

РАЗВИТИЕ ОСНОВ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ТЕКТОНИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

В. В. ТЮТЮНИК, Л. Ф. ЧЕРНОГОР, В. Д. КАЛУГИН, Т. Х. АГАЗАДЕ

В работе методами факторного анализа и анализа главных компонент проведена оценка взаимосвязи между основными параметрами движения Земного шара в системе Солнце–Земля–Луна и основными параметрами тектонической опасности сейсмически активных локальных территорий планеты. Полученные результаты являются базой для развития научно-технических основ создания геоинформационной системы мониторинга чрезвычайных ситуаций (ЧС) тектонического происхождения на основе повышения эффективности прогноза сейсмической активности территории Земного шара.

Ключевые слова: геоинформационная система, мониторинг чрезвычайных ситуаций тектонического происхождения, прогноз сейсмической активности, факторный анализ, анализ главных компонент.

ВВЕДЕНИЕ

На поверхности Земли и в прилегающих к ней слоях атмосферы, литосферы, гидросферы и космосферы протекает множество процессов различной природы. Результаты этих процессов и взаимной трансформации могут служить причинами возникновения опасных для территории Земного шара природных явлений таких, как землетрясения, цунами, извержения вулканов, наводнения, ураганы и другие [1–4].

Увеличение за последнее десятилетие развития

цивилизации количества и разрушительной силы ЧС природного характера приводит к нарушениям нормальных условий жизнедеятельности общества, характеризующихся значительными социально-экономическими последствиями [1–8].

Это указывает на необходимость разработки эффективных мероприятий по предупреждению и ликвидации ЧС различной природы, реализуемых на основе представлений о классическом контуре управления, схематично раскрытых на рис. 1.

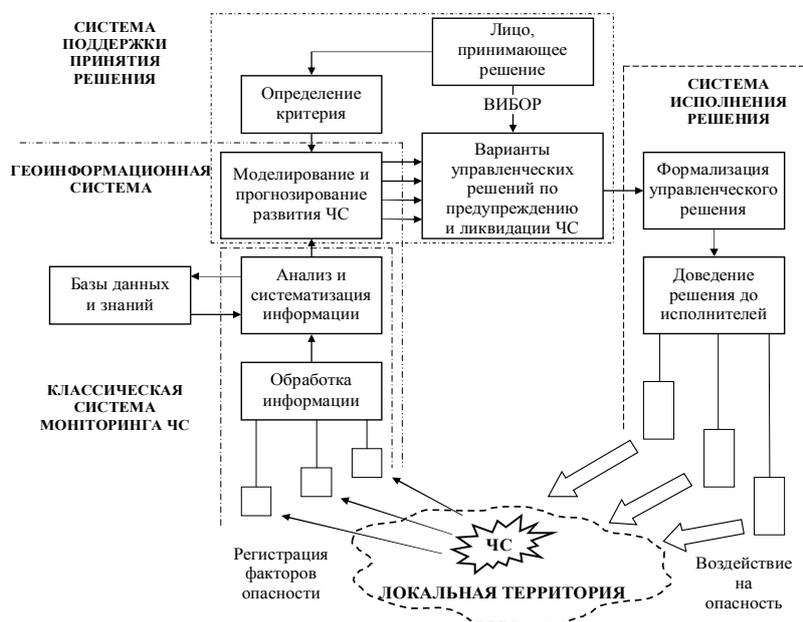


Рис. 1. Схема структуры мониторинга ЧС как средства управления [15]

Данная работа является частью запланированного комплекса научных исследований, направленных на разработку соответствующей комплексной геоинформационной системы мониторинга ЧС природного, техногенного, социального и военного характера [9–15]. Работа ориентирована на изучение процесса возникновения и распространения ЧС литосферного происхождения, которые представляют или могут

представить серьезную опасность жизнедеятельности общества, а также влиять на оценку степени риска негативного влияния сейсмической активности на условия нормального функционирования территории Земного шара. Предшествующие научные результаты, полученные авторами по данной проблематике, представлены в работах [16–23].

Динамику физических процессов, протекающих в системе Солнце–Земля–Луна и влияющих на уровень сейсмической опасности функционирования локальной территории, схематически можно представить, согласно рис. 2–4, и охарактеризовать следующими пространственными построениями в рамках солнечной галактики.

1. Ось вращения Земли в небесной сфере описывает сложную волнообразную траекторию, точки которой находятся на угловом расстоянии, в среднем около $23,5^{\circ}$, от полюса эклиптики (рис. 2). Вершина конуса совпадает с центром Земли. Точки равноденствий и солнцестояний движутся по эклиптике навстречу Солнцу. Моменты сил притяжения, которые действуют на экваториальные вздутия, меняются в зависимости от положений Луны и Солнца по отношению к Земле. Когда Луна и Солнце находятся в

плоскости земного экватора, моменты сил исчезают, а когда склонения Луны и Солнца максимальны, то и величина момента сил тяготения наблюдаются нутации оси вращения Земли, которые складываются из ряда небольших периодических колебаний. Основное из них имеет период 18,6 года – время обращения узлов орбиты Луны. Движение с этим периодом происходит по эллипсу. Большая ось эллипса перпендикулярна направлению прецессионного движения и равна $18,4''$; малая – параллельна ему и равна $13,7''$. Далее по величине амплитуды идут 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. 2) [24–31].

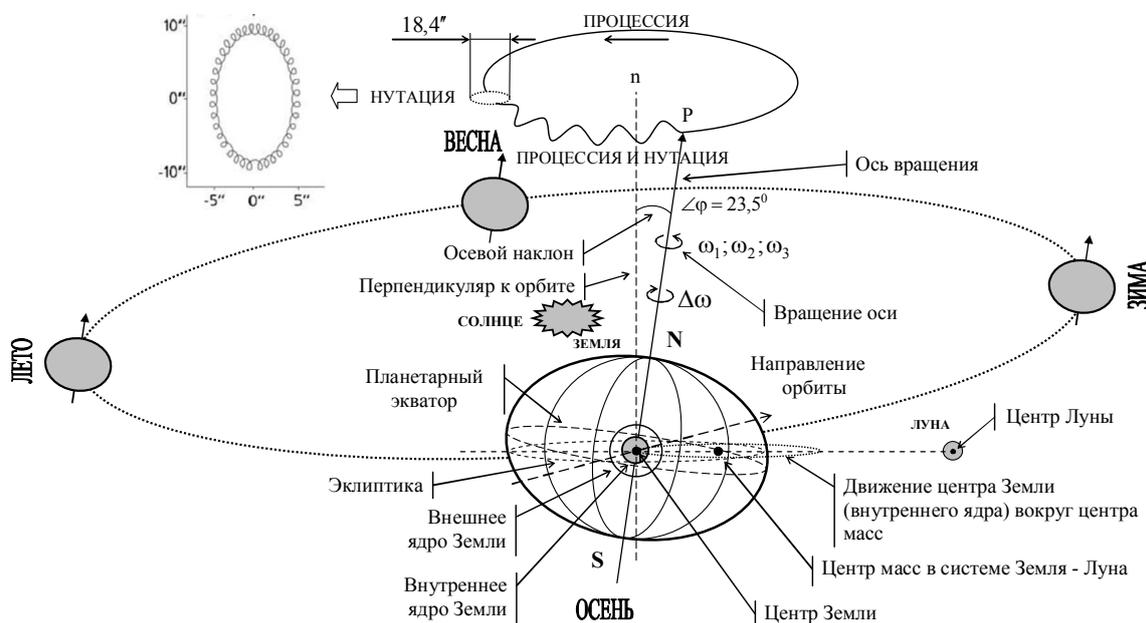


Рис. 2. Схема движения внутреннего ядра Земли в системе Солнце–Земля–Луна

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 выдавливает оболочку изнутри. В других частях планеты возникают силы, сжимающие оболочку шара, втягивая ее внутрь к ядру. Данный процесс имеет две составляющие: воздействие за счет годового перемещения центра ядра относительно центра Земного шара (рис. 2–4); воздействие за счет эксцентрического обращения ядра относительно нижней мантии, когда за счет разницы в угловых скоростях обращения ядра и нижней мантии (ω_1 – угловая скорость вращения мантии; ω_2 – угловая скорость вращения внешнего ядра; ω_3 – угловая скорость вращения внутреннего ядра; $\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1$ – угловая скорость поворота внешнего ядра относительно мантии

(«западный дрейф»)), поэтому 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), влияющие на уровень сейсмической активности поверхности Земного шара (рис. 3). Существование таких зон будет поддерживаться до тех пор, пока существует разница в угловых скоростях обращения и смещения ядра [32–37].

