

В. И. Уломов

**МЕТОДИКА ПОИСКА ПРОГНОСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ**

Исследования по прогнозированию землетрясений привлекли геофизиков, геодезистов и гидрогеологов, не обладающих достаточными знаниями сейсмологии. В связи с этим поиск предвестников землетрясений зачастую осуществляется без всякой системы и, как правило, не имеет никакой физической и, тем более, сейсмологической основы. Пренебрежение элементарными основами теории вероятностей и математической статистики нередко приводит к необоснованным выводам, бессмысленному накоплению огромного материала, а в конечном итоге к бесполезной трате духовных сил и материальных средств.

Мы предлагаем методику, позволяющую выполнять научные исследования по проблеме прогнозирования землетрясений в следующие логически последовательные этапы:

I. Отбор представительного материала для поиска предвестников землетрясений и его математическая обработка.

II. Отбор представительного сейсмологического материала, пригодного для поиска корреляционной связи между землетрясениями различной величины и аномальными изменениями геофизических, гидрогеохимических и других естественных полей Земли.

III. Поиск корреляции между факториальными и результативными признаками с целью разработки действенных способов и методов прогнозирования землетрясений.

Прежде чем приступить к изложению предлагаемой методики, рассмотрим современные представления о процессах, протекающих в очаговых областях землетрясений, и некоторые из рабочих моделей сейсмических очагов.

Физическая модель очага землетрясения

Несмотря на то, что до сих пор не существует общепризнанной модели сейсмического очага, а выдвинутые гипотезы еще не подтверждены строгим количественным анализом, исследования в этой области уже сегодня дают физическую основу для выявления и интерпретации многих предвестников землетрясений. С другой стороны, продолжающееся систематическое накопление прогностического материала способствует дальнейшему совершенствованию представлений о физических процессах в очагах землетрясений.

Первая попытка создать физическую модель очага тектонического землетрясения предпринята нами в конце 50-х годов. Она состояла в разработке действующей ультразвуковой модели, имитирующей разрывы сплошности упругой среды, сопровождающиеся скольжением, отрывом и поворотом их крыльев [1]. Широко используемые в последнее время представления о процессе трещинообразования, предшествующем землетрясениям, впервые опубликованы в 1966 г. [2] и впоследствии подтверждены крупными землетрясениями в Центральных Кызылкумах в 1968 и 1976 гг. (магнитуды $M=5,5; 7,0; 7,3$) [6, 7]. И, наконец, в 1966 г. на основании изучения вариаций радона впервые предложено выделять четыре этапа деформирования пород в процессе подготовки и развития области очага тектонического землетрясения [3, 4]. Эти четыре стадии, обозначенные нами римскими цифрами I—IV, признаются сейчас большинством отечественных и зарубежных сейсмологов [8, 9], однако (особенно стадия III), трактуются несколько по-разному. На локальный характер большинства известных предвестников землетрясений, обусловленный передачей деформаций в земной коре на значительные расстояния, указано нами в работе [5].

Многолетние поиски и изучение предвестников землетрясений, предпринятые главным образом в СССР, США и Японии, выявили «бухтообразный» характер большинства прогностических аномалий, свидетельствующий о том, что землетрясения возникают в основном не с появлением и ростом аномалии, а вслед за ее уменьшением или полным исчезновением. Это явление, весьма благоприятное для однозначности предсказания времени возникновения землетрясений, и послужило началом разработки количественных теорий сейсмического прогноза. В основу многих из них положен процесс накопления тектонических деформаций (стадия I) и трещинообразования (стадия II) в горных породах, испытывающих увеличение объема, т. е. дилатансию. Стадия III включает раз-

рыв пород — землетрясение, а стадия IV — всю серию афтершоков [3, 8].

В настоящее время широко распространены три физические модели сейсмического очага. Американские геофизики Шольц, Сайкс и Аггарвал [8] в 1973 г. предложили гипотезу, основанную на дилатансии в водонасыщенных породах, и попытались объяснить природу целого ряда предвестников: уменьшение отношения скоростей продольных и поперечных упругих волн, уменьшение электросопротивления, увеличение эмиссии радона и др. Эта модель получила название дилатантно-диффузионной или «мокрой» модели, поскольку постепенное восстановление нормального поля (стадия III) после появления аномалии (стадия II) она объясняет диффузией воды в микротрещины и поры, возникающие во время второй стадии деформирования.

