеты вокруг ее оси вращения, а следовательно, территориально-временного перемещения давления внутреннего ядра на различных участках геологических плит, что приводит к активации разностного перемещения плит, появлению дополнительных, вдоль разделов геологических плит, упругих напряжений и увеличению вероятности возникновения землетрясения (см. рис. 4, 5). Рассмотренный эффект особенно проявляется

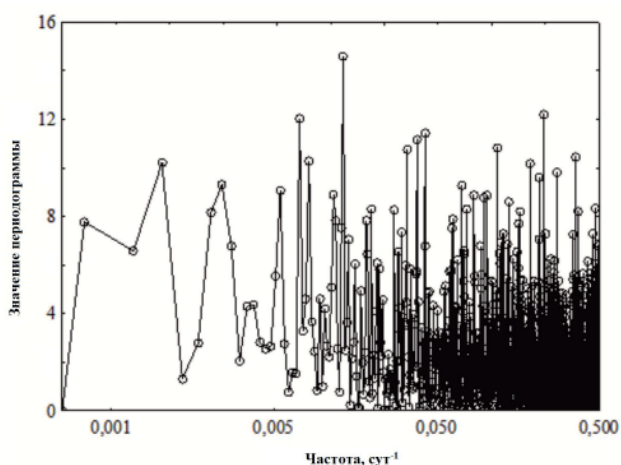


Рис. 12. Периодограмма временного ряда возникших на планете землетрясений с магнитудой  $M \geq 5$

Fig. 12. A periodogram of a time series of the earthquakes which arose on the planet with a magnitude  $M \geq 5$

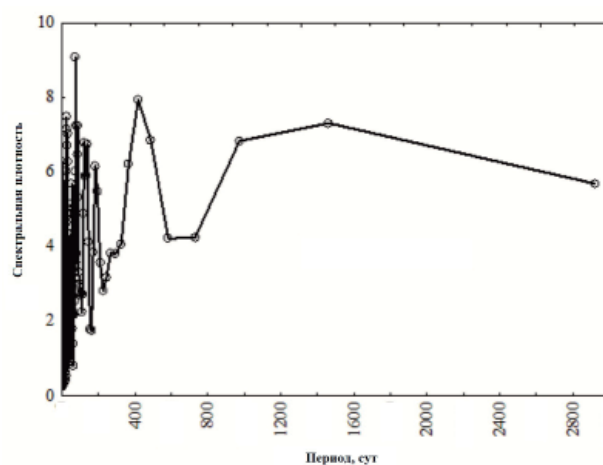


Рис. 13. Зависимость спектральной плотности от периода возникших на планете землетрясений с магнитудой  $M \geq 5$

Fig. 13. Dependence of a spectral density on the period of the earthquakes which arose on the planet with a magnitude  $M \geq 5$

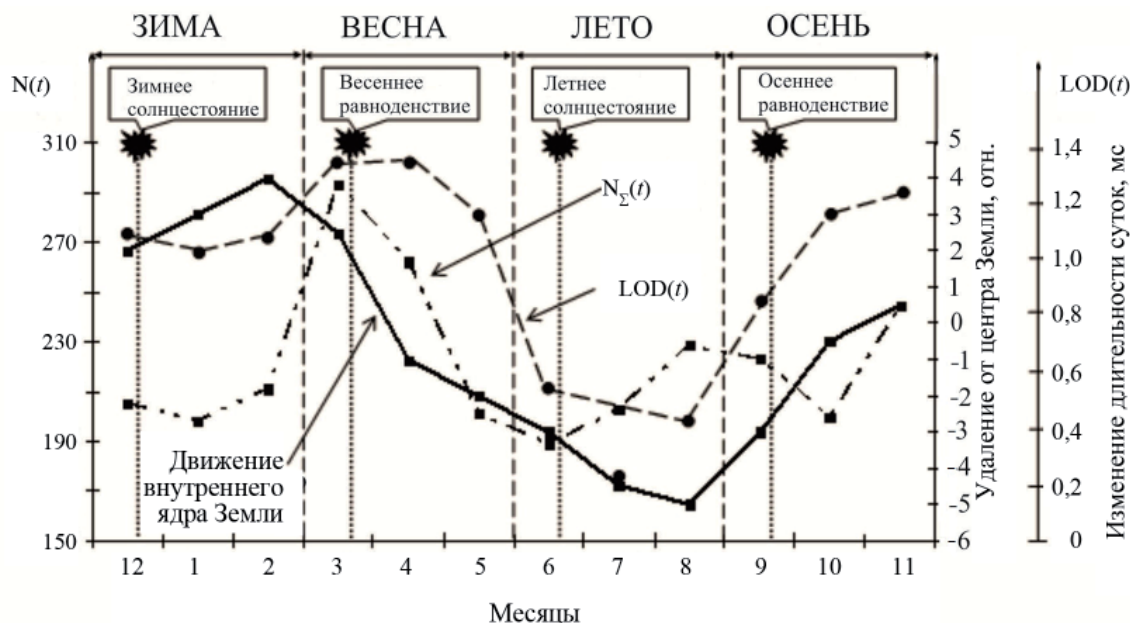


Рис. 14. Обобщенная помесечная динамика показателей вариации скорости осевого вращения Земли ( $LOD(t)$ ), удаления внутреннего ядра от ее центра и суммарной сейсмической активности  $N_{\Sigma}(t)$  с магнитудой  $M \geq 5$  в течение года за период 2009–2016 гг.