3. В процессе перемещения литосферных плит (рис. 4) возникают внутренние упругие напряжения, которые являются энергетическими источниками землетрясений Z_0 [38–42]. Глубина возникновения упругих напряжений зависит от характера перемещения плит. Относительное движение литосферных плит приводит к возникновению неглубоких (не глубже 20–25 км) источников землетрясений, а окутывание литосферных плит в мантию провоцирует по-

явление источников глубоких (превышающих 70 км) землетрясений. С увеличением расстояния от границы разделения литосферных плит снижается вероятность

возникновения упругих напряжений – источников землетрясений.

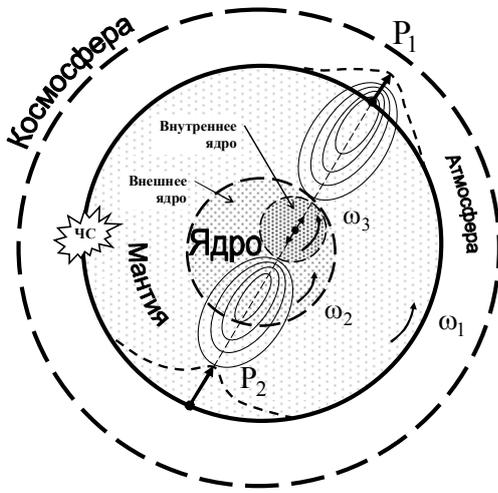


Рис. 3. Схема влияния колебаний внутреннего ядра на сейсмическую активность

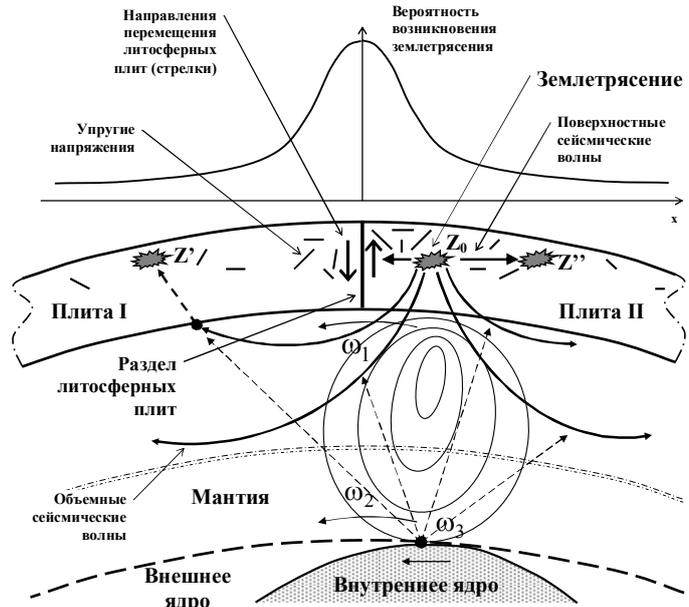


Рис. 4. Схема процесса возникновения землетрясений и распространения сейсмической активности

4. Факторами распространения опасности от землетрясения Z_0 выступают поверхностные и объемные сейсмические волны, которые могут вызывать вторичные землетрясения [42, 43].

5. В процессе пространственно-колебательного перемещения внутреннего ядра Земли и его влияния на внешнее ядро повышается вероятность взаимного усиления или ослабления объемных сейсмических волн, а, следовательно, и возможность возникновения вторичных землетрясений Z' [16, 44].

6. Не исключена возможность воздействия поверхностных и объемных сейсмических волн на напряженности в литосфере, возникшие вблизи землетрясения и провоцирующие возникновение цепной реакции распространения сейсмической опасности Z'' [45–47].

7. Установлено, что вследствие движения внутреннего ядра Земли происходят территориально-временные изменения интенсивности естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ), провоцирующие аномальные процессы в атмосфере [48–54].

Таким образом, объединение результатов анализа представлений о воздействии динамики и энергетики внутренних физико-химических процессов Земного шара на процессы генерирования ЧС тектонического происхождения позволило сформулировать подход к изучению природы сейсмических явлений, который является важным инструментом анализа результатов исследований в области гражданской защиты по раз-

работке моделей процессов возникновения и развития ЧС тектонической природы.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Целью данной работы является развитие научно-технических основ создания геоинформационной системы мониторинга ЧС тектонического происхождения. В основу развития научно-технических основ данной системы положено повышение эффективности прогноза сейсмической активности территории Земного шара путем установления взаимосвязи между значениями основных параметров тектонической опасности сейсмически активных локальных территорий Земного шара и процессами, протекающими в системе Солнце–Земля–Луна (процессы схематично представлены на рис. 2–4).

Для достижения поставленной цели в работе решены следующие задачи: 1) на основе проведенного факторного анализа выявлены скрытые (латентные) факторы, отвечающие за наличие линейных статистических связей между основными параметрами движения Земного шара в системе Солнце–Земля–Луна и основными параметрами тектонической опасности сейсмически активных локальных территорий Земного шара; 2) на основе проведенного анализа главных компонент установлено наличие жесткой взаимосвязи между группирующими переменными (показателями изменения длительности суток и удаленности внутреннего ядра Земли от центра планеты) и основными параметрами тектонической опасности сейсмически активных локальных территорий Земного шара.

Задачи исследования решены путем проведения статистического анализа сейсмической активности локальных территорий Земного шара и процессов, протекающих в системе Солнце–Земля–Луна, с использованием статистических пакетов STATISTICA 6.1 и SPSS 2.0 [55, 56].

Факторный анализ включает группу методов, направленных на выявление скрытых переменных факторов, отвечающих за наличие линейных корреляций между наблюдаемыми параметрами. Латентные факторы (F_i) можно выразить линейными комбинациями наблюдаемых переменных (X_k), имеющими вид:

$$F_i = W_{i1}X_1 + W_{i2}X_2 + \dots + W_{ik}X_k, \quad (1)$$

где W_{i1}, \dots, W_{ik} – коэффициенты значения факторов.

В основе факторного анализа лежит построение матрицы корреляции между всеми возможными парами переменных, определяющих степень сейсмической активности локальных территорий Земного ша-

ра. Результаты корреляционного анализа выборки, включающей, по данным Главного центра специального контроля Государственного космического агентства Украины, 2659 наблюдений возникновения по территории планеты землетрясений с магнитудой $M \geq 5$ за период 2004–2017 гг. с шагом наблюдения – один год, представлены в табл. 1, где: $D(t)$ – дата, возникшего землетрясения; $\Omega(t)$ – удаленность внутреннего ядра Земли от центра планеты (в соответствии с данными рис. 5); $LOD(t) = S(t) - 86400c$ – изменение длительности суток в соответствии с данными рис. 6 (где $S(t) = \frac{r_0}{r(t)} 86400c$ – длительность суток, $r_0 = 7,292115 \cdot 10^{-5} \text{ рад/с}$ – постоянная (средняя) угловая скорость собственного вращения Земли, t – текущее время анализа) [24–33]; L и B – долгота и широта точки в системе географических координат, где возникло землетрясение; M – магнитуда возникшего землетрясения.