В. И. Мячкин, Б. В. Костров и др. [9] предложили одну из разновидностей «сухих» моделей — лавинное нарастание количества и размеров трещин (стадия III), приводящее к их концентрации в узкой зоне, в которой и возникает затем хрупкий магистральный разрыв — землетрясение. Многочисленные, но небольшие, трещины на периферии очаговой области в связи с падением напряжений из-за слияния микротрещин закрываются и тем самым как бы восстанавливают первоначальное состояние среды.

Вслед за нами [2, 3] Моги, Стьюарт и Брэди [8] считают возможным существование другой разновидности «сухой» модели. В этом случае на стадии II допускается расширение пород и трещинообразование, но на стадии III в ограниченной зоне возникает неупругая деформация, завершающаяся пластическим разрывом — землетрясением. До возникновения землетрясения благодаря ползучести пород в будущем очаге вокруг последнего в большом регионе снимаются упругие напряжения и закрываются созданные обширной дилатансией поры и трещины. В результате даже на умеренно удаленных от очага наблюдательных пунктах перед землетрясением регистрируются бухтообразные прогностические аномалии.

Подтверждением последней гипотезы служит трещинообразование, наблюдаемое нами в течение многих лет на земной поверхности в Центральных Кызылкумах [2, 5, 7, 10]. Первоначально трещинообразование было обнаружено в 1965 г. на плотном песчаном грунте пос. Тамдыбулак. Затем оно распространилось на значительное расстояние вдоль Северо-Тамдынского разлома — составной части крупной Центрально-Кызылкумской сейсмогенной зоны юго-западного простирания [2]. Комплексные исследования обнаруженного явления привели нас к выводу о связи процесса трещинообразования с подготовкой сильного землетрясения в этом районе [2]. В 1966—1967 гг. в Центральных Кызылкумах организован прогностический полигон, оснащенный сейсмическими стан-

циями, деформометрическими пунктами и системой геодезических измерений [2, 6, 10].

За 1966—1971 гг. средняя скорость расширения и левых сдвигов перемещений бортов трещины постепенно превысила 1 см/год. В 1972 г. она достигла 2 см/год, в 1973—1974 гг. — 3 см/год, а в 1975 г. стала быстро уменьшаться до 0,5 см/год, при этом некоторые трещины начали интенсивно закрываться, сопровождаясь правым сдвигом [10]. Смена знаков тектонических движений произошла примерно за 10 месяцев до двух крупнейших Газлийских землетрясений, происшедших 8 апреля ($M=7,0$) и 17 мая ($M=7,3$) 1976 г. в пределах выделенной нами в 1966 г. Центрально-Кызылкумской сейсмогенной зоны [2], в 160 км юго-западнее деформометрических пунктов. После этих землетрясений процесс трещинообразования практически прекратился.

Светодальномерные наблюдения и повторное нивелирование на территории Центрально-Кызылкумского полигона, предпринятые в период активизации трещинообразования, также указали на высокую динамическую активность Северо-Тамдынского разлома и слезное напряженно-деформированное состояние территории всего полигона (площадь 10000 км²). Величина наибольшей относительной деформации горизонтального растяжения земной поверхности составила около $3 \cdot 10^{-5}$ (Вишняцкий, 1975), а амплитуда относительных вертикальных перемещений бортов Северо-Тамдынского разлома достигала 0,8 см/год (по данным В. А. Пискулина).

Таким образом, комплексное изучение в реальных природных условиях развития процесса трещинообразования позволило нам в 1965 г. [2] впервые предположить, а в 1973 г. [6] с точностью до года предсказать возникновение крупных землетрясений в Центрально-Кызылкумской сейсмогенной зоне в 1976 г.

Одиннадцатилетний интервал времени (1965—1976 гг.), соответствующий появлению первых прогностических признаков (стадия II) Газлийских землетрясений с $M=7,0$ и 7,3 прекрасно вписывается в соотношение $\lg T=0,685 M-1,57$, полученное Шольцем и др. [8] на основании зарубежных и наших данных [3, 4].

