

Модель главных компонент в сейсмичности зоны Вранча

Р.З. Буртиев, В.Ю. Карданец, 2020

Институт геологии и сейсмологии АН Молдовы, Кишинев, Молдова

Поступила 29 октября 2019 г.

Сейсмичные процессы відбуваються та поширюються в часі та просторі під впливом внутрішнього детермінізму глобальної тектоніки. Невизначеності, пов'язані з переплетенням внутрішніх фізичних полів Землі і гравітаційної сили небесних тіл, та їх вплив на глобальну тектоніку вносять елемент випадковості у моделі сейсмичності. Сейсмичні процеси складні й різноманітні, оскільки їх формування зумовлене складними, різноманітними геолого-геофізичними процесами, що відбуваються в надрах Землі, і характеризуються великою кількістю різних параметрів, а результати спостережень над ними мають вигляд багатовимірних випадкових величин. При дослідженні таких багатопараметричних процесів постає питання стосовно виключення частин параметрів або заміни їх меншим числом будь-яких функцій від них із збереженням при цьому всієї інформації. Для вирішення цього завдання застосовано факторний аналіз, який ґрунтується на визначенні мінімального числа факторів, що складають найбільшу частку дисперсії даних. У дослідженні складної природи сейсмичності факторний аналіз допомагає глибше зрозуміти сутність сейсмичних процесів, тому що взаємозалежність сейсмичних параметрів має бути зумовленою зв'язками між параметрами, виявлення яких є завданням факторного аналізу. Сучасні моделі сейсмичності й теорії, що пояснюють виникнення землетрусів, базуються на непрямих даних, переважно на сейсмичних спостереженнях. Основною метою геофізичних досліджень є розв'язання оберненої задачі, тобто визначення будови середовища за спостереженнями над характеристиками фізичних полів. Особливості сейсмичної дії кожного землетрусу визначають за такими його характеристиками, як тектоніка, глибина розміщення вогнища, механізм, геометрія вогнища, напрямок і перебіг процесу розриву гірських порід та інші параметри. Картина макросейсмічного поля є відображенням впливу всіх цих факторів і локальних геологічних особливостей на прояв сейсмічного ефекту в точках земної поверхні.

Ключові слова: метод головних компонент, імовірнісний аналіз сейсмічної небезпеки (PSHA), статистичний пакет суспільних наук (SPSS).

Введение. Сейсмология является большей частью эмпирической наукой, поскольку утверждения, как и модели, основываются на фактах и наблюдениях. Цель эмпирических наук — охват абстрактной моделью результатов реальных наблюдений. Главная задача — представление картины будущего поведения и определение формы модели. На практике лучшей считается модель с наиболее общим и упрощенным описанием наблюдений и высоким потенци-

алом прогноза. Для того чтобы выводы об общей, реальной взаимосвязи во множестве наблюдений были сделаны с некоторой (наибольшей) вероятностью, применяются методы теории вероятностей, поскольку невозможно охватить моделью все множество наблюдений. С помощью стохастического моделирования распознается истинная структура системы из наблюдаемых данных. В данном исследовании проведен анализ параметров механизма очага земле-

трясения на основе модели главных компонент метода факторного анализа.

Современные модели сейсмичности и теории, объясняющие возникновение землетрясений, базируются на косвенных данных, в основном на сейсмических наблюдениях. Геофизические исследования дают возможность решать обратную задачу, т. е. определять строение среды по характеристикам физических полей. Особенности сейсмического воздействия каждого землетрясения определяются такими характеристиками, как тектоника, глубина очага, механизм, геометрия очага, направление и ход процесса разрыва горных пород и многими другими [Алказ, 2007]. Картина макросейсмического поля является отражением влияния всех этих факторов и локальных геологических особенностей на проявление сейсмического эффекта в точках земной поверхности. Одним из значимых факторов, определяющих качество анализа сейсмической опасности, является модель сейсмичности зоны очагов землетрясений [Burtiev, 2017].

При исследовании сейсмичности рассматривается протекающий во времени и в пространстве сейсмический процесс. Многие задачи сейсмологии связаны с умением вычислять вероятность каких-то событий, связанных с сейсмическим процессом, и определять их вероятностную структуру. Сейсмология занимается изучением землетрясений и связанных с ними явлений. Основная задача сейсмологии — научиться предсказать силу, время и место возникновения землетрясений. Модель, которая охватывает всевозможные формы зависимости между событиями, является реальным отражением действительности, однако это приводит к большим трудностям при изучении их вероятностной структуры и статистическом анализе. Поэтому принимается компромиссное решение — выбирается модель, которая учитывает достаточные для адекватности модели зависимости и поддается статистическому анализу.