Таблица 1

Корреляционная матрица между основными параметрами движения Земного шара в системе Солнце–Земля–Луна и основными параметрами тектонической опасности сейсмически активных локальных территорий планеты

	$D(t)$	$\Omega(t)$	$LOD(t)$	B	L	M
$D(t)$	1,00	-0,07	0,21	0,00	-0,03	0,08
$\Omega(t)$	-0,07	1,00	0,48	-0,02	0,02	0,01
$LOD(t)$	0,21	0,48	1,00	-0,06	0,01	0,06
B	0,00	-0,02	-0,06	1,00	0,12	-0,24
L	-0,03	0,02	0,01	0,12	1,00	0,05
M	0,08	0,01	0,06	-0,24	0,05	1,00

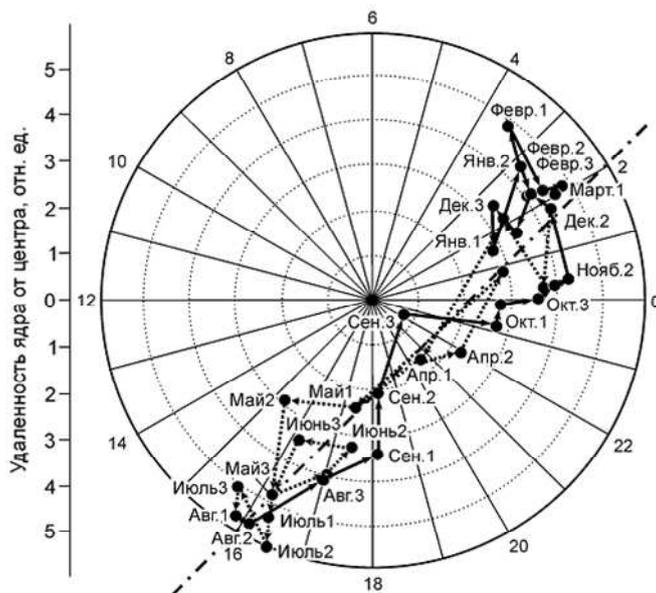


Рис. 5. Трасса движения ядра внутри Земли в течение года (вид со стороны полюса) [17–23, 34, 35, 44]

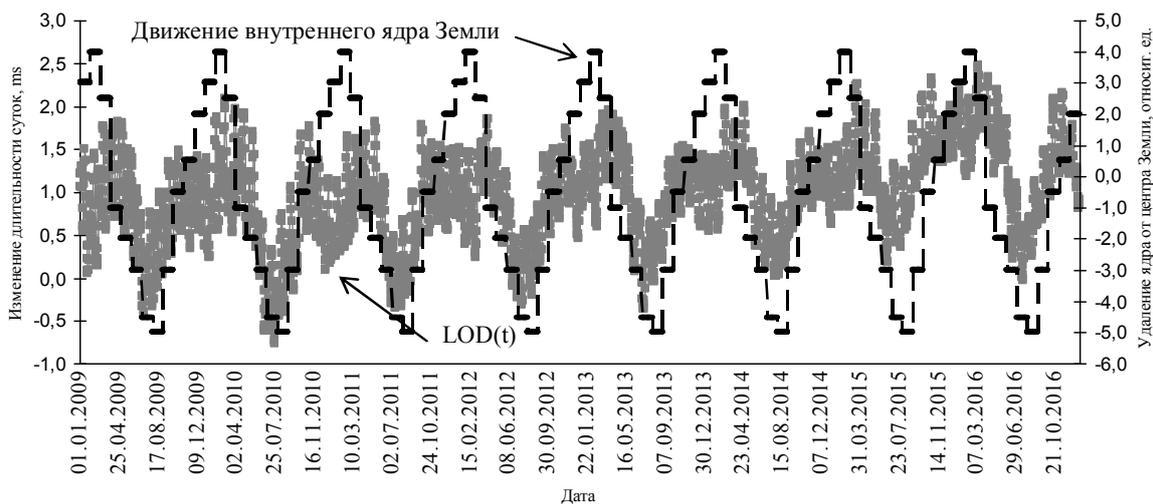


Рис. 6. Помесячная динамика показателей вариации скорости осевого вращения Земли ($LOD(t)$) и удаления внутреннего ядра от центра Земного шара за период 2009 – 2016 гг.

Определение числа факторов проведено с использованием критерия «каменистой осыпи» [55, 56]. Поскольку, согласно данным, представленным на рис. 7, в качестве порогового значения выбрано ми-

нимальное собственное значение на уровне единицы, в работе, для проведения дальнейшего анализа, взяты первые четыре значимых фактора, значения которых представлены в табл. 2.

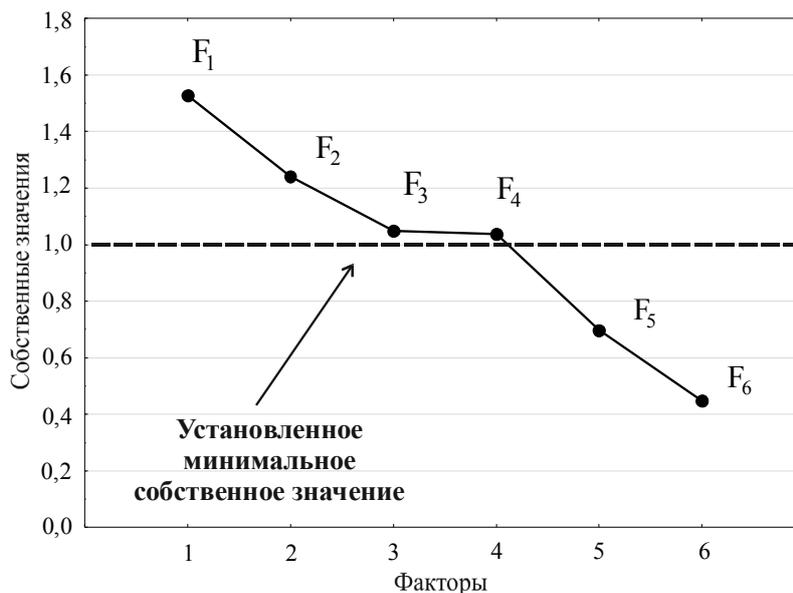


Рис. 7. График «каменистой осыпи» для выбора значимых факторов

Таблица 2

Собственные значения значимых факторов, отвечающих за наличие линейных корреляций между основными параметрами движения Земного шара в системе Солнце–Земля–Луна и основными параметрами тектонической опасности сейсмически активных локальных территорий Земного шара

Фактор	Собственное значение	Процент дисперсии	Кумулятивное собственное значение	Кумулятивный процент дисперсии
F_1	1,53	25,45	1,53	25,45
F_2	1,24	20,69	2,77	46,14
F_3	1,05	17,48	3,82	63,62
F_4	1,04	17,29	4,85	80,91

Таким образом, значимость первых четырех латентных факторов, в соответствии с представленными в табл. 2 результатами, составляет 80,91 % дисперсии значений анализируемых переменных, что определяет погрешность дальнейших расчетов в 19,09 %, которая, в соответствии с рис. 7, распределяется на остальные факторы. Поэтому дальнейшее увеличение количества факторов при анализе приведет к усложнению математической модели, при этом собственные значения остальных факторов оказываются меньше единицы, поэтому их использование малоэффективно.

Сутью факторного анализа является процедура вращения факторов с целью перераспределения дисперсии по определенному закону (ортогональное или косоугольное вращение). Среди множества существующих методов вращения наиболее используемым ортогональным методом является метод «варимакс»,

который максимизирует разброс квадратов нагрузок для каждого фактора, что в конечном итоге приводит к увеличению больших и уменьшению малых значений факторных нагрузок.

Одним из основных способов уменьшения размерности данных является метод главных компонент, который ориентирован на потерю наименьшего количества информации и сводится к вычислению собственных векторов и собственных значений ковариационной матрицы исходных данных.

Использование указанных методов «варимакс» и «главных компонент» при проведении факторного анализа позволило получить следующие результаты.

Матрица факторных нагрузок, определяющая линейные корреляции между переменными и факторами, представлена в табл. 3.

Таблица 3

Матрица факторных нагрузок на основные параметры движения Земного шара в системе Солнце–Земля–Луна и основные параметры тектонической опасности сейсмически активных локальных территорий Земного шара

Переменные	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3	Фактор 4
$D(t)$	0,272	-0,206	0,869	0,246
$\Omega(t)$	0,759	0,351	-0,332	-0,022
$LOD(t)$	0,859	0,183	0,102	0,081
B	-0,253	0,723	0,344	-0,021
L	0,003	0,269	0,228	-0,879
M	0,277	-0,669	0,049	-0,442
Общая дисперсия	1,527	1,241	1,049	1,037
Доля общей дисперсии	0,255	0,207	0,175	0,173

Выделенные в табл. 3 нагрузки с коэффициентом корреляции более 0,7 свидетельствуют, что практически все переменные имеют устойчивую корреляцию с первыми четырьмя факторами. Так, визуализация результатов табл. 3 при выборе четырех первых значимых факторов представлена на рис. 8, где наблюдается значительное (более 0,7) влияние первого фактора на удаленность внутреннего ядра Земли от центра планеты ($\Omega(t)$) и изменение длительности суток

($LOD(t)$). Максимальное влияние второй фактор оказывает на значение широты точки в системе географических координат, где возникло землетрясение (B), и магнитуду возникшего землетрясения (M). Максимальное влияние третий фактор оказывает на дату возникшего землетрясения ($D(t)$). Четвертый фактор оказывает максимальное влияние на значение долготы точки в системе географических координат, где возникло землетрясение (L).