По этому уравнению, землетрясение с таким продолжительным предвестником (стадия II) должно иметь магнитуду $M=7,5$, что весьма близко к реальному, если учесть почти одновременное возникновение двух крупных разрывов в одной и той же очаговой области [7].

Стадия III, обусловленная ползучестью пород и пластической деформацией внутриочаговой области и сопровождающаяся постепенным предварительным снятием упругих напряжений и деформаций с окружающей территории, как уже отмечалось, началась примерно за 10 месяцев до землетрясений и также наблюдалась на больших эпицентральных расстояниях. Более краткосрочный предвестник, обусловленный очередным изменением скорости деформирования, наблюдался лишь в непосредственной бли-

зости от очаговой области и проявился за один-два дня до землетрясения изливом подземной воды из заброшенной скважины в западных отрогах хребта Кульджуктау.

В отличие от стадии II, которую мы относим к первому, долгосрочному, прогностическому этапу, стадию III, или второй прогностический этап [3, 4], следует именовать среднесрочной. В зависимости от величины ожидаемого сильного землетрясения ($M \geq 5$) заблаговременность долгосрочного прогноза измеряется месяцами и годами, среднесрочного — неделями и месяцами, а краткосрочного — днями и даже часами.

Предложенный нами в 1966 г. радоновый метод прогнозирования землетрясений [3, 4], как и метод изучения трещинообразования [2], также базируется на упруго-пластической модели сейсмического очага, характеризующейся ползучестью и пластической деформацией пород в области готовящегося магистрального разрыва, упругой деформацией и трещинообразованием пород внешней части земной коры [3, 4]. Оба метода широко распространены в нашей стране и за рубежом [8, 9].

В заключение следует подчеркнуть, что создание физической модели очага землетрясений необходимо не только для понимания сущности сейсмических явлений, но и для разработки методов надежного предсказания. Прогнозирование землетрясений, основанное только на статистике «удач и неудач» не приведет к желаемым результатам. Однако и без такой статистики не обойтись. Именно этим вопросам посвящена оставшая часть этой статьи, уже прошедшая некоторую апробацию в Институте сейсмологии Академии наук УзССР и в отдельных сейсмологических учреждениях других союзных республик [11].

Отбор «прогностического» материала и его математическая обработка

Указывая на возможную связь тех или иных «прогностических» аномалий с землетрясениями, мы прежде всего должны иметь в виду не только физическую зависимость этих событий друг от друга, но и тех и других от явлений, о которых мы пока лишь догадываемся. Это, например, упруго-пластическая деформация горных пород, предшествующая землетрясению и рассматриваемая в качестве положительного фактора. К отрицательным можно отнести влияние атмосферного давления, температуры, лунно-солнечных приливов, физико-химических и других процессов в различных геосферах планеты на вариации геополей. К ним необходимо прежде всего причислить и погрешности измерений.

Поскольку не всегда удастся изолировать результаты измерений от влияния посторонних факторов, следует пользоваться методом корреляции. Он позволяет выяснить вероятную зависимость между результатом и положительным фактором, как если бы посторонние факторы не изменялись и тем самым не искажали основную зависимость. Однако прежде чем приступить к поиску корреля-

ции, необходимо осуществить отбор и предварительную математическую обработку полученного материала. При этом следует иметь в виду, что небольшое число наблюдений не даст возможности обнаружить полноценной зависимости.

В сейсмологии результаты наблюдений обычно представлены графиками, таблицами или уравнениями. Каждый из них имеет свои преимущества и недостатки. Однако при поиске предвестников землетрясений сначала целесообразнее пользоваться графиками, получаемыми либо из таблиц дискретных измерений, либо путем непрерывной регистрации вариаций во времени какого-либо параметра (например, радона). По сравнению с таблицами они более наглядны и существенно облегчают анализ получаемых величин. В частности, если график представляет собой достаточно плавную кривую, то возможно дифференцирование и интегрирование без знания математического описания формы представленной зависимости и т. д.

Отбирать материал для анализа следует однородный и представительный. Например, в случае дискретных измерений частота замеров не должна меняться в течение довольно продолжительных интервалов времени (месяцы, годы). Периодичность же замеров должна быть существенно меньше величины преобладающего периода изменения положительного фактора. В противном случае графическое изображение процесса вариаций параметра не будет отвечать реальной действительности и, естественно, без предварительной математической обработки окажется непригодным для сейсмологического анализа. Осциллограммы, полученные путем непрерывной регистрации процесса, этим недостатком обычно не обладают. Однако в том и другом случае прежде всего необходимо оценить и учесть погрешности измерений.