Математическая статистика, главная задача которой состоит в связывании реальных данных с теоретическими моделями,

развивается на основе теории вероятностей и используется для определения параметров модели по выборочным данным, прогноза, проверки гипотез и в какой-то мере решает обратные задачи. Факторный анализ основан на определении минимального числа факторов, которые составляют наибольшую долю в дисперсии данных [Бахтин и др., 2007]. В исследовании сложной природы сейсмичности факторный анализ помогает глубже понять сущность сейсмических процессов, так как взаимозависимость между сейсмическими параметрами должна быть обусловленной связями между параметрами, выявление которых является задачей факторного анализа.

Факторный анализ позволяет исследовать структуру взаимосвязей переменных, где каждая группа переменных будет определяться фактором, при котором эти переменные имеют максимальные нагрузки. Результатом факторного анализа является переход от множества исходных переменных к меньшему числу новых переменных — компонентам, которые при этом интерпретируются как скрытые переменные — причины совместной изменчивости (взаимосвязи) нескольких исходных переменных. Если исследователя интересует только структура переменных, то факторный анализ на этом завершается.

Факторный анализ. Анализу подвергается массив сейсмических данных, состоящий из 16 значений параметров, характеризующих механизм и геометрию очага Вранча: M_w — моментная магнитуда; R — гипоцентральное расстояние; $Azim$ — азимут на самый отдаленный пункт; $NP1_{stk}$ — простирание нодальной плоскости 1; $NP1_{dp}$ — угол падения нодальной плоскости 1; $NP1_{slip}$ — смещение нодальной плоскости 1; $NP2_{stk}$ — простирание нодальной плоскости 2; $NP2_{dp}$ — угол падения нодальной плоскости 2; $NP2_{slip}$ — смещение нодальной плоскости 2; P_{az} — азимут оси сжатия; P_{pl} — угол оси сжатия; B_{az} — азимут нейтральной оси; B_{pl} — угол нейтральной оси; T_{az} — азимут оси растяжения; T_{pl} — угол оси растяжения.

Предполагается, что значения обусловлены скрытыми факторами, которые не-

возможно наблюдать непосредственно. С помощью факторного анализа удается выявить причины, которые определяют значимую корреляционную связь между параметрами. Задачей факторного анализа является определение минимального числа факторов, вносящих максимальный вклад в дисперсию данных. Анализ начинается со статистики выборочных данных значений параметров, характеризующих механизм и геометрию очага Вранча.

Из табл. 1 видно, что величины статистических характеристик параметров имеют большой разброс, т. е. их значения изменены в различных единицах, несопоставимых между собой. Поэтому их следует привести к единому масштабу с помощью стандартизации:

$$X_{ij}^s = \frac{X_{ij} - \bar{X}_j}{\sigma_j}, \quad (1)$$

где X_{ij} — значение j -го параметра в i -м наблюдении, \bar{X}_j — среднее значение j -го параметра, σ_j — стандартное отклонение j -го параметра.

Первое представление о наличии зависимых параметров можно получить по корреляционной матрице (табл. 2), которая характеризует степень корреляционной связи между параметрами исходного массива. Чем выше доля высоких корреляций, тем лучше данные подходят для факторного анализа. Например, значение коэффициента корреляции между параметрами $NP1_{stk}$ и $NP2_{stk}$ составляет $-0,82$. Значение коэффициента корреляции между параметрами P_{az} и $NP1_{dp}$, равное $0,884$, свидетельствует о достаточно высокой степени зависимости между параметрами и служит основанием для их включения в одну группу. В методе главных компонент после вычисления корреляционной матрицы производится ее ортогональное преобразование и по значениям элементов матрицы определяются факторные нагрузки.