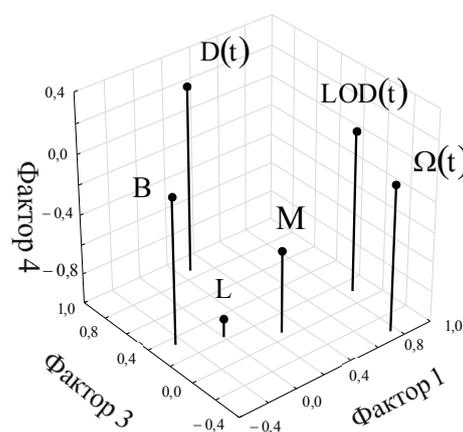
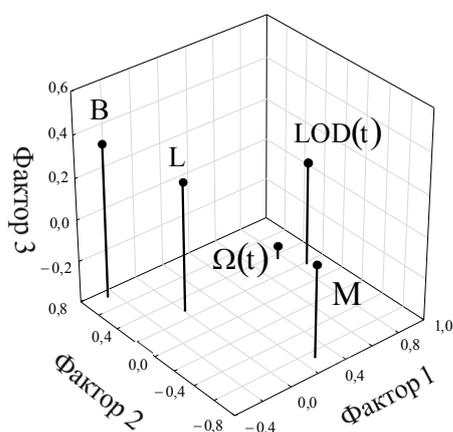


Рис. 8. Графики распределения влияния факторных нагрузок на переменные

Построение факторной модели, в рамках установленного влияния факторных нагрузок на переменные, базируется на определении коэффициентов зна-

чения факторов 1, 2, 3 и 4. Так, в табл. 4 приведены коэффициенты значений факторов, выделенные методом главных компонент, с использованием метода «варимакс».

Таблица 4
Матрица коэффициентов значения факторов, отвечающих за наличие линейных корреляций между основными параметрами движения Земного шара в системе Солнце–Земля–Луна и основными параметрами тектонической опасности сейсмически активных локальных территорий Земного шара

Переменные	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3	Фактор 4
$D(t)$	-0,032	-0,029	0,894	-0,028
$\Omega(t)$	0,611	-0,031	-0,231	0,003
$LOD(t)$	0,554	-0,001	0,215	-0,007
B	-0,012	-0,620	0,145	0,262
L	0,003	0,027	-0,035	0,901
M	-0,044	0,652	0,095	0,268

Значения факторов F_1, F_2, F_3 и F_4 получены для каждой переменной и рассчитываются по уравнениям:

$$\begin{cases} F_1 = -0,032D(t) + 0,61\Omega(t) + 0,554LOD(t) - 0,012B + 0,003L - 0,044M; \\ F_2 = -0,029D(t) - 0,03\Omega(t) - 0,001LOD(t) - 0,620B + 0,027L + 0,652M; \\ F_3 = 0,894D(t) - 0,23\Omega(t) + 0,215LOD(t) + 0,145B - 0,035L + 0,095M; \\ F_4 = -0,028D(t) + 0,003\Omega(t) - 0,007LOD(t) + 0,262B + 0,901L + 0,268M. \end{cases} \quad (2)$$

Результаты обобщения полученных данных табл. 3 позволяют выделить переменные, у которых факторные нагрузки выше факторных нагрузок остальных переменных. Расчеты показали, что при рассмотрении фактора 1 максимальные значения факторных нагрузок имеют переменные $LOD(t)$ (0,859) и $\Omega(t)$ (0,759). При рассмотрении фактора 2 максимальные значения факторных нагрузок имеют переменные B (0,723) и M (-0,669); при рассмотрении фактора 3 максимальное значение факторной нагрузки имеет переменная $D(t)$ (0,869); при рассмотрении фактора 4 максимальное значение факторной нагрузки имеет переменная L (-0,879).

Наличие этих результатов указывает на необходимость проведения других разведочных методов статистического анализа, и в частности, анализа глав-

ных компонент, где в качестве группирующих переменных нами для анализа выбраны показатели $LOD(t)$ и $\Omega(t)$, как основные показатели процессов, протекающих в системе Солнце–Земля–Луна.

Метод главных компонент позволяет вычислить главные компоненты и связанные с ними статистики. С целью установления связи между группирующими переменными и основными параметрами тектонической опасности сейсмически активных локальных территорий Земного шара, в работе проведено два вида анализа главных компонент – с помощью матрицы корреляции и с помощью матрицы ковариации.

При рассмотрении в качестве группирующей переменной показателя изменения длительности суток ($LOD(t)$) результаты собственных значений матрицы корреляции (табл. 5) констатируют, что первый фактор, соответствующий максимальному значению (1,26),

Таблица 5
Собственные значения матрицы корреляции факторов, отвечающих за наличие линейных статистических связей между группирующей переменной $LOD(t)$ и основными параметрами тектонической опасности сейсмически активных локальных территорий Земного шара

Фактор	Собственное значение	Процент общей дисперсии	Кумулятивное собственное значение	Кумулятивный процент общей дисперсии
1	1,264	25,286	1,264	25,286
2	1,079	21,575	2,343	46,861
3	1,041	20,820	3,384	67,681
4	0,921	18,417	4,305	86,099
5	0,695	13,901	5,000	100,000

описывает 25,29 % общей дисперсии. Второй фактор, при значении 1,08 отвечает за 21,58 % дисперсии. Третий фактор, при значении 1,04 отвечает за 20,82 % дисперсии. Собственные значения последующих факторов меньше единицы и они в сумме соответствуют 32,32 % дисперсии, поэтому в работе для проведения дальнейшего анализа взяты первые три значимых фактора.

Результаты определения факторных координат переменных на основе их корреляций с группирующей переменной по первым трем факторам, представлены в табл. 6.

Визуализация результатов табл. 6 (для выбора

трех первых значимых факторов) представлена на рис. 9, где круг с единичным радиусом является визуальным индикатором того, насколько хорошо переменные воспроизводятся текущим набором выделенных факторов.

Так, первый фактор, соответствующий собственному значению 1,26, наиболее сильно коррелирует с переменными B и M . Второй фактор, соответствующий собственному значению 1,08, наиболее сильно коррелирует с переменными $D(t)$ и $\Omega(t)$. Третий фактор, соответствующий собственному значению 1,04, наиболее сильно коррелирует с переменной L .

Таблица 6

Факторные координаты переменных, определяющих тектоническую опасность сейсмически активных локальных территорий Земного шара, рассчитанные на основе их корреляции с группирующей переменной $LOD(t)$ по первым трем факторам

Переменные	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
$D(t)$	-0,248	0,656	-0,279
$\Omega(t)$	-0,010	-0,732	0,079
B	0,777	0,167	-0,213
L	0,226	-0,267	-0,869
M	-0,741	-0,115	-0,395

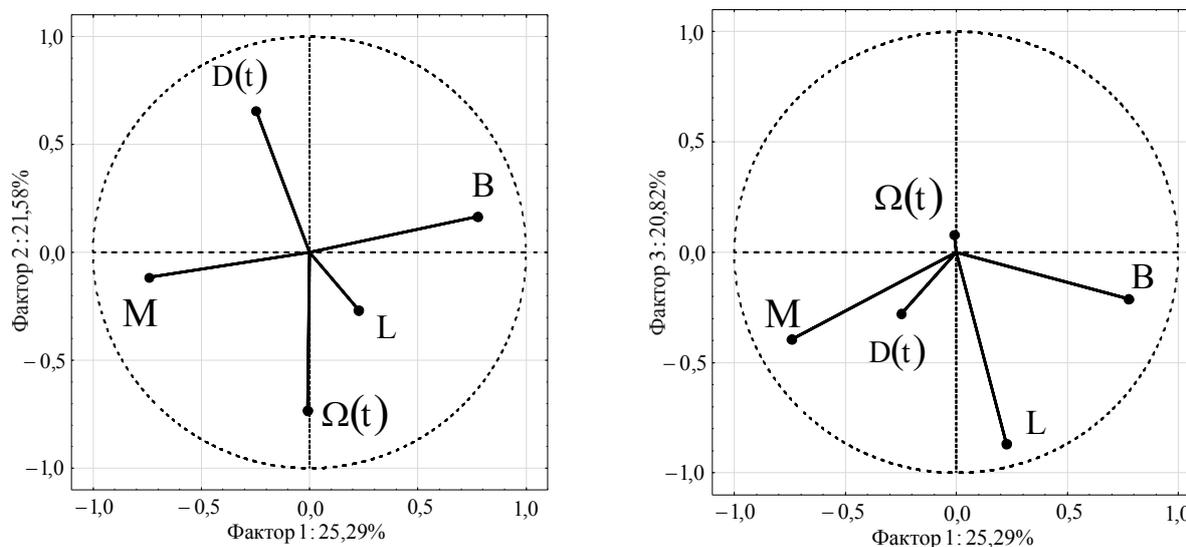


Рис. 9. График проекции переменных, определяющих тектоническую опасность сейсмически активных локальных территорий Земного шара, на факторную плоскость, построенный на основе матрицы корреляции с группирующей переменной $LOD(t)$

Результаты определения факторных координат переменных на основе их ковариации с группирующей переменной $LOD(t)$ по первым трем факторам, представлены на рис. 10, где также прослеживается аналогичная зависимость между группирующей переменной и основными переменными, определяющими тектоническую опасность сейсмически активных локальных территорий Земного шара.