Прогностические признаки землетрясений, если таковые имеют место на полученных графиках, могут быть выражены либо изменением амплитуды вариационной кривой, либо периодом осцилляций, либо тем и другим одновременно. Амплитудно-частотный фактор, обнаруживаемый время от времени на вариационной кривой, может считаться прогностическим признаком лишь в том случае, если он коррелируется с происходящими землетрясениями, сведения о которых отобраны в соответствии с рекомендациями следующего раздела статьи.

Поскольку землетрясения происходят не непрерывно и неравномерно во времени, логично полагать, что и прогностические признаки их, выраженные в осциллограммах, подчиняются тому же закону. Следовательно, любые периодически повторяющиеся осцилляции на «прогностических» графиках к землетрясениям не имеют отношения, являются посторонними и подлежат исключению. Они могут иметь суточный, сезонный и какой-либо иной характер, изучение которого имеет самостоятельное значение для понимания физики процесса. В некоторых случаях, как напри-

мер для лунно-солнечных приливов, большинство периодов осцилляции может быть довольно точно предсказано заранее, так как причины их появления известны.

Выявить периодические составляющие, отыскать их периоды и определить амплитуды можно путем механического сглаживания, применяя, например, метод взвешенной скользящей средней. В данном случае этот процесс осуществляется последовательно с трех-, четырех-, пятисуточным и т. д. периодом и односуточным скольжением. Веса сглаживаемых величин берутся соответственно равными 1, 2, 1 при трехсуточном; 1, 3, 3, 1 — при четырехсуточном; 1, 4, 6, 4, 1 — при пятисуточном периоде и т. д. Далее по результатам периодического анализа целесообразно построить спектральную характеристику вариационного процесса, откладывая вдоль оси абсцисс величины обнаруженных периодов осцилляции T ; а вдоль оси ординат — средние амплитуды A для каждого периода T . Функция $A=A(T)$ дает возможность оценить нормальные (фоновые) вариации измеряемого параметра, а следовательно, позволяет дать определение аномальным (прогностическим) признакам.

Другим способом исключения посторонних факторов может быть математический прием накопления полезной информации. Например, располагая некоторым количеством осциллограмм вариаций какого-либо гидрогеохимического элемента, наблюдаемого в ряде пунктов в пределах одного и того же артезианского бассейна, легко уменьшить или исключить искажающее влияние местных факторов (изменение дебита, температуры и т. п.). Осуществляется это алгебраическим суммированием всех осциллограмм или их цифровых величин в одни и те же моменты или интервалы времени. В результате сглаживаются случайные (локальные) величины, но становятся более выраженными аномалии, свойственные всем пунктам наблюдений (например, тектонические движения).

Несомненно, существует множество других приемов математической обработки динамических рядов, сведения о которых можно почерпнуть в специальной литературе.

Отбор сейсмологического материала

Предпосылкой к отбору должно служить физическое толкование природы сейсмического очага. Очаг землетрясения не точка, а целая область, от размеров которой зависит величина землетрясения. Возникновение тектонических землетрясений связано с быстрым образованием разрыва пород и снятием деформаций и упругих напряжений, накопленных в определенном объеме пород до землетрясения. Как показали исследования, очаговая область, представляющая собой объем среды, испытавшей необратимую деформацию, соответствует сдвиговым деформациям величиной 10^{-4} и больше. С удалением от нее величина деформации быстро

убывает и уже на расстоянии, равном примерно двадцатикратно-му размеру очага, достигает значений, соизмеримых с деформациями при лунно-солнечных приливах, т. е. 10^{-8} . По-видимому, аналогично затухает и величина деформации пород, подготавливающая землетрясение.