Fig. 14. Generalized on the globe monthly dynamics of axial rotation speed variation indexes of Earth ( $LOD(t)$ ), removals of an internal core from the center of the Globe and cooperative seismic activity  $N_{\Sigma}(t)$  with a magnitude  $M \geq 5$  within a year during 2009–2016

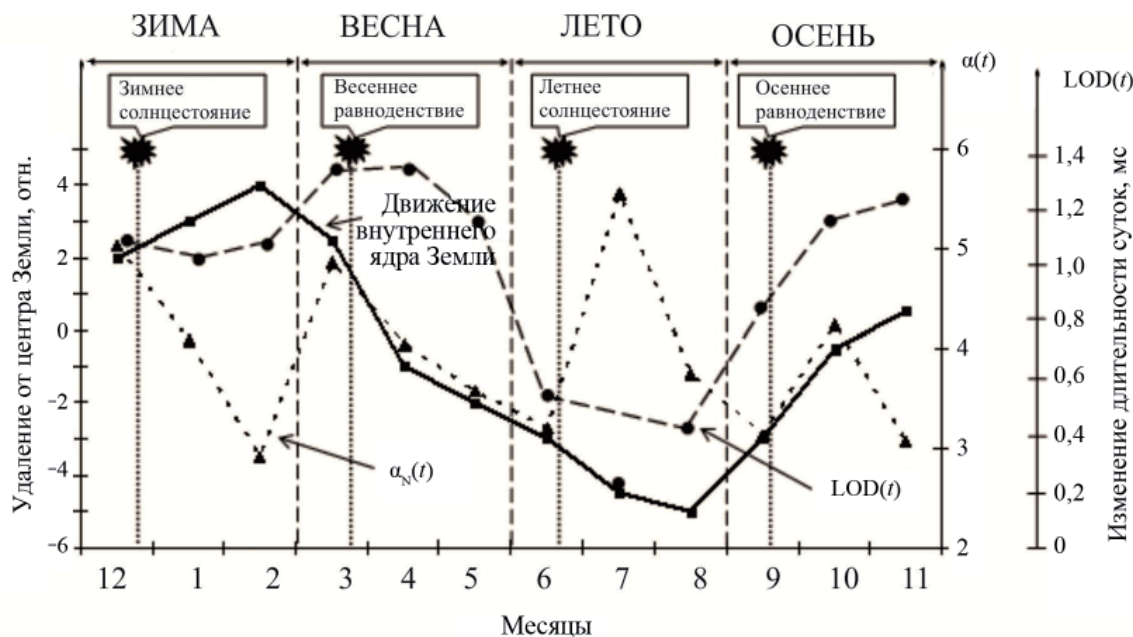


Рис. 15. Обобщенная помесечная динамика показателей вариации скорости осевого вращения Земли ( $LOD(t)$ ), удаления внутреннего ядра от ее центра и параметра  $\alpha_N(t)$

Fig. 15. Generalized on the globe monthly dynamics of axial rotation speed variation indexes of Earth ( $LOD(t)$ ), removals of an internal core from the center of the Globe and parameter  $\alpha_N(t)$

в полусфере  $N'$ , согласно подходу, показанному на рис. 2, при условном разделении сферы Земли плоскостью движения ее внутреннего ядра. В полусфере  $N'$  этот эффект также имеет место.

Результат оценки взаимосвязи количества землетрясений в полусферах  $N'$  и  $N''$  и магнитуды  $M \geq 5$  представлен в виде отношения  $\alpha_N = N'/N''$  (рис. 15). Графическая зависимость указывает на четко вы-



раженные сезонные колебания показателя взаимосвязи  $\alpha_N(t)$ , имеющие период  $T_p=3$  мес.

Необходимо зафиксировать факт соответствия максимально-сезонных значений показателя  $\alpha_N(t)$  периодам зимнего солнцестояния и весеннего равноденствия. В периоды летнего солнцестояния и осеннего равноденствия показатель  $\alpha_N(t)$  принимает минимальные в данный сезон значения. Это обстоятельство, на наш взгляд, обусловлено спецификой сезонного движения внутреннего ядра Земли в системе Солнце—Земля—Луна и его влиянием на скорость осевого вращения планеты.

Таким образом, согласно результатам исследования (см. рис. 14, 15), существуют характеристические положения в движении внутреннего ядра, которые влияют на скорость осевого вращения Зем-

ли и соответствуют экстремумам в динамике показателей  $N_\Sigma(t)$  и  $\alpha_N(t)$ . Этим положениям в движении внутреннего ядра соответствуют сезонные процессы приближения и удаления центров внешнего и внутреннего ядер в условиях проявления трех основных факторов: закономерного движения Земли вокруг Солнца; разности в угловых скоростях вращения ядер и мантии планеты; проявления прецессии и нутации в ее движении при закономерной динамике центра масс системы Земля—Луна.