При рассмотрении в качестве группирующей переменной показателя удаленности внутреннего ядра Земли от центра планеты ($\Omega(t)$) результаты собственных значений матрицы корреляции (табл. 7) констатируют, что первый фактор, соответствующий максимальному значению (1,33), описывает 26,65 % общей дисперсии. Второй фактор, при значении 1,13 отвечает за 22,66 % дисперсии. Третий фактор, при

значении 1,04 отвечает за 20,74 % дисперсии. Собственные значения последующих факторов меньше единицы и они в сумме отвечают за 29,95 % диспер-

сии, поэтому в работе для проведения дальнейшего анализа взяты первые три значимых фактора.

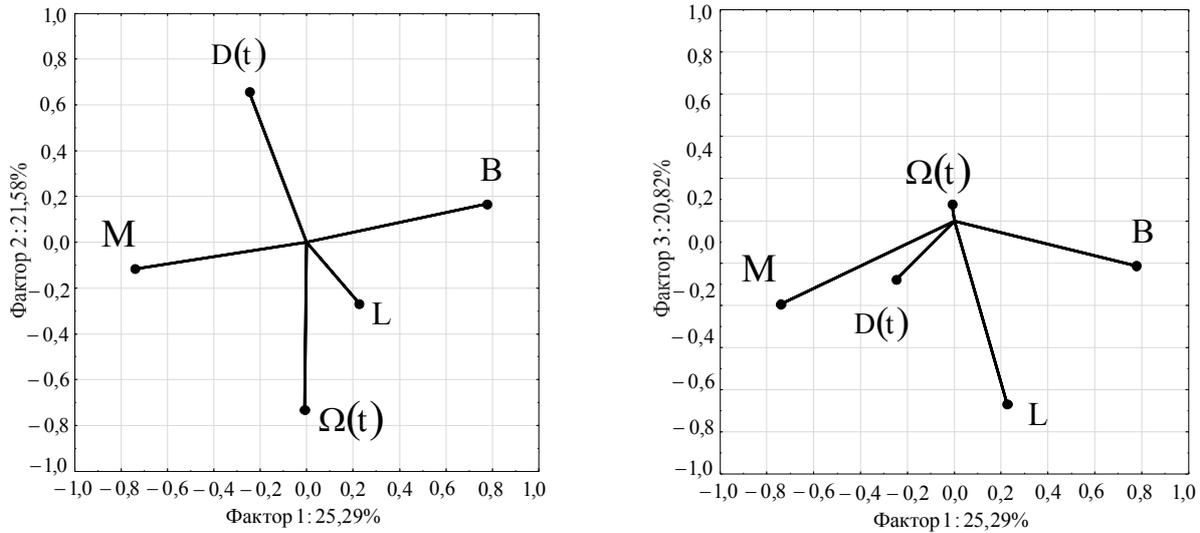


Рис. 10. График проекции переменных, определяющих тектоническую опасность сейсмически активных локальных территорий Земного шара, на факторную плоскость, построенный на основе матрицы ковариации с группирующей переменной $LOD(t)$

Таблица 7
Собственные значения матрицы корреляции факторов, отвечающих за наличие линейных статистических связей между группирующей переменной $\Omega(t)$ и основными параметрами тектонической опасности сейсмически активных локальных территорий Земного шара

Фактор	Собственное значение	Процент общей дисперсии	Кумулятивное собственное значение	Кумулятивный процент общей дисперсии
1	1,332	26,647	1,332	26,647
2	1,133	22,657	2,465	49,304
3	1,037	20,743	3,502	70,047
4	0,813	16,263	4,316	86,310
5	0,684	13,689	5,000	100,000

Результаты определения факторных координат переменных на основе их корреляций с группирующей переменной по первым трем факторам, представлены в табл. 8. Визуализация результатов табл. 8 (для выбора трех первых значимых факторов) представлена на рис. 11.

Так, первый фактор, соответствующий собственному значению 1,33, наиболее сильно коррелирует с

переменными B и M . Второй фактор, соответствующий собственному значению 1,13, наиболее сильно коррелирует с переменными $D(t)$ и $LOD(t)$. При этом, устойчивая корреляция наблюдается между вторым фактором и переменной B . Третий фактор, соответствующий собственному значению 1,04, наиболее сильно коррелирует с переменной L .

Таблица 8
Факторные координаты переменных, определяющих тектоническую опасность сейсмически активных локальных территорий Земного шара, основанные на их корреляции с группирующей переменной $\Omega(t)$ по первым трем факторам

Переменные	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
$D(t)$	0,496	0,587	-0,191
$LOD(t)$	0,532	0,539	-0,079
B	-0,609	0,567	0,040
L	-0,141	0,297	0,891
M	0,642	-0,297	0,446

Результаты определения факторных координат переменных на основе их ковариации с группирующей переменной $\Omega(t)$ по первым трем факторам, представлены на рис. 12, где также прослеживается

аналогичная зависимость между группирующей переменной и основными переменными, определяющими тектоническую опасность сейсмически активных локальных территорий Земного шара.

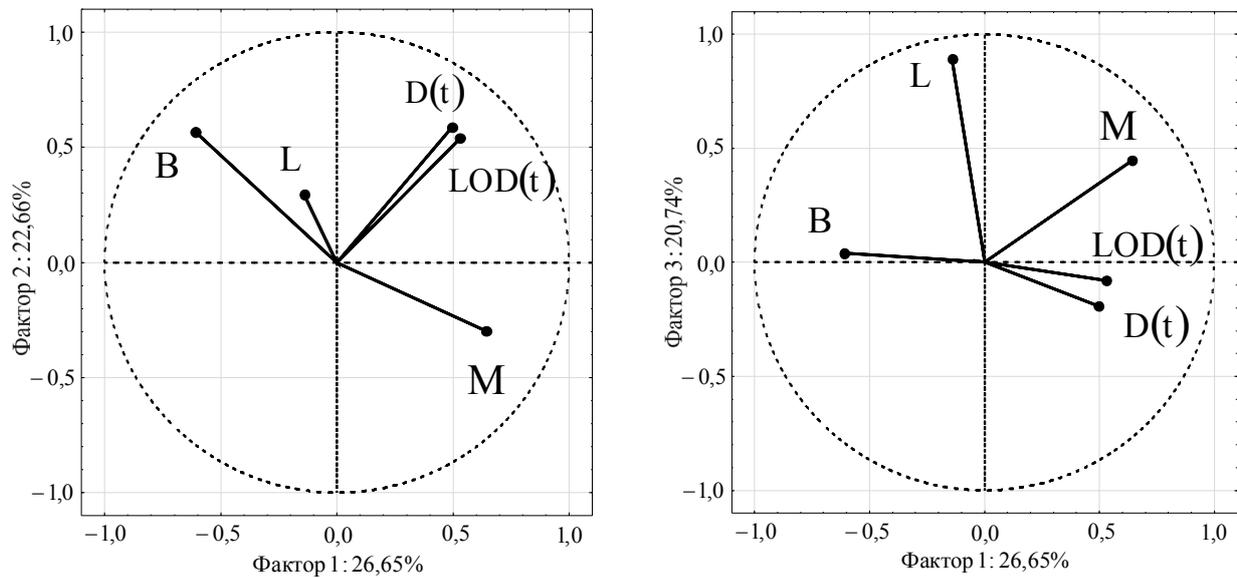


Рис. 11. График проекции переменных, определяющих тектоническую опасность сейсмически активных локальных территорий Земного шара, на факторную плоскость, построенный на основе матрицы корреляции с группирующей переменной $\Omega(t)$