Полагая, что величина и скорость деформаций, предшествующих землетрясению, обуславливает все геофизические, гидрогеохимические и, тем более, геодезические аномалии, в дальнейшем за исходный параметр будем принимать характеристику деформаций в объеме пород, окружающих очаг предстоящего землетрясения. Далее, имея в виду, что величины сброшенных уругих напряжений и деформаций в очаговой области землетрясений разной величины примерно одного порядка, а именно — около

Т а б л и ц а I

<i>K</i>	<i>M</i>	P_1	P_{10}	P_{20}	P_{30}
9	2,8	0,3	3	6	8
10	3,3	0,5	6	11	16
11	3,9	1,1	11	22	33
12	4,4	2,2	22	44	66
13	5,0	4,4	44	88	131
14	5,6	8,8	88	175	262
15	6,1	17,5	175	350	525
16	6,7	35	350	700	1050
17	7,2	70	700	1400	2100
18	7,8	140	1400	2800	4200
19	8,4	280	2800	5600	8400
20	8,9	560	5600	11200	16800

100 бар и 10^{-4} , а спад этих величин с расстоянием пропорционален размеру очага землетрясений, можно рассчитать размеры областей представительных эквивалентных деформаций, предшествующих землетрясениям различного энергетического класса (*K*). Тогда радиусы концентрических зон, эквивалентных по величине деформаций, и определяют порядок выборок землетрясений из их генеральной совокупности.

В табл. I приведены энергетические классы *K*, магнитуда *M*, размеры очага соответствующих землетрясений P_1 , радиусы зон выборок P_{10} , P_{20} и P_{30} соответственно для 10-, 20- и 30-кратного расстояний, км.

Эта таблица способствует отбору однородного сейсмологического материала, пригодного для поиска корреляционной связи между сейсмическими событиями различной величины и аномальными изменениями естественных полей Земли, предшествующими землетрясениям. Например, принимая величину прогностических деформаций соизмеримой с деформациями земной коры при лунно-солнечных приливах, следует выбирать представительные землетрясения из всей генеральной их совокупности, пользуясь

величинами P_{20} , соответствующими максимальным эпицентральному расстояниям от пункта прогностических наблюдений, в пределах которых деформации пород не менее 10^{-8} . Иными словами, из сейсмологического каталога (генеральная совокупность) необходимо отбирать только те землетрясения энергетического класса K , эпицентры которых удалены от пункта прогностических наблюдений на расстояния, не превышающие критические, указанные в столбце P_{20} для различных по величине землетрясений. Аналогично этому можно пользоваться другими столбцами таблицы (P_{10} и P_{30}), либо составить самостоятельно соотношения представительных эпицентральных расстояний для выборок из зон иной кратности (например, 5-; 15-; 25- и т. д.). Однако всегда следует учитывать, что та или иная представительная выборка должна осуществляться только в соответствии с величинами эпицентральных расстояний, указанных в одном и том же выбранном столбце таблицы. Например, в вариациях инертного газа радона в термоминеральной воде глубинного происхождения [4] возможно обнаружение прогностических аномалий на расстояниях, не превышающих 10-кратного размера сейсмического очага предстоящего землетрясения. При поиске корреляционной связи между предшествующими медленными наклонами земной поверхности и землетрясениями, по-видимому, следует пользоваться таблицей 5-кратных эпицентральных расстояний и т. д. Поиск корреляции тех или иных еще не установленных аномалий с происшедшими землетрясениями можно осуществлять, поочередно пользуясь каждым из столбцов таблицы до тех пор, пока такая связь не будет обнаружена. Если этого добиться не удастся, значит такой связи нет. В случае наилучшей корреляции по какому-либо из столбцов таблицы значения эпицентральных расстояний из него можно использовать в дальнейшем для прогнозирования землетрясений, а также определения необходимой плотности системы наблюдательских прогностических пунктов. Так, изучая вариации радона, 7-балльные землетрясения (примерно $K=13$) можно предсказывать лишь в радиусе 50 км от пункта наблюдений за радоном, 8-балльные — в радиусе около 100 км, 9-балльные — 350 км, 10-балльные — около 1000 км и т. д. Если же говорить о возможности прогноза как минимум 6-балльных землетрясений, то необходимо располагать пункты наблюдений не далее 20–30 км друг от друга. Здесь уместно сказать, что в реальных условиях горизонтальной анизотропии земной коры фактическая конфигурация зон может отличаться от концентрической и, следовательно, критические расстояния могут быть несколько иными.

