

DOI:10.26104/NNTIK.2023.35.87.013

Данабаева А.Т., Сыдыков А., Кусаинов А.С.

**ЖОНГАРИЯНЫН КҮЧТҮҮ ЖЕР ТИТИРӨӨЛӨРҮНҮН СЕЙСМИКАЛЫК
МААЛЫМАТТАРЫН СТАТИСТИКАЛЫК ТАЛДОО**

Данабаева А.Т., Сыдыков А., Кусаинов А.С.

**СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ
СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ЖОНГАРИИ**

A. Danabayeva, A. Sydykov, A. Kussainov

**STATISTICAL ANALYSIS OF SEISMIC DATA OF STRONG
EARTHQUAKES OF ZHONGARIA**

УДК: 550.348

Сейсмикалык режимдин сандык модели, жер титирөөнүн убактысы, аянты жана энергиясы боюнча таралышынын схемалары сейсмикалык коркунучту баалоо жана жер титирөөлөрдү болжолдоо боюнча практикалык маселелерди чечүү үчүн зарыл. Бул эмгекте Жонгар-Бороохор аймагынын сейсмикалык режимин изилдөөнүн натыйжалары берилген. Кыйратуучу жер титирөөлөрдүн очокторунун пайда болуусунун эки сызыктуу зонасы аныкталып, аймактын сейсмикалык активдүүлүгүндө активдешүү жана тынч мезгилдердин бар экендиги көрсөтүлгөн. Чыныгы сейсмикалык процесс үчүн топтоого тенденция өзгөчө эмес, эреже экени көрсөтүлгөн. Күчтүү жер титирөөлөр жалпысынан тынчтык мезгили менен бөлүнгөн топтордо пайда болот. Каталогдун жарым автоматташтырылган маалыматтарын иштетүү тутумунун колдонулушу көрсөтүлөт, ал баитанкы талдоо, маалыматтарды сорттоо, консолидацияланган жана кумулятивдүү отчетторду түзүү, андан ары болжолдоочу талдоо үчүн маалыматтардын үлгүсүн түзүү, анын ичинде Бениоф диаграммаларын түзүү үчүн колдонулат.

Негизги сөздөр: Жонгаро-Бороохорский регион, сейсмический режим, сейсмоактивные зоны, очаги землетрясений, сейсмическая опасность

Количественная модель сейсмического режима, закономерности распределения землетрясений по времени, по площади и по энергии необходимы для решения практических задач оценки сейсмической опасности и прогноза землетрясений. В данной работе приводятся результаты изучения сейсмического режима Жонгар-Бороохорского региона. Выделены две линейные зоны возникновения очагов разрушительных землетрясений и показано существование периодов активизации и затихия в сейсмической деятельности региона. Показано, что для реального сейсмического процесса тенденция к группированию является скорее правилом, чем исключением. Сильные землетрясения в основном происходят группами, которые во времени разделены периодами покоя. Показано применение полу-автоматизированная система обработки данных каталогов, используемая для первичного анализа, сортировки данных, генерации консолидированных и накопительных отчетов, создания выборки данных для дальнейшего прогностического анализа, в том числе для построения диаграмм Бенъоффа.

Ключевые слова: Жонгаро-Бороохорский регион, сейсмический режим, сейсмоактивные зоны, очаги землетрясений,

сейсмическая опасность.

A quantitative model of the seismic regime, patterns of distribution of earthquakes in time, area and energy are necessary for solving practical problems of assessing seismic hazard and predicting earthquakes. This paper presents the results of studying the seismic regime of the Zhonggar-Borokhor region. Two linear zones of the occurrence of sources of destructive earthquakes are identified and the existence of periods of activation and calm in the seismic activity of the region is shown. It is shown that for a real seismic process the tendency for grouping is the rule rather than the exception. Strong earthquakes generally occur in groups which are separated in time by periods of inactivity. The application of a semi-automated catalog data processing system is shown, and used particularly for primary analysis, data sorting, generation of consolidated and cumulative reports and creating a data sample for further predictive analysis, including for constructing Benioff diagrams.