Проведена предварительная оценка распределения (в соответствии с географическими координатами) уровня сейсмической активности на земной поверхности (рис. 16, 17) с целью установления закона распределения сейсмической активности, кластеризации территории планеты, а также подтверждения взаимосвязи между полученными результатами и представлениями о физико-химических процессах, протекающих в системе Солнце—Земля—Луна и влияющих на уровень сейсмической опасности функционирования локальной территории (см. рис. 3—5).

Согласно результатам анализа за период 2009—2016 гг. (рис. 17), наиболее нестабильна в Западном полушарии зона (число наблюдений — 336 землетрясений) с координатами  $50^\circ$ — $100^\circ$  з.д., а в Восточном — зона (число наблюдений — 835 землетрясений) с координатами  $100^\circ$ — $150^\circ$  в.д. При этом в Восточном полушарии наблюдаются еще две активные зоны (число наблюдений — 413 землетрясений) с координатами  $50^\circ$ — $100^\circ$  и  $150^\circ$ — $180^\circ$  в.д. В Северном полушарии нестабильна зона

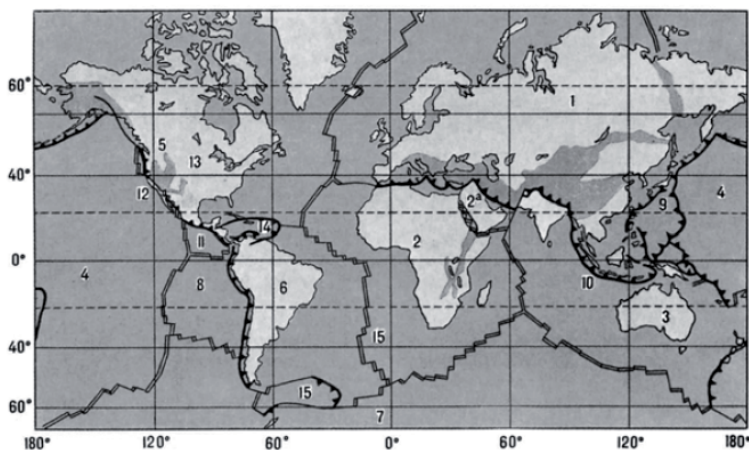


Рис. 16. Статистическая оценка распределения на земной поверхности землетрясений с магнитудой  $M \geq 5$  за период 2009—2016 гг.

Fig. 16. Statistical assessment of distribution across the territory of the Globe earthquakes with a magnitude  $M \geq 5$  during 2009—2016

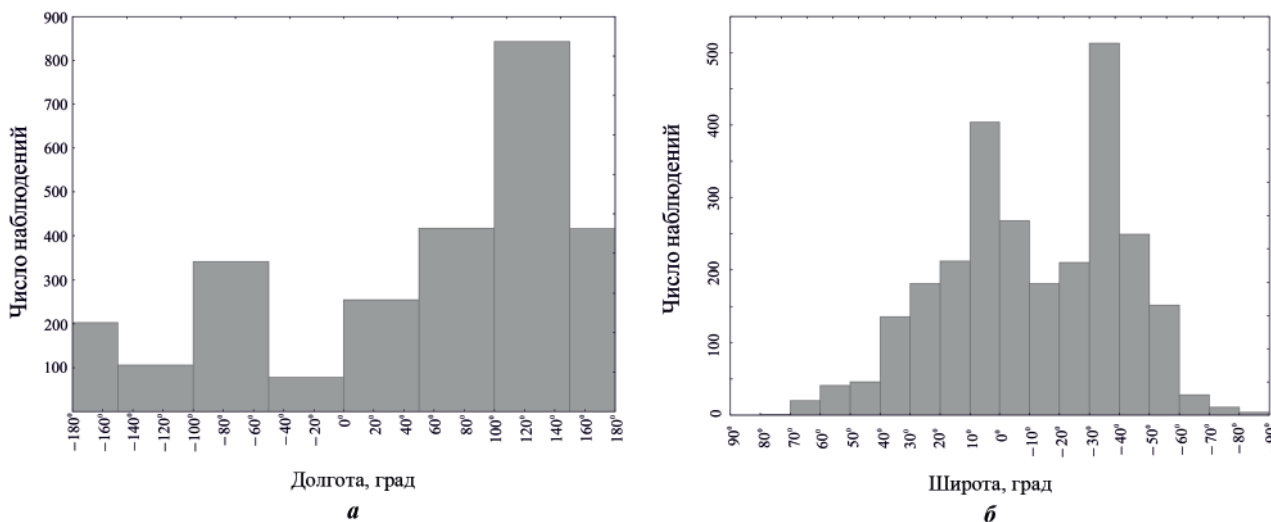


Рис. 17. Распределение на земной поверхности числа наблюдений возникновения землетрясений с магнитудой  $M \geq 5$  по географической долготе (а) и широте (б) за период 2009—2016 гг.

Fig. 17. Distributions on the earth's surface of the number of observations of the occurrence of earthquakes with a magnitude of  $M \geq 5$  by geographic longitude (a) and latitude (b) during 2009—2016.