Оптимальное количества компонентов факторной модели (количества факторов) определяется процедурой «уменьшение размерности» пакета SPSS (Statistical package

for social sciences), число факторов — числом собственных значений корреляционной матрицы, превосходящих единицу. Из табл. 3 видно, что больше единицы четыре собственных значения, т. е. определено четыре фактора. Первый фактор объясняет $37,57\%$ суммарной дисперсии, второй — $21,7\%$, третий — $14,38\%$, четвертый — $11,32\%$. В четвертом столбце таблицы (Суммарный %) показан процент дисперсии, который сохранился при проведении факторного анализа. Например, если количество факторов в факторной модели равно количеству признаков (в нашем примере 12, т. е. группировка признаков не проводится), исходная информация будет сохранена на 100% . Повернутая сумма квадратов нагрузок характеризует собственные значения и объяснимую дисперсию всех факторов с собственными значениями, превышающими единицу после вращения.

Во втором столбце таблицы (Всего) при-

Т а б л и ц а 1 . Описательная статистика

Параметр	Среднеарифметическое значение	Среднеквадратическое отклонение	Число наблюдений
M_w	6,8200	,68015	9914
$\ln R$	641,4406	776,26918	9914
$Azim$	176,8295	95,23605	9914
$NP1_{stk}$	206,0295	61,68680	9914
$NP1_{dp}$	53,7408	18,12259	9914
$NP1_{slip}$	92,1033	29,92217	9914
$NP2_{stk}$	84,7021	108,54354	9914
$NP2_{dp}$	38,8398	19,16654	9914
$NP2_{slip}$	73,3290	28,41213	9914
P_{az}	209,8088	114,53092	9914
P_{pl}	18,9177	10,19420	9914
B_{az}	68,8550	45,65304	9914
B_{pl}	12,1869	5,55001	9914
T_{az}	190,5526	60,39683	9914
T_{pl}	67,0351	9,75051	9914

Т а б л и ц а 2. Корреляционная матрица

Параметр	Параметры функции затухания			Нодальные плоскости						Оси главных напряжений					
				NP1			NP2			P		B		T	
	M_w	$\ln R$	Azim	NP1 _{stk}	NP1 _{dp}	NP1 _{slip}	NP2 _{stk}	NP2 _{dp}	NP2 _{slip}	P_{az}	P_{pl}	B_{az}	B_{pl}	T_{az}	T_{pl}
M_w	1,000	-,548	,192	,430	,367	,559	-,513	-,370	,066	,582	-,043	-,713	-,003	-,270	,147
$\ln R$	-,548	1,000	-,168	,040	,113	-,234	-,064	-,110	-,195	-,006	-,086	,409	,013	-,131	,067
Azim	,192	-,168	1,000	,082	,082	,103	-,108	-,083	-,005	,120	-,008	-,174	,013	-,041	,035
NP1 _{stk}	,430	,040	,082	1,000	,543	,665	-,820	-,488	-,329	,580	-,469	-,506	,379	,034	,278
NP1 _{dp}	,367	,113	,082	,543	1,000	,223	-,830	-,993	-,336	,884	,277	-,535	-,315	-,623	-,101
NP1 _{slip}	,559	-,234	,103	,665	,223	1,000	-,447	-,229	,357	,477	-,672	-,620	,092	-,040	,674
NP2 _{stk}	-,513	-,064	-,108	-,820	-,830	-,447	1,000	,796	,323	-,862	,065	,599	-,098	,432	-,082
NP2 _{dp}	-,370	-,110	-,083	-,488	-,993	-,229	,796	1,000	,268	-,895	-,283	,545	,397	,677	,056
NP2 _{slip}	,066	-,195	-,005	-,329	-,336	,357	,323	,268	1,000	-,093	-,327	-,006	-,354	-,250	,595
P_{az}	,582	-,006	,120	,580	,884	,477	-,862	-,895	-,093	1,000	,036	-,688	-,232	-,672	,196
P_{pl}	-,043	-,086	-,008	-,469	,277	-,672	,065	-,283	-,327	,036	1,000	,079	-,457	-,356	-,845
B_{az}	-,713	,409	-,174	-,506	-,535	-,620	,599	,545	-,006	-,688	,079	1,000	,032	,169	-,242
B_{pl}	-,003	,013	,013	,379	-,315	,092	-,098	,397	-,354	-,232	-,457	,032	1,000	,625	,048
T_{az}	-,270	-,131	-,041	,034	-,623	-,040	,432	,677	-,250	-,672	-,356	,169	,625	1,000	-,053
T_{pl}	,147	,067	,035	,278	-,101	,674	-,082	,056	,595	,196	-,845	-,242	,048	-,053	1,000

ведены собственные значения. В рассматриваемом примере было задано условие: значение характеристических чисел должно быть больше единицы. Максимальное количество компонентов факторной модели, в которой собственные значения превышают единицу, равно 4. Следовательно, оптимальное количество групп в факторной модели также 4.