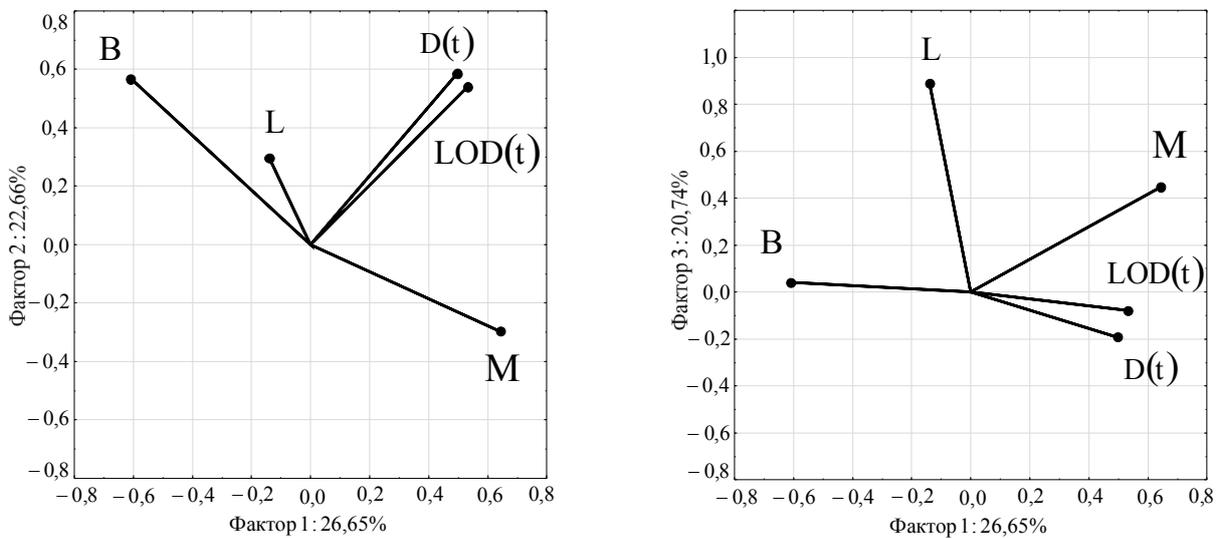


Рис. 12. График проекции переменных, определяющих тектоническую опасность сейсмически активных локальных территорий Земного шара, на факторную плоскость, построенный на основе матрицы ковариации с группирующей переменной $\Omega(t)$

Выявленная на основе метода анализа главных компонент достаточно выраженная зависимость между показателями $LOD(t)$ и $\Omega(t)$, а также переменными, определяющими в системе географических координат долготу (L) и широту (B) сейсмически активных локальных территорий Земного шара, позволила провести предварительный классификационный анализ по уровню тектонической опасности тер-

ритории планеты, путем проецирования 2659 наблюдений на факторную плоскость – рис. 13.

Из анализа данных рис. 13 видно, что: 1) территория Земного шара делится на районы с разным уровнем сейсмической активности, и, соответственно, с различной степенью риска проявления ЧС тектонического происхождения; 2) сейсмически активные локальные территории концентрируются вдоль раздела литосферных плит; 3) возникновение

землетрясений в сейсмически активных локальных территориях синхронизировано с кинетикой и энергетикой движения Земного шара в системе Солнце–

Земля–Луна, где группирующими показателями тектонической опасности являются переменные $LOD(t)$ и $\Omega(t)$.

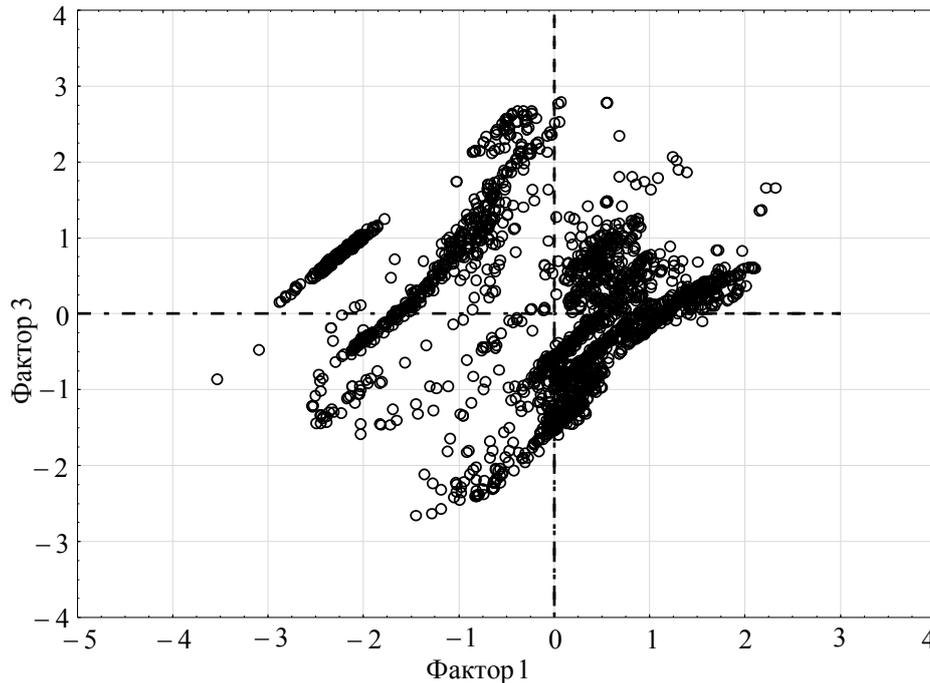


Рис. 13. График проекции наблюдений группирующих переменных ($LOD(t)$ или $\Omega(t)$) на факторную плоскость

ВЫВОДЫ

1. 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 по Земному шару, является необходимым условием для установления соответствующего уровня сейсмической безопасности функционирования контролируемой локальной территории. 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 по Земному шару.

2. При разработке системного подхода для прогнозирования процессов возникновения ЧС тектонического происхождения обоснован механизм энергетического влияния сезонных колебаний ядра Земного шара на: вариации скорости осевого вращения Земного шара; уровень сейсмической активности Земного шара. На основе анализа вариации скорости осевого вращения Земли и эксцентричного равномерного поступательно-вращательного динамического движения внутреннего ядра Земного шара рассмотрена возможность установления периодической осцилляции сейс-

мического состояния планеты. На основе полученных результатов месячной вариации скорости осевого вращения Земли и сейсмической активности по поверхности Земного шара относительно трассы движения ее внутреннего ядра установлено сезонное перераспределение энергетического влияния внутреннего ядра на скорость осевого вращения Земли, а также уровень сейсмической активности сейсмически нестабильных территорий Земного шара. На основе анализа результатов обработки количества землетрясений по поверхности Земного шара установлено наличие асимметричного распределения ЧС тектонического происхождения по поверхности Земли.

3. На основе проведенного факторного анализа выявлены скрытые (латентные) факторы, отвечающие за наличие линейных статистических связей между основными параметрами движения Земного шара в системе Солнце–Земля–Луна и основными параметрами тектонической опасности сейсмически активных локальных территорий Земного шара. Вследствие объединения в каждом факторе переменных, сильно коррелирующих между собой, наблюдаются эффекты изменения длительности суток и удаленности внутреннего ядра Земли от центра планеты. Определены показатели, которые группируют переменные, характеризующие уровень динамических процессов, протекающих в системе Солнце–Земля–Луна и влияющие на уровень тектонической опасности сейсмически активных локальных территорий Земного шара.

4. На основе проведенного анализа главных компонент, выполненного на основе данных матриц корреляции и ковариации, установлено наличие жесткой взаимосвязи между группирующими переменными (показателями изменения длительности суток и удаленности внутреннего ядра Земли от центра планеты) и основными параметрами тектонической опасности сейсмически активных локальных территорий Земного шара.

5. Полученные в работе результаты являются основой дальнейшего проведения комплексной оценки взаимосвязей между основными параметрами движения Земного шара в системе Солнце–Земля–Луна и основными параметрами тектонической опасности сейсмически активных локальных территорий Земного шара. Последующая комплексная оценка формируется с помощью основных многомерных статистических методов анализа – кластерного, дискриминантного, канонического и дерева классификации. Использование комплексных многомерных статистических методов необходимо для успешного решения проблемы повышения эффективности мониторинга ЧС тектонического происхождения.