(число наблюдений — 509 землетрясений) с координатами 30°—40° с.ш., а в Южном — зона (число наблюдений — 403 землетрясения) с координатами 0°—10° ю.ш.

Полученные теоретико-экспериментальные результаты базируются на представлениях об использовании (при разрешении проблемы в сфере гражданской защиты по разработке моделей процессов возникновения и развития различного характера опасностей как необходимой составляющей для построения интегральной системы мониторинга ЧС) функциональной поверхности, горизонтальной проекции которой совпадают с конфигурацией локальной территории, а ее выпуклости соответствуют уровням опасности в местах с конкретными географическими координатами [1, 29]. Изложенные представления являются физической основой для разработки подхода к оценке влияния сейсмической активности земного шара на степень сейсмической активности сейсмически опасной локальной территории.

**Выводы.** Показано, что создание комплексной четырехуровневой (с учетом взаимосвязей между объектовым, городским, региональным и государственным уровнями) автоматизированной системы мониторинга ЧС, с подсистемой раннего выявления очагов сейсмической активности и прогнозирования сейсмической опасности на земном шаре, — необходимое условие для определения соответствующего уровня сейсмической безопасности функционирования контролируемой локальной территории.

Установлено, что основой подсистемы раннего обнаружения очагов сейсмической активности и прогнозирования сейсмической опасности на контролируемой локальной территории является классический контур управления, обеспечивающий сбор, обработку и анализ информации, а также моделирование развития сейсмической опасности.

При разработке системного подхода для прогнозирования процессов возникновения ЧС тектонического происхождения обоснован механизм энергетического влияния сезонных колебаний ядра Земли на вариации скорости ее осевого вращения, интенсивность естественного импульсного электромагнитного поля Земли, уровень сейсмической активности Земли.

На базе анализа вариации скорости осевого вращения Земли и эксцентрического равномерно-поступательно-вращательного динамического движения ее внутреннего ядра рассмотрена возможность установления периодической осцилляции сейсмического состояния планеты.

На основе полученных результатов помесечной вариации скорости осевого вращения Земли и сейсмической активности на ее поверхности относительно трассы движения внутреннего ядра установлено сезонное перераспределение энергетического влияния последнего на скорость осевого вращения планеты, а также уровень сейсмической активности

сейсмически нестабильных ее территорий. Результаты обработки количества землетрясений на земной поверхности указывают на асимметрическое распределение ЧС тектонического происхождения.

#### Список библиографических ссылок

1. Андронов В.А., Дівізійюк М.М., Калугін В.Д., Тютюник В.В. Науково-конструкторські основи створення комплексної системи моніторингу надзвичайних ситуацій в Україні: монографія. Харків: Вид-во Нац. ун-ту цивільного захисту України, 2016. 319 с.
2. Беляков А.С., Лавров В.С., Николаев А.В., Худзинский Л.Л. Подземный фоновый звук и его связь с приливными деформациями. *Физика Земли*. 1999. № 12. С. 39—46.
3. Березняков А.И., Немець К.А. *Фізика Землі*. Харків: Вид-во Харків. нац. ун-ту імені В. Н. Каразіна, 2010. 268 с.
4. Горькавый Н.Н., Левицкий Л.С., Тайдакова Т.А., Трапезников Ю.А., Фридман А. М. О корреляции графиков угловой скорости вращения Земли и модуля ее временной производной с частотой землетрясений в зависимости от их магнитуды. *Физика Земли*. 1994. № 10. С. 33—38.
5. Гульельми А.В. Форшоки и афтершоки сильных землетрясений в свете теории катастроф. *Успехи физических наук*. 2015. Т. 185, № 4. С. 415—429.
6. Гувельд И.Л. Сейсмический процесс. Физико-химические аспекты. Королев, М.О.: ЦНИИМаш, 2007. 160 с.
7. Данные Главного центра специального контроля Государственного космического агентства Украины [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.nkau.gov.ua/nsau/zemltrus.nsf>
8. Жаров В.Е., Конов А.С., Смирнов В.Б. Вариации параметров вращения Земли и их связь с сильнейшими землетрясениями мира. *Астрономический журнал*. 1991. Т. 68, вып. 1. С. 187—196.
9. Калугін В.Д., Тютюник В.В., Калугін В.Д., Черногор Л.Ф., Шевченко Р.І. Системний підхід до оцінки ризиків надзвичайних ситуацій в Україні. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2012. 1/6 (55). С. 59—70.
10. Калугін В.Д., Тютюник В.В., Черногор Л.Ф., Шевченко Р.І. Розробка науково-технічних основ для створення системи моніторингу, попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру та забезпечення екологічної безпеки. *Системи обробки інформації*. 2013. Вип. 9(116). С. 204—216.
11. Касахара К. *Механика землетрясений*. Москва: Мир, 1985. 264 с.
12. Клименко А.В. Глобальные свойства сейсмической активности Земли и их связь с ее вращением. Дис. ... канд. физ.-мат. наук. Москва, 2005. 87 с.
13. Кодекс цивільного захисту України від 2 жовтня 2012 року № 5403-VI. *Голос України*. 2012. Листопад (№ 220 (5470)). С. 4—20.
14. Левин Б.В., Родкин М.В., Тихонов И.Н. Великое японское землетрясение. *Природа*. 2011. № 10. С. 14—22.