Как видно из представленных в табл. 3 данных, модель, состоящая из четырех факторов, сохраняет 84,996 % исходной информации, т. е. при группировке исходного массива параметров потеря информации неизбежна. Сохранение информации всего лишь на 60 % считается достаточно хорошим показателем [Basimov, 2011]. Обычно при проведении факторного анализа используются первые главные компоненты, суммарная доля дисперсии которых пре-

вышает 60 %. Учитывая, что в ходе факторного анализа количество параметров сокращается в несколько раз, даже при большой потере информации (например, 40 %) применение факторной модели считается целесообразным.

График собственных значений (рисунок) полезен при определении количества главных компонент, которое определяется там, где начинается резкий спад [SPSS ..., 2005]. После спада исследуемая зависимость близка к горизонтальной линии, т. е. замедляется убывание собственных значений. На рисунке видно, что точка перегиба находится на четвертом факторе, т. е. выделяется не более четырех факторов, собственные значения которых находятся выше горизонтальной линии АВ со значением, равным 1. Этот метод используется при определении достаточного количества факторов перед

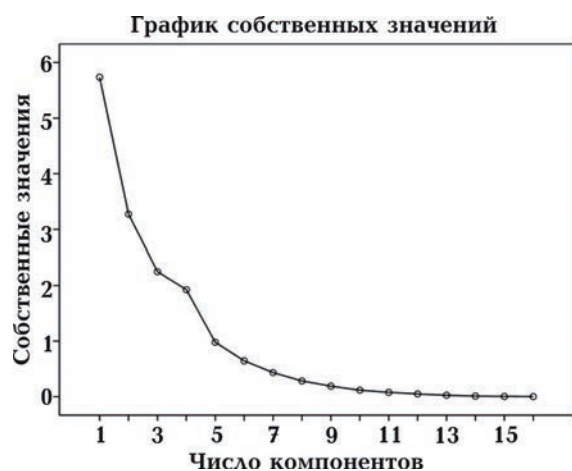


График собственных значений.

Diagram of intrinsic values.

вращением, т. е. при определении простой модели, где каждому параметру соответствует большое значение факторной нагрузки по одному фактору и малое по всем остальным. Факторная нагрузка определяется коэффициентом корреляции каждого параметра с каждым из выявленных факторов (табл. 4).

Объяснение выявленных факторов и включение отдельного параметра в один фактор осуществляется по величине корреляции данного параметра с данным фактором (факторной нагрузке). Обычно применяется вариант вращения «Варимакс» (не коррелируемые факторы — ортогональные, поскольку при таком вращении оси располагаются под прямым углом). При ортогональном вращении каждый последующий фактор определяется так, чтобы максимизировать дис-

Т а б л и ц а 3 . Объясненная совокупная дисперсия

Параметр	Начальные собственные значения			Сумма квадратов нагрузок для извлечений			Повернутая сумма квадратов нагрузок		
	Всего	% дисперсии	Суммарный %	Всего	% дисперсии	Суммарный %	Всего	% дисперсии	Суммарный %
M_w	5,635	37,567	37,567	5,635	37,567	37,567	5,121	34,138	34,138
Azim	3,255	21,697	59,264	3,255	21,697	59,264	3,041	20,272	54,411
NP1 _{stk}	2,157	14,380	73,644	2,157	14,380	73,644	2,354	15,696	70,107
NP1 _{dp}	1,703	11,352	84,996	1,703	11,352	84,996	2,233	14,889	84,996
NP1 _{slip}	,926	6,176	91,172	—	—	—	—	—	—
NP2 _{stk}	,438	2,920	94,092	—	—	—	—	—	—
NP2 _{dp}	,298	1,987	96,078	—	—	—	—	—	—
NP2 _{slip}	,227	1,515	97,593	—	—	—	—	—	—
P_{az}	,180	1,202	98,795	—	—	—	—	—	—
P_{pl}	,079	,525	99,320	—	—	—	—	—	—
B_{az}	,055	,364	99,685	—	—	—	—	—	—
B_{pl}	,031	,204	99,889	—	—	—	—	—	—
T_{az}	,011	,074	99,963	—	—	—	—	—	—
T_{pl}	,004	,030	99,993	—	—	—	—	—	—
lnR	,001	,007	100,000	—	—	—	—	—	—