Изометрия в расположении наблюдательских пунктов также может быть нарушена, поскольку их размещение определяется не только требуемой плотностью сети, но и ее конфигурацией по отношению к простирающую конкретную сейсмогенной зоны. Так, на территории Ферганской долины комплекс исследований должен быть сконцентрирован на Южно-Аламышикском участке Южно-

Ферганской флексурно-разрывной зоны, где в последнее время проявляются интенсивные движения земной коры с активным трещинообразованием на земной поверхности. Потенциальная сейсмическая опасность этого участка сейсмогенной зоны подверждается еще и тем, что он является «сейсмическим окном» между эпицентрными зонами сильных землетрясений — Андижанского 1902 г. и Аимского 1903 г.

Кроме того, на характер и величину прогностических аномалий может существенно повлиять перераспределение поля упругих напряжений и деформаций, обуславливающих механизм подвижки пород в очаге предстоящего землетрясения. Эти представления подтвердились наблюдениями за вариациями радона перед

Таблица 2

Пределные расстояния, км

К	М	Э, балл	Ощутимость, балл							
			2	3	4	5	6	7	8	9
9	2,8	3	20	0	—	—	—	—	—	—
10	3,3	4	50	20	0	—	—	—	—	—
11	3,9	5	120	50	20	0	—	—	—	—
12	4,4	6	250	120	50	20	1	—	—	—
13	5,0	7	400	250	120	50	20	2	—	—
14	5,6	8	600	400	250	120	50	20	4	—
15	6,1	8-9	720	500	330	180	80	30	10	—
16	6,7	9	900	600	400	250	120	50	20	10
17	7,2	9-10	1100	720	500	330	180	80	30	10
18	7,8	10	1250	900	600	400	250	120	50	20

двумя крупными Газлийскими землетрясениями 8 апреля и 17 мая 1976 года соответственно с $M=7,0$ и $M=7,3$. Оба землетрясения произошли в одной очаговой области, но имели различный механизм очага. Соответственно различными оказались и предвестники: за несколько дней перед первым землетрясением интенсивная аномалия радона наблюдалась в Гарме и незначительная — в районе Ташкента; перед вторым землетрясением интенсивная аномалия была в Ташкенте и слабая — в районе Гарма.

До сих пор речь шла о выборке землетрясений для поиска их корреляционной связи с аномальными признаками в пространственно-временных изменениях естественных геофизических, гидрогеологических и других полей Земли в изучаемом сейсмоактивном регионе. Эти аномалии характеризуют процесс подготовки землетрясения и обусловлены медленными деформациями земной коры, предшествующими землетрясению. Вместе с тем на характере вариаций тех или иных геофизических или гидрогеохимических величин существеннее сказываются динамические деформации, обусловленные прохождением под пунктом наблюдений сейсмических волн от уже случившихся землетрясений. Величина этих

деформаций также связана с размером очага и эпицентральной расстоянием.

В табл. 2 для различных по величине (K, M) событий приведены средние значения сейсмического эффекта (Θ) в эпицентре и максимальные значения эпицентральных расстояний (столбцы 2, 3... 8, 9), за пределом которых сотрясения почвы не превышают соответственно 2, 3, 4... или 9 баллов.

Параметры землетрясений выбираются аналогично предыдущим выборкам. Разница лишь в том, что в данном случае корреляционная связь землетрясений с аномалиями ищется в интервалы времени, сопутствующие землетрясениям или следующие за ними. Этой же таблицей можно пользоваться для определения зависимости величины аномалий от размера землетрясений и эпицентрального расстояния.

Поиск корреляции

При изучении влияния одних признаков на другие или их зависимости от третьих обычно выделяются два — факториальный и результативный. В условиях сейсмичности первый — это деформации земной коры, обуславливающие прогностические аномалии, а в итоге — само землетрясение. Следовательно, факториальным признаком можно считать прогностические аномалии, а результативным — землетрясения. При изучении же последствий землетрясений факториальным признаком будут сами землетрясения, а результативным — вызванные ими динамические деформации и аномальные вариации геофизических и других геополей. С другой стороны, и в первом случае землетрясение можно рассматривать в качестве факториального признака, поскольку цель наших исследований пока — не предсказание землетрясений, а апостериорный поиск и изучение особенностей их прогностических признаков.