15. Левин Б.В., Сасорова Е.В., Доманский А.В. Свойства «критических широт», вариации вращения и сейсмичность Земли. *Вестник ДВО РАН*. 2013. № 3. С. 3—8.
16. Малышков Ю.П., Джумабаев К.Б., Малышков С.Ю. и др. Способ прогноза землетрясений. Институт мониторинга климатических и экологических систем. Пат. РФ № 2238575, МПК G01V3/00, 20.10.2004.
17. Малышков Ю.П., Малышков С.Ю. Периодические вариации геофизических полей и сейсмичности, их возможная связь с движением ядра Земли. *Геология и геофизика*. 2009. Т. 50, № 2. С. 152—172.
18. Малышков Ю.П., Малышков С.Ю., Шталин С.Г. и др. Способ определения пространственного положения и параметров движения внутреннего ядра Земли. Институт мониторинга климатических и экологических систем. Пат. РФ № 2352961С2, МПК G01V3/00, 20.04.2009.
19. Пшенников К.В. Механизм возникновения афтершоков и неупругие свойства земной коры. Москва: Наука, 1965. 87 с.
20. Райс Дж. Механика очага землетрясения. Москва: Мир, 1982. 217 с.
21. Ремизов Л.Т. Регистрация изменений естественного электромагнитного поля в периоды времени, предшествующие землетрясениям. *Радиотехника и электроника*. 1991. Т. 36, № 6. С. 1041—1080.
22. Ромашов А.Н., Цыганков С.С. В поисках обобщающей геотектонической концепции. *Геотектоника*. 1996. № 4. С. 3—12.
23. Саваренский Е.Ф. Сейсмические волны. Москва: Недра, 1972. 296 с.
24. Сидоренков Н.С. Нестабильность вращения Земли. *Вестник РАН*. 2004. Т. 74, № 8. С. 701—715.
25. Сидоренков Н.С. Физика нестабильностей вращения Земли. Москва: Наука, Физматлит, 2002. 384 с.
26. Сидорин А.Я. Влияние Солнца на сейсмичность и сейсмический шум. *Сейсмические приборы*. 2004. Вып. 40. С. 71—80.
27. Тертышников А.В. Предвестники сильных землетрясений в озоносфере. *Гелиогеофизические исследования*. 2012. Вып. 2. С. 5—59.
28. Трухин В.И., Показеев К.В., Куницын В.Е. Общая и экологическая геофизика. Москва: Физматлит, 2005. 576 с.
29. Тютюник В.В. Створення комплексної системи моніторингу надзвичайних ситуацій в регіонах України. Автореф. дис. ... д-ра техн. наук за спец. 21.02.03 — Цивільний захист. Київ, 2015. 42 с.
30. Тютюник В.В., Калугін В.Д. Дослідження механізму цепного розвитку процесу розповсюдження нестабільності у сейсмічно небезпечних регіонах Землі. *Системи обробки інформації*. 2012. Вип. 1(30). С. 178—184.
31. Тютюник В.В., Черногор Л.Ф., Калугін В.Д., Агазаде Т.Х. Оценка влияния энергетических эффектов в системе Солнце—Земля—Луна на уровень сейсмической активности территории земного шара. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2017. Вип. 6(46). С. 238—246.
32. Тютюник В.В., Черногор Л.Ф., Калугін В.Д., Агазаде Т.Х. Оценка динамических и энергетических эффектов на планете Земля и влияние их на соотношение между уровнями сейсмической активности полушарий земного шара. *Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека*. 2017. № 2(4) С. 101—117.
33. Тютюник В.В., Черногор Л.Ф., Калугін В.Д. Використання енергетичного підходу для оцінки ефективності функціонування комплексної автоматизованої системи моніторингу, попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій на локальній території. *Системи обробки інформації*. 2016. Вип. 1(138). С. 183—194.
34. Тютюник В.В., Черногор Л.Ф., Калугін В.Д. Системний підхід до оцінки небезпеки життєдіяльності при територіально-часовому розподілі енергії джерел надзвичайних ситуацій. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. 2011. Вип. 14. С. 171—194.
35. Фридман А.М., Поляченко Е.В., Насырканов Н.Р. О некоторых корреляциях в сейсמודинамике и двух компонентах сейсмической активности Земли. *Успехи физических наук*. 2010. Т. 180, № 3. С. 303—312.
36. Черногор Л.Ф. Физика и экология катастроф. Харьков: Изд-во Харьков. Нац. ун-та имени В. Н. Каразина, 2012. — 556 с.
37. Электромагнитные предвестники землетрясений; под ред. М. А. Садовского. Москва: Наука, 1982. 69 с.
38. Afraimovich E.L., Perevalova N.P., Plotnikov A.V., Uralov A.M. The shock-acoustic waves generated by the earthquakes. *Annales Geophysicae*. 2001. Vol. 19, N 4. P. 395—409.
39. Atef A.H., Liu K.H., Gao S.S. Apparent weekly and daily earthquake periodicities in the Western United States. *Bull. Seismol. Soc. Amer.* 2009. Vol. 99, N 4. P. 2273—2279.
40. Garcia R., Crespon F., Ducic V., Lognonne P. Three-dimensional ionospheric tomography of post-seismic perturbations produced by the Denali earthquake from GPS data. *Geophys. J. Int.* 2005. Vol. 163. P. 1049—1064.
41. Heki K., Ping J. Directivity and apparent velocity of the coseismic traveling ionospheric disturbances observed with a dense GPS array. *Earth Planet. Sci. Lett.* 2005. Vol. 236. P. 845—855.
42. Wiemer S., Wyss M. Mapping spatial variability of the frequency-magnitude distribution of earthquakes: An overview. *Advances in Geophysics*. 2002. Vol. 45. P. 259—302.
43. Zharov V.E. Connection of the Earth's rotation with the atmospheric angular momentum and the strongest earthquakes. *Astron. Astrophys. Transactions*. 1996. Vol. 9. P. 317—327.