Т а б л и ц а 4 . Матрица компонентов

Параметр	Компонент			
	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄
<i>P_{az}</i>	,959	-,126	-,076	,098
NP2 _{stk}	-,908	,038	-,305	-,109
NP1 _{dp}	,874	-,417	,092	,139
NP2 _{dp}	-,874	,424	,003	-,154
<i>B_{az}</i>	-,775	-,219	,055	,372
NP1 _{stk}	,720	,381	,502	,124
<i>M_w</i>	,675	,220	-,133	-,532
<i>T_{az}</i>	-,549	,470	,536	-,250
<i>P_{pl}</i>	-,052	-,924	-,066	-,338
<i>T_{pl}</i>	,219	,765	-,368	,393
NP1 _{slip}	,601	,716	-,153	,011
NP2 _{slip}	-,113	,411	-,854	,094
<i>B_{pl}</i>	-,156	,503	,736	-,093
<i>lnR</i>	-,101	-,210	,236	,865
Azim	,170	,067	-,033	-,323

персию, оставшуюся от предыдущих факторов, поэтому факторы оказываются независимыми, некоррелированными между собой.

В каждой строке повернутой матрицы компонентов (табл. 5) отмечается факторная нагрузка, которая имеет максимальное абсолютное значение. Например, параметр *np1dp* максимально коррелирует с первым фактором (величина корреляции составляет 0,953). Параметры *NP2_{dp}*, *NP2_{stk}*, *P_{az}*, *NP1_{stk}* также связаны с первым фактором наибольшей корреляционной связью (-0,937; -0,935; 0,915; 0,71). Таким образом, определяются факторы, к которым следует отнести параметры, включенные однозначно (табл. 6). Однако в некоторых случаях, при равных значениях нагрузок, параметр может включаться в два фактора одновременно. Например, параметр *NP2_{slip}*, который включен в факторы F₂ и F₃.

После определения факторов по формуле

$$F_i = \alpha_{i1} X_1 + \alpha_{i2} X_2 + \dots + \alpha_{ip} X_p, \quad (2)$$

где X_1, \dots, X_p — параметры, $(\alpha_{i1}, \alpha_{i2}, \dots, \alpha_{ip})'$ — собственный вектор корреляционной матрицы, соответствующий i -му собственному значению, вычисляются значения факторов F_1, \dots, F_p , которые могут быть использованы в дальнейшем в многомерном статистическом анализе.

Построение факторной модели и интерпретация результатов. При факторном анализе под одним фактором собираются параметры исходного массива, которые связаны наиболее тесной корреляционной связью (факторные нагрузки) с данным фактором и содержатся в повернутой матрице компонентов (см. табл. 5).

Применяется самый распространенный способ вращения «Варимакс». Факторные нагрузки изменяются от -1 до +1 и являются аналогом коэффициента корреляции. В

Т а б л и ц а 5 . Повернутая матрица компонентов

Параметр	Компонент			
	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄
NP1 _{dp}	,953	-,155	-,175	,051
NP2 _{dp}	-,937	,125	,266	-,054
NP2 _{stk}	-,935	,097	-,171	-,136
<i>P_{az}</i>	,915	,149	-,211	,215
NP1 _{stk}	,710	,359	,532	,120
<i>T_{pl}</i>	,029	,956	-,088	-,032
<i>P_{pl}</i>	,078	-,901	-,389	,384
NP1 _{slip}	,351	,785	,100	,034
NP2 _{slip}	-,368	,630	-,607	,135
<i>B_{pl}</i>	-,121	,131	,892	,009
<i>T_{az}</i>	-,554	,029	,749	,049
<i>lnR</i>	,209	,039	,035	-,901
<i>M_w</i>	,415	,175	-,025	,776
<i>B_{az}</i>	-,561	-,228	-,018	-,650
Azim	,058	-,015	,021	,650

Т а б л и ц а 6 . Группировка признаков исходного массива данных

Компонент	Исходные признаки	Коэффициенты корреляции
F ₁	NP1 _{dp}	0,953
	NP2 _{dp}	-0,937
	NP2 _{stk}	-0,935
	P _{az}	0,915
	NP1 _{stk}	0,71
F ₂	T _{pl}	0,956
	P _{pl}	-0,901
	NP1 _{slip}	0,785
	NP2 _{slip}	0,630
F ₃	B _{pl}	0,892
	T _{az}	0,749
	NP2 _{slip}	-0,607
F ₄	lnR	-0,901
	M _w	-0,776
	B _{az}	-0,650
	Azim	0,368

матрице факторных нагрузок необходимо выделить значимые и незначимые нагрузки с помощью критерия Стьюдента:

$$t = r \sqrt{N - 2} / \sqrt{1 - r^2}, \quad (3)$$

где N — число наблюдений, r — коэффициент корреляции.