Key words: Zhonggar-Borokhor region, seismic regime, seismically active zones, earthquake sources, seismic hazard

Введение. Жонгарский Алатау есть горная система, расположенная на границе Жетысуской области РК и Синьцзяно-Уйгурского автономного района (СУАР) КНР между восточной частью южного Прибалхашья, рекой Или и озером Алаколь. Она в основном состоит из двух горных цепей: Северная Жонгария, которая протягивается с запада на северо-восток вдоль границы РК и КНР, и южная, которая протягивается с запада на восток в близширотном направлении. На территории СУАР она соединяется с западными отрогами хребта Боро-Хоро, которой прослеживается до города Урумчи. В Жонгарском Алатау расположена часть территории Казахстана, которая характеризуется различными специфическими сейсмическими условиями. Здесь особое внимание обращает на себя сейсмическая активность Жонгар-Балхашского региона, где в ближайшем будущем планируется интенсивное освоение территории и рост численности населения. В этой связи, изучение закономерностей распределения землетрясений во времени, по площади и по энергии имеет важное значение для

создания количественной модели сейсмического режима, а также для решения практических задач оценки сейсмической опасности и прогноза землетрясений.

ВВА макрос интерпретирующий сейсмические события в виде высвобождения накопленных деформаций, количественно определяемых в методе Г.Беньоффа [1], был применён к анализу землетрясений Жонгар-Балхашского региона зарегистрированных в используемых каталогах. Считается, что землетрясение вызывается упругой отдачей объема горных пород. В первом приближении накопленная энергия полностью превращается в энергию сейсмических волн. Сброс накопленной деформации происходит преимущественно в течение активных периодов времени с интервалами, в которых сейсмическая активность мала или вообще отсутствует. Мы использовали методику для изучения пространственно-временных закономерностей распределения сильных землетрясений на территории Жонгаро-Боро-Хоринского региона. Результаты исследований приведены в данной статье.

Материалы и методы. Информационную основу проводимых исследований составили каталоги сильных и слабых землетрясений юга и юго-востока Казахстана и сопредельных территорий, составленные в ИС МОН РК. Кроме того, привлекался унифицированный каталог землетрясений Тянь-Шаня, созданный в результате совместных исследований сейсмологов Казахстана, Кыргызстана и Сейсмологического бюро СУАР КНР для разработки карты сейсмического районирования [1; 2], а также каталог землетрясений Центральной Азии и стран Черноморского бассейна [3]. Последнее уточнение каталога землетрясений Казахстана проведено в рамках выполнения международного проекта CASRI «Оценка сейсмического риска в Центральной Азии» [4].

Результаты исследований. На рисунках 1, 2 приведены карты эпицентров землетрясений с магнитудой $M \geq 4,8$ и $M \geq 6,1$, соответственно, которые произошли на этой территории с древнейших времен (250 г. до нашей эры) по 2022 г. Очаги разрушительных землетрясений ($M \geq 6,1$) представлены в виде эллипсов с учетом их простирания и размеров [2].