Литература

- [1] Черногор Л. Ф. Физика и экология катастроф / Л. Ф. Черногор – Харьков: Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, 2012. – 556 с.
- [2] Тютюник В. В. Системный підхід до оцінки небезпеки життєдіяльності при територіально часовому розподілі енергії джерел надзвичайних ситуацій / В. В. Тютюник, Л. Ф. Черногор, В. Д. Калугін // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2011. – Вип. 14. – С. 171–194.
- [3] Калугін В. Д. Системний підхід до оцінки ризиків надзвичайних ситуацій в Україні / В. Д. Калугін, В. В. Тютюник, Л. Ф. Черногор, Р. І. Шевченко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – 1/6 (55). – С. 59–70.
- [4] Тютюник В. В. Аналіз факторів, які провокують виникнення надзвичайних ситуацій природного характеру / В. В. Тютюник, В. Д. Калугін // Системи обробки інформації. – Харків: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2011. – Вип. 4(94). – С. 280–284.
- [5] Первый Доклад Председателя Международного Комитета по Проблемам Глобальных Изменений Геологической Среды „GEOCHANGE”, 30.06.2010. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.ru.geochngereport.org>
- [6] Баришполец В. А. Системный анализ катастроф, происходящих в мире / В. А. Баришполец // Радиотехника. Наносистемы. Информационные технологии. – 2010. – Т. 2. – № 1–2. – С. 162–176.
- [7] Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні [Електронний ресурс] – Режим доступа: <http://www.dsns.gov.ua/>
- [8] Тютюник В. В. Оцінка індивідуальної небезпеки населення регіонів України в умовах надзвичайних ситуацій / В. В. Тютюник, Р. І. Шевченко, О. В. Тютюник // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Харків: Університет цивільного захисту України, 2009. – Вип. 9. – С. 146–157.
- [9] Кодекс цивільного захисту України від 2 жовтня 2012 року № 5403-VI // Голос України. – 2012.– листопад (№ 220 (5470)). – С. 4–20.
- [10] Постанова Кабінету Міністрів України від 9 січня 2014 року № 11 «Про затвердження Положення про Єдину державну систему цивільного захисту» [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/11-2014-%D0%BF>
- [11] Тютюник В. В. Основні принципи інтегральної системи безпеки при надзвичайних ситуаціях / В. В. Тютюник, Р. І. Шевченко // Зб. наук. праць Харківського університету Повітряних Сил: Зб. наук. праць. – Харків: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2008. – Вип. 3(18). – С. 179–180.
- [12] Калугін В. Д. Розробка науково-технічних основ для створення системи моніторингу, попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру та забезпечення екологічної безпеки / В. Д. Калугін, В. В. Тютюник, Л. Ф. Черногор, Р. І. Шевченко // Системи обробки інформації. – Харків: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2013. – Вип. 9(116). – С. 204–216.
- [13] Тютюник В. В. Дослідження умов раннього моніторингу та попередження надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру: звіт про НДР (№ держреєстрації 0112U002587) / керівник роботи: В. В. Тютюник; виконавці: В. Д. Калугін, Б. Б. Поспелов, Р. І. Шевченко, М. В. Кустов, С. С. Говаленков – Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2014. – 266 с.
- [14] Тютюник В. В. Використання енергетичного підходу для оцінки ефективності функціонування комплексної автоматизованої системи моніторингу, попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій на локальній території / В. В. Тютюник, Л. Ф. Черногор, В. Д. Калугін // Системи обробки інформації. – Харків: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2016. – Вип. 1(138). – С. 183–194.
- [15] Андронов В. А. Науково-конструкторські основи створення комплексної системи моніторингу надзвичайних ситуацій в Україні: Монографія / В. А. Андронов, М. М. Дівізінюк, В. Д. Калугін, В. В. Тютюник. – Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2016. – 319 с.
- [16] Тютюник В. В. Дослідження механізму цепного розвитку процесу розповсюдження нестабільності у сейсмічно небезпечних регіонах Землі / В. В. Тютюник, В. Д. Калугін // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил – Харків: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2012. – Вип. 1(30). – С. 178–184.
- [17] Тютюник В. В. Оцінка ризику функціонування природно-техногенно-соціальної системи при сезонних коливаннях сейсмічної активності / В. В. Тютюник, В. Д. Калугін, Л. Ф. Черногор // Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист – Київ-Кременчук: НАН України, МНС України, ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», Виконавчий комітет Кременчуцької міської ради, 2012, 2013. – Вип. 5. – С. 165–179.
- [18] Тютюник В. В. Оцінка територіально-часового розподілу кількості землетрусів по земній кулі / В. В. Тютю-

- ник, В. Д. Калугин, Л. Ф. Черногор // Геоинформатика – Київ: Інститут геологічних наук НАН України, 2012. – № 4(44). – С. 53–60.
- [19] *Калугін В. Д.* Оцінка співвідношення між рівнями сейсмічної небезпеки півкуль земної кулі / В. Д. Калугін, В. В. Тютюник, Л. Ф. Черногор, Р. І. Шевченко // Системи обробки інформації. – Харків: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2012. – Вип. 7(105). – С. 277–287.
- [20] *Тютюник В. В.* Оцінка впливу тектонічної активності земної кулі на сейсмічність території України / В. В. Тютюник, Ю. О. Гордієнко, В. Д. Калугін, Л. Ф. Черногор // Системи управління, навігації та зв'язку. – Київ: ДП «Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління», 2012. – Вип. 3(23). – С. 210–216.
- [21] *Тютюник В. В.* Оцінка ризику сейсмічної небезпеки на території України / В. В. Тютюник, В. Д. Калугін, Л. Ф. Черногор // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2012. – Вип. 15. – С. 196–213.
- [22] *Тютюник В. В.* Оценка влияния энергетических эффектов в системе Солнце–Земля–Луна на уровень сейсмической активности территории земного шара / В. В. Тютюник, Л. Ф. Черногор, В. Д. Калугин, Т. Х. Агазаде // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава: Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, 2017. – Вип. 6(46). – С. 238–246.
- [23] *Тютюник В. В.* Оценка динамических и энергетических эффектов на планете Земля и влияние их на соотношение между уровнями сейсмической активности полушарий земного шара / В. В. Тютюник, Л. Ф. Черногор, В. Д. Калугин, Т. Х. Агазаде // Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека – Київ: Український науково-дослідний інститут цивільного захисту, 2017. – № 2(4) – С. 101–117.
- [24] *Жаров В. Е.* Вариации параметров вращения Земли и их связь с сильнейшими землетрясениями мира / В. Е. Жаров, А. С. Конов, В. Б. Смирнов // Астрон. журн. – 1991. – Т. 68. – Вып. 1. – С. 187–196.
- [25] *Горькавый Н. Н.* О корреляции графиков угловой скорости вращения Земли и модуля ее временной производной с частотой землетрясений в зависимости от их магнитуды / Н. Н. Горькавый, Л. С. Левицкий, Т. А. Тайдакова, Ю. А. Трапезников, А. М. Фридман // Физика Земли. – 1994. – № 10. – С. 33–38.
- [26] *Сидоренков Н. С.* Нестабильность вращения Земли / Н. С. Сидоренко // Вестник РАН. – 2004. – Т. 74. – № 8. – С. 701–715.
- [27] *Сидорин А. Я.* Влияние Солнца на сейсмичность и сейсмический шум / А. Я. Сидорин // Сейсмические приборы. – 2004. – Вып. 40. – С. 71–80.
- [28] *Левин Б. В.* Свойства «критических широт», вариации вращения и сейсмичность Земли / Б. В. Левин, Е. В. Сасорова, А. В. Доманский // Вестник ДВО РАН. – 2013. – № 3. – С. 3–8.
- [29] *Zharov V. E.* Connection of the Earth's rotation with the atmospheric angular momentum and the strongest earthquakes / V. E. Zharov // Astron. Astrophys. Transactions. – 1996. – V. 9. – P. 317–327.
- [30] *Wiemer S.* Mapping spatial variability of the frequency-magnitude distribution of earthquakes: An overview / S. Wiemer, M. Wyss // Advances in Geophysics. – 2002. – V. 45. – P. 259–302.
- [31] *Atef A. H.* Apparent weekly and daily earthquake periodicities in the Western United States / A. H. Atef, K. H. Liu, S. S. Gao // Bull. Seismol. Soc. Amer. – 2009. – V. 99. – N 4. – P. 2273–2279.
- [32] *Сидоренков Н. С.* Физика нестабильностей вращения Земли. – М.: Наука, Физматлит, 2002. – 384 с.
- [33] *Клименко А. В.* Глобальные свойства сейсмической активности Земли и их связь с ее вращением / А. В. Клименко // Диссер. ... канд. физ.-мат. наук. – М.: Московский государственный областной университет, 2005. – 87 с.
- [34] *Мальшиков Ю. П.* Периодические вариации геофизических полей и сейсмичности, их возможная связь с движением ядра Земли / Ю. П. Мальшиков, С. Ю. Мальшиков // Геология и геофизика. – 2009. – Т. 50. – № 2. – С. 152–172.
- [35] *Мальшиков Ю. П.* Способ определения пространственного положения и параметров движения внутреннего ядра Земли / Ю. П. Мальшиков, С. Ю. Мальшиков, С. Г. Шталин [и др.] // Институт мониторинга климатических и экологических систем. – Патент РФ № 2352961С2, МПК G01V3/00, 20.04.2009.
- [36] *Ромашов А. Н.* В поисках обобщающей геотектонической концепции / А. Н. Ромашов, С. С. Цыганков // Геотектоника. – 1996. – № 4. – С. 3–12.
- [37] *Фридман А. М.* О некоторых корреляциях в сейсмотинамике и двух компонентах сейсмической активности Земли / А. М. Фридман, Е. В. Поляченко, Н. Р. Насырканов // Успехи физических наук. – 2010. – т. 180. – № 3. – С. 303–312.
- [38] *Райс Дж.* Механика очага землетрясения / Дж. Райс. – М.: Мир, 1982. – 217 с.
- [39] *Касахара К.* Механика землетрясений / К. Касахара. – М.: Мир, 1985. – 264 с.
- [40] *Трухин В. И.* Общая и экологическая геофизика / В. И. Трухин, К. В. Показеев, В. Е. Куницын. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 576 с.
- [41] *Гуфельд И. Л.* Сейсмический процесс. Физико-химические аспекты / И. Л. Гуфельд. – Королев, М.О.: ЦНИИМаш, 2007. – 160 с.
- [42] *Березняков А. І.* Фізика Землі / А. І. Березняков, К. А. Немець. – Харків: Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, 2010. – 268 с.
- [43] *Саваренский Е. Ф.* Сейсмические волны / Е. Ф. Саваренский. – М.: Недра, 1972. – 296 с.
- [44] *Мальшиков Ю. П.* Способ прогноза землетрясений / Ю. П. Мальшиков, К. Б. Джумабаев, С. Ю. Мальшиков [и др.] // Институт мониторинга климатических и экологических систем. – Патент РФ № 2238575, МПК G01V3/00, 20.10.2004.
- [45] *Пшенинников К. В.* Механизм возникновения афтершоков и неупругие свойства земной коры / К. В. Пшенинников. – М.: Наука, 1965. – 87 с.
- [46] *Гульельми А. В.* Форшоки и афтершоки сильных землетрясений в свете теории катастроф / А. В. Гульельми // Успехи физических наук. – 2015. – Т. 185. – № 4. – С. 415–429.
- [47] *Левин Б. В.* Великое Японское землетрясение / Б. В. Левин, М. В. Родкин, И. Н. Тихонов // Природа. – 2011. – № 10. – С. 14–22.
- [48] *Электромагнитные предвестники землетрясений /* Под ред. М. А. Садовского. – М.: Наука, 1982. – 69 с.