Поступила в редакцию 25.06.2018 г.

## ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ВАРІАЦІЙ ШВИДКОСТІ ОСЬОВОГО ОБЕРТАННЯ ЗЕМЛІ НА РІВЕНЬ СЕЙСМІЧНОЇ АКТИВНОСТІ ЛОКАЛЬНИХ ТЕРИТОРІЙ

В.В. Тютюник<sup>1</sup>, Л.Ф. Черногор<sup>2</sup>, В.Д. Калугін<sup>1</sup>, Т.Х. Агазаде<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Національний університет цивільного захисту України, 61023, м. Харків, вул. Чернишевського, 94, Україна

<sup>2</sup>Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, 61022, м. Харків, майдан Свободи, 4, Україна

Оцінено вплив варіацій швидкості осьового обертання Землі на рівень сейсмічної активності. Результати використано для створення автоматизованої інформаційно-аналітичної системи раннього виявлення джерел надзвичайних ситуацій тектонічного походження та прогнозування рівня сейсмічної активності на контрольованій локальній території в умовах енергетичної рівноваги в системі Сонце—Земля—Місяць.

**Ключові слова:** надзвичайна ситуація, сейсмічна небезпека, сейсмічна активність, варіації швидкості осьового обертання Землі.

## INFLUENCE ESTIMATION OF ROTATION SPEED VARIATION OF THE EARTH ON LEVEL OF SEISMIC ACTIVITY OF LOCAL TERRITORIES

V. Tyutyunik<sup>1</sup>, L. Chernogor<sup>2</sup>, V. Kalugin<sup>1</sup>, T. Agazade<sup>1</sup>

<sup>1</sup>National University of Civil Protection of Ukraine, 61023, Kharkiv, Chernychevskoho street, 94, Ukraine

<sup>2</sup>V.N. Karazin Kharkov national university, 61023, Kharkiv, Svobody Sq, 4, Ukraine

Influence estimation of rotation speed variation of the earth on level of seismic activity of local globe territory has been realized. Results have been used for creation of the automated informational and analytical system of early detection centers of tectonic emergency origin and for prediction of seismic danger level in the controlled local territory in the conditions of power equilibrium in system Sun—Earth—Moon.