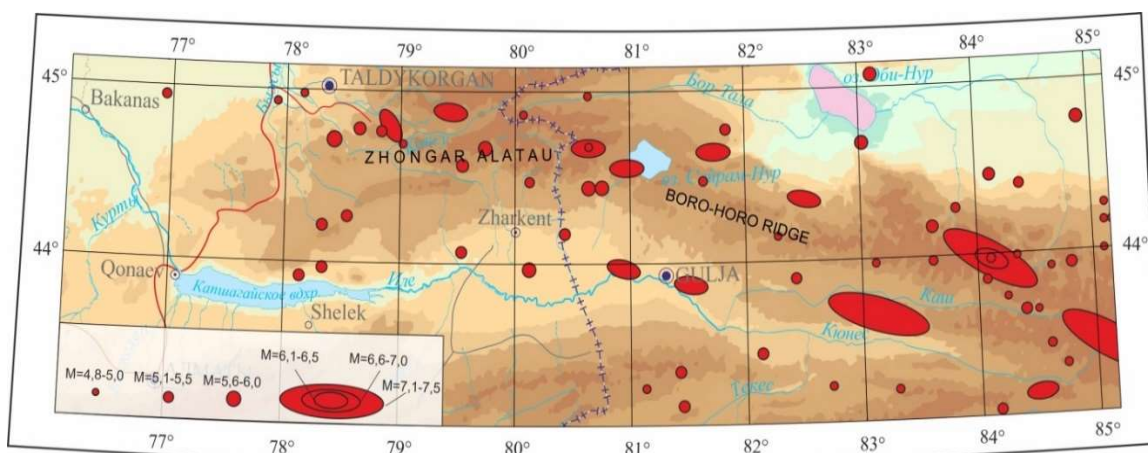


Рис. 1. Карта эпицентров сильных землетрясений с $M \geq 4,8$ с древнейших времен по 2022 г.

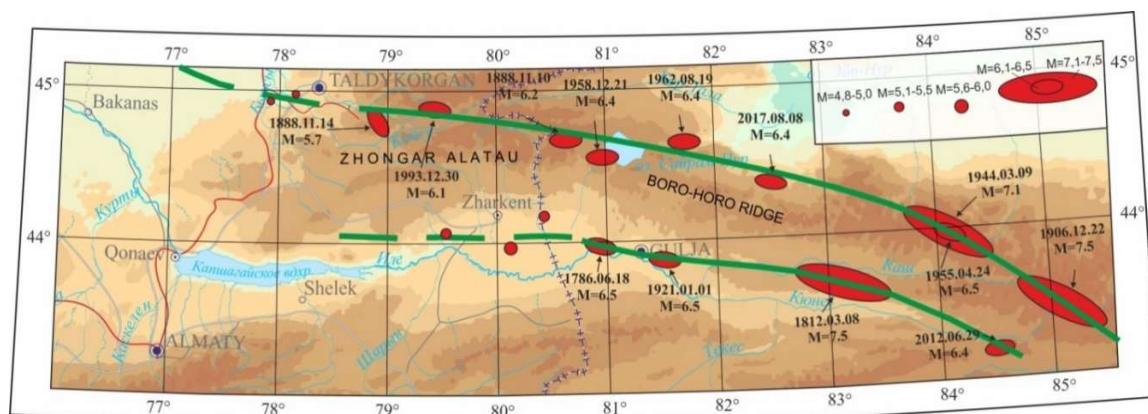


Рис. 2. Карта эпицентров разрушительных землетрясений с $M \geq 6,1$ с древнейших времен по 2022 г. и линейные источники сейсмической энергии: 1- по землетрясениям с $M \geq 6,1$; 2- по землетрясениям с $6,1 \geq M \geq 4,8$

Рисунок 1 показывает, что эпицентры землетрясений с $M \geq 4,8$ имеют большую рассеянность по площади. В пределах Северной Жонгарии отмечаются единичные эпицентры землетрясений с $M=4,8-5,5$ т.е., уровень сейсмической активности указанной зоны значительно ниже, чем Южной Жонгарии и хребта Боро-Хоро. Самые сильные землетрясения последних лет (1958, 1962, 2011, 2017 гг.) тяготеют к восточной части региона. С конца 1970-х годов наблюдается активизация западной части Жонгарии, когда произошли Баканасское 1979 г ($M=5,8$; $K=14$), Текелийские 1993 г. ($M=5,8$; $K=15$) и 2009 год ($M=5,5$; $K=13,9$) и другие менее сильные землетрясения. Наиболее разрушительные землетрясения Жонгаро-Боро-Хоринского региона происходили в 1812 г. ($M=7,5-8,0$), в 1906 г. ($M=7,5-8,0$) и в 1944 г. ($M=7,2$). Их эпицентры располагаются в пределах хр. Боро-Хоро на территории КНР.