Название каждого фактора можно подобрать, исходя из логики и темы исследований. Сумма квадратов нагрузок j -го фактора на всех k -параметрах равна собственному значению данного фактора (табл. 7).

Критерий выбора числа факторов. Критерий адекватности выборки Кайзера—Мейера—Олкина (КМО) используется для проверки качества факторизации данных на основе корреляции и частной корреляции между исходными параметрами (табл. 8). Выборочное значение индекса КМО, равное 0,57, превышает пороговое значение 0,5, что указывает на пригодность данных для

проведения факторного анализа. Критерий Бартлетта применяется для проверки так называемой нулевой гипотезы H_0 о том, что параметры, участвующие в факторном анализе, не коррелированы между собой при альтернативной гипотезе о наличии взаимосвязи. Значимость тестового критерия Бартлетта (строка Значимость), равная 0,0, ниже уровня значимости $\alpha = 0,05$, следовательно, гипотеза H_0 отвергается в пользу альтернативной гипотезы о коррелированности параметров между собой при 105 степенях свободы. Степень свободы означает разность количества наблюдений и количества оцененных параметров.

Общность измеряет долю дисперсии в данном параметре, объясняемой всеми факторами совместно, и она определяет, для каких параметров факторный анализ работает лучше и хуже. Это значение должно

Т а б л и ц а 7 . Оценка компонентов в PCA (principal component analysis)

Параметр	Компонент			
	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄
M _w	,008	-,012	-,001	,347
lnR	,141	,091	,014	-,496
Azim	-,025	-,040	,014	,188
NP1 _{stk}	,158	,079	,238	-,040
NP1 _{dp}	,201	-,061	-,036	-,059
NP1 _{slip}	,032	,234	,015	,094
NP2 _{stk}	-,197	-,002	-,102	,034
NP2 _{dp}	-,194	,046	,078	,060
NP2 _{slip}	-,123	,248	-,311	,048
P _{az}	,171	,034	-,068	,003
P _{pl}	,006	-,306	-,118	,115
B _{az}	-,054	-,014	-,018	-,261
B _{pl}	,001	-,001	,379	,011
T _{az}	-,102	-,028	,308	,085
T _{pl}	-,004	,346	-,090	-,107

Т а б л и ц а 8 . Мера адекватности и критерий сферичности Бартлетта

Мера выборочной адекватности Кайзера—Мейера—Олкина (КМО)		0,565
Критерий сферичности Бартлетта	Приближение χ^2	265332,83
	Степень свободы	105
	Значимость	0,000

Т а б л и ц а 9 . Общность

Параметры	Значение	
	Начальное	Извлеченное
M_w	1	0,805
$\ln R$	1	0,858
azim	1	0,139
NP1 _{stk}	1	0,932
NP1 _{dp}	1	0,965
NP1 _{slip}	1	0,897
NP2 _{stk}	1	0,931
NP2 _{dp}	1	0,967
NP2 _{slip}	1	0,919
P_{az}	1	0,951
P_{pl}	1	0,976
B_{az}	1	0,789
B_{pl}	1	0,827
T_{az}	1	0,871
T_{pl}	1	0,923

Т а б л и ц а 10 . Шкала классификации тесноты связи Чеддока

Количественная мера	0—0,1	0,11—0,3	0,31—0,5	0,51—0,7	0,71—0,9	0,91—0,99	0,991—1
Характер связи	Отсутствует	Слабая	Умеренная	Заметная	Тесная	Сильная	Функциональная

превышать 0,5, иначе соответствующие параметры будут удалены. Другими словами, общность указывает на надежность данного параметра. Значение 1 означает, что дисперсия параметра полностью определяется выделенным фактором. Извлечение — доля дисперсии, которая принимает значения из интервала 0—1, объясняется всеми параметрами, оставшимися после извлечения факторов. Общность является квадратом множественной корреляции параметра как зависимой переменной, которая использует факторы как независимые параметры. Извлеченные факторы объясняют свыше 97,6 % дисперсии параметра P_{pl} (табл. 9). Если параметр обладает низкой общностью (например, Azim — общность составляет всего 13,9 %), то для этого параметра применение факторной модели не имеет смысла.