**Keywords:** emergency situation, seismic danger, seismic activity, variations of rotation speed Earth.

### References

1. Andronov V.A., Divizinyuk M.M., Kalugin V.D., Tyutyunik V.V. Naukovo-konstruktors'ki osnovi stvorennya kompleksnoi sistemi monitoringu nadzvichaynykh situatsiy v Ukraïni: Kharkiv: Vyd-vo Natsional'nogo universitetu tsivil'nogo zakhistu Ukraïny, 2016. — 319 p.
2. Belyakov A.S., Lavrov V.S., Nikolaev A.V., Khudzinskiy L.L. Podzemny fonovyy zvuk i ego svyaz' s prilivnymi deformatsiyami. *Fizika Zemli*. 1999. N 12. P. 39—46.
3. Bereznyakov A.I., Nemets' K.A. Fizika Zemli. Kharkiv: Vud-vo Kharkivs'kogo natsional'nogo universitetu imeni V.N. Karazina, 2010. 268 p.
4. Gor'kavyy N.N., Levitskiy L.S., Taydakova T.A., Trapeznikov Yu.A., Fridman A.M. O korrelyatsii grafikov uglovooy skorosti vrashcheniya Zemli i modulya ee vremennoy proizvodnoy s chastotoy zemletryaseniya v zavisimosti ot ikh magnitudy. *Fizika Zemli*. 1994. N 10. P. 33—38.
5. Gul'el'mi A.V. Forshoki i aftershoki sil'nykh zemletryaseniya v svete teorii kata-strof. *Uspekhi fizicheskikh nauk*. 2015. Vol. 185, N 4. P. 415—429.
6. Gufel'd I.L. Seismicheskiy protsess. Fiziko-khimicheskie aspekty. Korolev M. O.: TsNIIMash, 2007. 160 p.
7. Dannye Glavnogo tsentra spetsial'nogo kontrolya Gosudarstvennogo kosmicheskogo agentstva Ukrainy [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.nkau.gov.ua/nsau/zemltrus.nsf>
8. Zharov V.E., Konov A.S., Smirnov V.B. Variatsii parametrov vrashcheniya Zemli i ikh svyaz' s sil'neyshimi zemletryaseniya mira. *Astronomicheskii zhurnal*. 1991. Vol. 68, vypusk 1. P. 187—196.
9. Kalugin V.D., Tyutyunik V.V., Kalugin V.D., Chornogor L.F., Shevchenko R.I. Sistemnyi pidkhdid do otsinki rizikiv nadzvichaynykh situatsiy v Ukraïni. *Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy*. 2012. N 1/6(55), P. 59—70.
10. Kalugin V.D., Tyutyunik V.V., Chornogor L.F., Shevchenko R.I. Rozrobka naukovo-tekhnichnikh osnov dlya stvorennya sistemi monitoringu, poperedzhennya ta likvidatsii nadzvichaynykh situatsiy prirodnoho ta tekhnogennogo kharakteru ta zabezpechennya ekologichnoi bezpeki. Sistemi obrobki informatsii. Kharkiv: Vud-vo Kharkivs'kogo universitetu Povitryanykh Syl imeni Ivana Kozheduba, 2013. Vypusk 9(116). P. 204—216.
11. Kasakhara K. Mekhanika zemletryaseniya. Moskva: Mir, 1985. 264 p.
12. Klimenko A.V. Global'nye svoystva seismicheskoy aktivnosti Zemli i ikh svyaz' s ee vrashcheniem. Dis. ... kand. fiz.-mat. nauk. Moskva: Moskovskiy gosudarstvennyy oblastnoy universitet, 2005. 87 p.
13. Kodeks tsivil'nogo zakhistu Ukraïni vid 2 zhovtnya 2012 roku № 5403-VI. *Golos Ukraïny*. 2012. Listopad (N 220(5470)). P. 4—20.
14. Levin B.V., Rodkin M.V., Tikhonov I.N. Velikoe Yaponskoe zemletryasenie. *Priroda*. 2011. N 10. P. 14—22.