Задача корреляции заключается в том, чтобы на основе большого исследовательского материала выявить, как варьирует в среднем результативный признак в связи с изменением данного фактора. Графическое изображение факториального и результативного признаков позволяет не только установить наличие или отсутствие связи между ними, но и изучить характер этой связи и ее тесноту. Например, откладывая вдоль оси абсцисс значения энергетического класса или магнитуды землетрясения, а вдоль оси ординат — амплитуды или периоды аномалий, обнаруженных перед каждым конкретным землетрясением, можно оценить связь этих величин. Обработав соответствующим образом совокупность точек на координатном поле, можно вычислить коэффициент корреляции, который определит тесноту этой связи или укажет на ее отсутствие.

Важно также обнаружить зависимость величины интервалов времени, за которые начинают появляться прогностические признаки, от размеров землетрясения и эпицентрального расстояния.

Интересно построить и такой график: по обеим координатным осям отложить в одинаковом масштабе время, затем какими-нибудь значками по оси абсцисс отметить моменты землетрясений, а по оси ординат — появление наиболее отчетливого прогностического признака. После этого, идентифицируя соответствующие пары значений, нужно нанести на координатную плоскость соответствующие результирующие точки. Очевидно, все они расположатся ниже отрезка прямой линии, проведенной из начала координат под углом в 45° . Оставшиеся, т. е. не нашедшие себе пару, точки на обеих осях следует выделить особым значком. Подсчитав все значки по оси абсцисс, мы получим количество всех землетрясений, отобранных заранее по нашей методике. Число значков по оси ординат за тот же интервал времени укажет на все количество удачных и неудачных прогнозов. Число первых определит количество точек на координатной плоскости. Выделенные особым значком точки на обеих осях координат — неудачи. В итоге, принимая за 100% все количество землетрясений за рассматриваемый интервал времени, следует определить процент «предсказанных» событий и числа всех прогнозов. Затем, принимая за 100% количество всех прогнозов, следует вычислить процент удачных «предсказаний». Проявляя вдумчивость и изобретательность, можно отыскать и другие полезные и интересные приемы поиска корреляции. Не следует, например, забывать, что в зависимости от величины землетрясения и его эпицентрального расстояния спережение прогностического признака может быть различным. Поэтому не исключена необходимость привлечения методов автокорреляции и, наконец, — электронно-вычислительной техники.

В заключение следует еще раз подчеркнуть, что только серьезный подход и строгий физико-математический анализ позволит исключить авантюристическое начало, еще не изжитое среди «искателей» предвестников землетрясений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Уломов В. И. О моделировании очагов тектонических землетрясений при помощи ультразвуковых излучателей. «Изв. АН СССР», сер. геофиз. 1961, № 2.
2. Каржаув Т. Г., Уломов В. И. Проявление современной тектоники и сейсмичность Кызылкумов. «Узб. геол. ж.», 1966, № 3.
3. Уломов В. И., Мавашев Б. З., О предвестнике сильного тектонического землетрясения. ДАН СССР, т. 176, 1967, № 2.
4. Уломов В. И. На пути к прогнозу землетрясений. «Земля и Вселенная», 1968, № 3.
5. Уломов В. И. Прогноз землетрясений. «Строительство и архитектура Узбекистана», 1974, № 8.
6. Уломов В. И. Динамика земной коры Средней Азии и прогноз землетрясений. Ташкент, 1974.
7. Уломов В. И. Газлийские землетрясения 1976 года и районирование сейсмической опасности на территории Западного Узбекистана. «Строительство и архитектура Узбекистана», 1976, № 8.

8. Scholz C. H., Sykes L. R. and Aggarwal Y. L. 1973. Earthquake prediction: a physical basis. *Science*, 181: 803—810.
9. Саваренский Е. Ф. (ред.). Поиск предвестников землетрясений, Международный симпозиум. Ташкент, 1974.
10. Уломов В. И., Вишняцкий Г. Б., Жумабеков У. Инструментальные наблюдения за развитием трещиноватости в зоне Центрально-Кызылкумских поднятий, «Узб. геол. ж.», 1976, № 6.
11. Уломов В. И. Методика поиска прогностических признаков землетрясений. Информационное сообщение № 186 АН УзССР, Ташкент, 1977.