Факторный анализ приводит к потере информации исходных данных, однако значительное уменьшение числа признаков оправдывает его применение и помогает выявить закономерности в сейсмических процессах, которые не поддаются непосредственному наблюдению.

Существует статистики КМО для каждого признака. Их сумма является общей статистикой КМО — величиной, которая определяет пригодность факторного анализа.

Таблица Чеддока (табл. 10) используется для словесной характеристики значимости коэффициентов корреляции. Например, между значениями моментной магнитуды M_w и логарифмом гипоцентрального расстояния $\ln R$ существует отрицательная заметная корреляционная зависимость, равная $-0,548$.

Выводы. В исследовании сложной природы сейсмичности факторный анализ оказался полезным для понимания сущности сейсмических процессов. Между параметрами, отражающими механизм и геомет-

рию очага Вранча, прослежена статистически значимая корреляционная зависимость. С помощью факторного анализа выявлены скрытые факторы, обуславливающие связи между этими параметрами.

Список литературы

Алказ В.Г. Основы прогноза сейсмической опасности и сейсмического риска территории Республики Молдова. Кишинев, 2007, 229 с.

Бахтин А.И., Низамутдинов Н.М., Хасанова Н.М., Нуриева Е.М. Факторный анализ в геологии. Казань: Изд-во Казанского университета, 2007, 32 с.

Basimov, M. (2011). Mathematical methods in

psychological research. LAP, Lambert Academic Publishing, 192 p.

Burtiev, R. (2017). Seismic Hazard Assessment Method Based on the Stochastic Models of Seismicity. *Bulletin of the International Institute of Seismology and Earthquake Engineering*, 51, 22—31.

SPSS Trends 14.0. (2005). Retrieved from <http://www.spss.com/worldwide>.

A model of the basic components in the seismic Vrancea zone

R. Z. Burtiyev, V. Yu. Kardanets, 2020

Seismic processes occur and develop temporally and spatially under the action of internal determinism of global tectonics. Uncertainties related to interlacement of internal physical fields of the Earth and gravity forces of celestial bodies and their effect on global tectonics introduce an element of randomness to models of seismicity. Seismic processes are complicated and multiform because their formation is conditioned by complex variegated geological-geophysical processes occurred in the interior of the Earth and characterized by a set of manifold parameters and the results of their observations are presented as multivariate accidental values. While studying such multivariate processes the question arises: if we can set aside a part of parameters or substitute them by minor number of some of their functions and preserve at the same time all the information? For solving this problem there is a factor analysis based on finding minimal number of factors forming the maximum share of data dispersion. In the studies of the complicated nature of seismicity the factor analysis forwards a deeper understanding of the essence of seismic processes because interrelation of seismic parameters must be conditioned by parameter relations which revealing is a task of factor analysis. The modern models of seismicity and the theories explaining appearance of the earthquakes are based on indirect data, mainly on seismic observations. The basic mission of geophysical studies is solving of inverse problem, i. e. determination of the structure of the medium according to observations of physical fields characteristics. Special features of seismic actions of each earthquake is determined by such of its characteristics as tectonics, the depth of a focus, mechanism, geometry of the focus, direction and the running of the process of rocks rupture and other parameters. The pattern of a microseismic field is a reflection of all these factors effect and of local geological features on manifestations of seismic effect in the sites of day surface.

Key words: a method of basic components, probabilistic analysis of seismic hazard (PSHA), Statistical Package for the Social Sciences (SPSS).

References

- Alkaz, V.G. (2007). *Basics of seismic hazard and seismic hazard prediction risk of the territory of the Republic of Moldova*. Chisinau, 229 p. (in Russian).
- Bakhtin, A.I., Nizamutdinov, N.M., Khasanova, N.M., & Nurieva, E.M. (2007). *Factor analysis in geology*. Kazan: Kazan University Press, 32 p. (in Russian).
- Basimov, M. (2011). Mathematical methods in psychological research. LAP, Lambert Academic Publishing, 192 p.
- Burtiev, R. (2017). Seismic Hazard Assessment Method Based on the Stochastic Models of Seismicity. *Bulletin of the International Institute of Seismology and Earthquake Engineering*, 51, 22—31.
- SPSS Trends 14.0. (2005). Retrieved from <http://www.spss.com/worldwide>.