- [49] Ремизов Л. Т. Регистрация изменений естественного электромагнитного поля в периоды времени, предшествующие землетрясениям / Л. Т. Ремизов // Радиотехника и электроника – 1991. – Т. 36. – № 6. – С. 1041–1080.
- [50] Тертышников А. В. Предвестники сильных землетрясений в озоносфере / А. В. Тертышников // Гелиогеофизические исследования. – 2012. – Вып. 2. – С. 54–59.
- [51] Беляков А. С. Подземный фоновый звук и его связь с приливными деформациями / А. С. Беляков, В. С. Лавров, А. В. Николаев, Л. Л. Худзинский // Физика Земли. – 1999. – №12. – С. 39–46.
- [52] *Afraimovich E. L.* The shock-acoustic waves generated by the earthquakes / E. L. Afraimovich, N. P. Perevalova, A. V. Plotnikov, A. M. Uralov // *Annales Geophysicae*. – 2001. – V.19. – N.4. – P. 395–409.
- [53] *Garcia R.* Three-dimensional ionospheric tomography of post-seismic perturbations produced by the Denali earthquake from GPS data / R. Garcia, F. Crespon, V. Ducic, P. Lognonne // *Geophys. J. Int.* – 2005. – V.163. – P. 1049–1064.
- [54] *Heki K.* Directivity and apparent velocity of the coseismic traveling ionospheric disturbances observed with a dense GPS array / K. Heki, J. Ping // *Earth Planet. Sci. Lett.* – 2005. – V.236. – P. 845–855.
- [55] Ким Дж. О. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ: Пер. с англ. / Дж. О. Ким, Ч. У. Мюллер, У. Р. Клекка и др.; Под ред. И. С. Енюкова. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 215 с.
- [56] Халафян А. А. STATISTICA 6. Статистический анализ данных / А. А. Халафян. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2007. – 512 с.

Поступила в редколлегию 27.11.2018



Тютюник Вадим Владимирович,

доктор технических наук, старший научный сотрудник, академик Академии наук прикладной радиоэлектроники, начальник кафедры управления и организации деятельности в сфере гражданской защиты Национального университета гражданской защиты Украины. Область научных интересов – мониторинг чрезвычайных ситуаций, прогнозирование и оценка опасностей, автоматизированные системы безопасности.



Черногор Леонид Феокистович,

доктор физико-математических наук, профессор, академик Академии наук прикладной радиоэлектроники, профессор кафедры космической радиопизики Харьковского национального университета имени В.Н. Каразина. Область научных интересов – физика системы Земля – Атмосфера – Ионосфера – Магнитосфера, нелинейная физика, космическая радиопизика.



Калугин Владимир Дмитриевич, доктор химических наук, профессор, академик Академии наук прикладной радиоэлектроники, профессор кафедры специальной химии и химической технологии Национального университета гражданской защиты Украины. Область научных интересов – физико-химические проблемы мониторинга и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Агазаде Турал Ханлар оглы, адъюнкт Национального университета гражданской защиты Украины. Область научных интересов – мониторинг сейсмической опасности Земного шара.

УДК 351.861

Тютюник В. В. **Розвиток основ геоінформаційних систем моніторингу надзвичайних ситуацій тектонічного походження** / В. В. Тютюник, Л. Ф. Черногор, В. Д. Калугин, Т. Х. Агазаде // *Прикладна радіоелектроніка: наук. – техн. журнал.* – 2019. – Том 18, № 1, 2. – С. 52–65.

В роботі методами факторного аналізу та аналізу головних компонент проведено оцінку взаємозв'язку між основними параметрами руху Земної кулі в системі Сонце-Земля-Місяць і основними параметрами тектонічної небезпеки сейсмічно активних локальних територій планети. Отримані результати є базою для розвитку науково-технічних основ створення геоінформаційної системи моніторингу надзвичайних ситуацій (НС) тектонічного походження на основі підвищення ефективності прогнозу сейсмічної активності території Земної кулі.

Ключові слова: геоінформаційна система, моніторинг надзвичайних ситуацій тектонічного походження, прогноз сейсмічної активності, факторний аналіз, аналіз головних компонент.

Табл.: 08. Іл.: 13. Бібліогр.: 56 найм.

UDC 351.861

Tiutyunik V. **Development of the bases of geoinformational the systems of emergency monitoring situations of tectonic origin** / V. Tiutyunik, L. Chernogor, V. Kalugin, T. Agazade // *Applied Radio Electronics: Sci. Journ.* – 2019. – Vol. 18, № 1, 2. – P. 52–65.

The paper has assessed the relationship between the main parameters of the Earth's motion in the Sun-Earth-Moon system and the main parameters of the tectonic danger of seismically active local territories of the planet while using the methods of factor analysis and analysis of the main components. The results obtained are the basis for the development of the scientific and technological essential principles of creating a geographic information system for monitoring emergency situations of tectonic origin on the basis of increasing the effectiveness of the forecast of seismic activity on the territory of the Earth.

Keywords: geoinformation system, monitoring of emergency situations of tectonic origin, seismic activity forecast, factor analysis, principal component analysis.

Tab.: 08. Fig.: 13. Ref.: 56 items.