15. Levin B.V., Sasorova E.V., Domanskiy A.V. Svoystva «kriticheskikh shirot», variatsii vrashcheniya i seysmichnosti Zemli. *Vestnik DVO RAN*. 2013. N 3. P. 3—8.
16. Malyshkov Yu.P., Dzhumabaev K.B., Malyshkov S.Yu. i dr. Sposob prognoza zemletryaseniya. Institut monitoringa klimaticheskikh i ekologicheskikh sistem. Pat. RF N 2238575, MPK G01V3/00, 20.10.2004.
17. Malyshkov Yu.P., Malyshkov S.Yu. Periodicheskie variatsii geofizicheskikh poley i seysmichnosti, ikh vozmozhnaya svyaz' s dvizheniem yadra Zemli. *Geologiya i geofizika*. 2009. Vol. 50, N 2. P. 152—172.
18. Malyshkov Yu.P., Malyshkov S.Yu., Shtalin S.G. i dr. Sposob opredeleniya prostranstvennogo polozheniya i parametrov dvizheniya vnutrennego yadra Zemli. Institut monitoringa klimaticheskikh i ekologicheskikh sistem. Pat. RF N 2352961S2, MPK G01V3/00, 20.04.2009.
19. Pshennikov K.V. Mekhanizm vozniknoveniya aftershokov i neuprugie svoystva zemnoy kory. Moskva: Nauka, 1965. 87 p.
20. Rays Dzh. Mekhanika ochaga zemletryaseniya. Moskva: Mir, 1982. 217 p.
21. Remizov L.T. Registratsiya izmeneniy estestvennogo elektromagnitnogo polya v perio-dy vremeni, predshestvuyushchie zemletryaseniya. *Radiotekhnika i elektronika*. 1991. Vol. 36, N 6. P. 1041—1080.
22. Romashov A.N., Tsygankov S.S. V poiskakh obobshchayushchey geotektonicheskoy kontseptsii. *Geotektonika*. 1996. N 4. P. 3—12.
23. Savarenskiy E.F. Seysmicheskie volny. Moskva: Nedra, 1972. 296 p.
24. Sidorenkov N.S. Nestabil'nost' vrashcheniya Zemli. *Vestnik RAN*. 2004. Vol. 74. N 8. P. 701—715.
25. Sidorenkov N.S. Fizika nestabil'nostey vrashcheniya Zemli. Moskva: Nauka, Fizmatlit, 2002. 384 p.
26. Sidorin A.Ya. Vliyaniye Solntsa na seysmichnost' i seysmicheskiy shum. *Seysmicheskie pribory*. 2004. Vypusk 40. P. 71—80.
27. Tertyshnikov A.V. Predvestniki sil'nykh zemletryaseniya v ozonosfere. *Geliogeofizicheskie issledovaniya*. 2012. Vypusk 2. P. 5—59.
28. Trukhin V.I., Pokazeev K.V., Kunitsyn V.E. Obshchaya i ekologicheskaya geofizika. Moskva: Fizmatlit, 2005. 576 p.
29. Tyutyunik V.V. Stvorennaya kompleksnoy sistemoy monitoringu nadzvichaynykh situatsiy v regionakh Ukrainy. Avtoref. ... d-r tekhnichnykh nauk; za spets. 21.02.03 — Tsvil'niy zakhist. Kyiv: DP «Institut geokhimiï navkolishn'ogo seredovishcha NAN Ukrainy». 2015. 42 p.
30. Tyutyunik V.V., Kalugin V.D. Doslidzhennya mekhanizmu tsepnogo rozvitku protsesu rozpovsyudzhennya nestabil'nosti u seysmichno nebezpechnikh regionakh Zemli. *Sistemi obrobki informatsii*. Kharkiv: Kharkivs'kiy universitet Povitryanikh Sil imeni Ivana Kozheduba, 2012. Vypusk 1(30). P. 178—184.
31. Tyutyunik V.V., Chernogor L.F., Kalugin V.D., Agazade T.Kh. Otsenka vliyaniya energeticheskikh effektov v sisteme Solntse—Zemlya—Luna na uroven' seysmicheskoy aktivnosti territorii zemnogo shara. Sistemi upravlinnya, navigatsii ta zv'yazku. Poltava: Poltavs'kiy natsional'niy tekhnichniy universitet imeni Yuriya Kondratyuka, 2017. Vypusk 6(46). P. 238—246.
32. Tyutyunik V.V., Chernogor L.F., Kalugin V.D., Agazade T.Kh. Otsenka dinamicheskikh i energeticheskikh effektov na planete Zemlya i vliyaniye ikh na sootnosheniye mezhdru urovnnyami seysmicheskoy aktivnosti polushariy zemnogo shara. *Naukoviy visnik: Tsvil'niy zakhyst ta pozhezhna bezpeka*. Kyiv: Ukrain'skiy naukovy-doslidniy institut tsvil'nogo zakhistu, 2017. N 2(4). P. 101—117.
33. Tyutyunik V.V., Chornogor L.F., Kalugin V.D. Viktoristannya energetichnogo pidkhotu dlya otsinki effektivnosti funktsionuvannya kompleksnoy avtomatizovanoy sistemoy monitoringu, poperedzhennya ta likvidatsii nadzvichaynykh situatsiy na lokal'niy teritorii. *Systemy obrobki informatsii*. Kharkiv: Kharkivs'kiy universitet Povitryanukh Syl imeni Ivana Kozheduba, 2016. Vypusk 1(138). P. 183—194.
34. Tyutyunik V.V., Chornogor L.F., Kalugin V.D. Systemnyi pidkhid do otsinki nebezpeky zhittediyal'nosti pri terytorial'no chasovomu rozpodilu energii dzherel nadzvichaynykh situatsiy. Problemy nadzvychaynykh situatsiy. Kharkiv: Natsional'niy universitet tsvil'nogo zakhystu Ukrainy, 2011. Vipusk 14. P. 171—194.
35. Fridman A.M., Polyachenko E.V., Nasyrkanov N.R. O nekotorykh korrelyatsiyakh v seysmodinamike i dvukh komponentakh seysmicheskoy aktivnosti Zemli. *Uspekhi fizicheskikh nauk*. 2010. Vol. 180, N 3. P. 303—312.
36. Chernogor L.F. Fizika i ekologiya katastrof. Khar'kov: Khar'kovskiy natsional'niy universitet imeni V. N. Karazina, 2012. 556 p.
37. Elektromagnitnye predvestniki zemletryaseniya; pod red. M. A. Sadovskogo. Moskva: Nauka, 1982. 69 p.
38. Afraimovich E.L., Perevalova N.P., Plotnikov A.V., Uralov A.M. The shock-acoustic waves generated by the earthquakes. *Annales Geophysicae*. 2001. Vol. 19, N 4. P. 395—409.
39. Atef A.H., Liu K.H., Gao S.S. Apparent weekly and daily earthquake periodicities in the Western United States. *Bull. Seismol. Soc. Amer.* 2009. Vol. 99, N 4. P. 2273—2279.
40. Garcia R., Crespon F., Ducic V., Lognonne P. Three-dimensional ionospheric tomography of post-seismic perturbations produced by the Denali earthquake from GPS data. *Geophys. J. Int.* 2005. Vol. 163. P. 1049—1064.
41. Heki K., Ping J. Directivity and apparent velocity of the coseismic traveling ionospheric disturbances observed with a dense GPS array. *Earth Planet. Sci. Lett.* 2005. Vol. 236. P. 845—855.
42. Wiemer S., Wyss M. Mapping spatial variability of the frequency-magnitude distribution of earthquakes: An overview. *Advances in Geophysics*. 2002. Vol. 45. P. 259—302.
43. Zharov V.E. Connection of the Earth's rotation with the atmospheric angular momentum and the strongest earthquakes. *Astron. Astrophys. Transactions*. 1996. Vol. 9. P. 317—327.