Если же рассмотреть рисунок 2, где представлены эпицентры только разрушительных землетрясений $M \geq 6,1$, то увидим, что азимуты практически всех очагов простираются с северо-запада на юго-восток, а по площади они организуют две линейные зоны (зеленые кривые), иными словами, линейные источники сейсмической энергии, вытянутые также с северо-запада на юго-восток. Выделенные линейные зоны (источники сейсмической энергии), оконтуривают с севера и с юга Жонгаро-Боро-Хоринскую горную систему. Первая из них (северная) протяженностью около 800 км начинается от $85^{\circ}20'$ меридиана и прослеживается в северо-западном направлении до $77^{\circ}20'$ меридиана. Она образована очагами девяти землетрясений с $M \geq 6,1$. Другая зона (Южная) также начинается с 85 -го меридиана и прослеживается в северо-западном направлении до г. Кульджа и далее меняет направление на близширотное и по 44 -ой широте продолжается на запад в сторону г. Конаев. Длина ее составляет порядка 700 км. Максимальная магнитуда землетрясения, произошедшего в обеих зонах равна $7,5-8,0$. Все они располагаются в пределах хребта Боро-Хоро восточнее 83 -го меридиана, а западное от него величина магнитуды произошедших землетрясений уменьшается сначала до $6,1-6,5$ и далее до $5,5-6,0$.

Выявленная на рисунке 2 площадная организация эпицентров (вдоль определенных линий) имеет соответствие с аналогичной организацией эпицентров на территории Северного Тянь-Шаня, установленной ранее в работах [2; 3; 5-8]. Таким образом, пространственное расположение эпицентров силь-

ных землетрясений в изучаемом регионе позволяет сделать вывод о наличии двух линейных источников сейсмической энергии, которые оконтуривают Жонгаро-БороХоринскую горную систему с юга и с севера. Выделенные зоны с высокой степенью вероятности могут быть местами возникновения будущих сильных и разрушительных землетрясений на этой территории.

Нами был написан VBA макрос, производящий первичный статистический анализ комплексных баз данных землетрясений в виде сводной таблицы Excel [9]. База данных представляет собой классический, последовательный, набор записей, всего 190730 строк, индивидуальных событий, упорядоченных по годам в порядке возрастания, от 2000 года до нашей эры, до конца 2022 года.

Географические координаты событий, попадают в прямоугольник с координатами $36^{\circ}04'48.0''N$ $42^{\circ}54'00.0''E-72^{\circ}54'00.0''N$ $100^{\circ}13'12.0''E$ В базе данных, по столбцам, представлена детальная информация о дате события, включая год, месяц, день, часы, минуты и секунды, широте и долготе, глубине залегания эпицентра, энергетическом классе K_p , двух видах магнитуд, M_s и M_{PVL} (магнитуда по поверхностным и объемным волнам), а также данные о принадлежности этого события к афтершокам, и информационный источник, из которого это событие было включено в консолидированную базу данных. Первоочередной задачей первичной обработки данных для его дальнейшего анализа, является получение статистической информации о количестве событий того или иного энергетического класса или магнитуды, сгруппированной по годам, и/или, в случае необходимости большего временного разрешения, месяцам и дням для того или иного региона.

При этом решаются численные задачи выборки и сортировки, которые при нашем ограниченном размере последовательности данных успешно реализуются стандартными условными и циклическими конструкциями встроенного в Excel языка программирования VBA, (рис. 2).

Справа от консолидированного отчета, на том же листе Excel, организован вывод табличных данных накопительных величин (приводятся накопительные данные по каждому классу землетрясений в порядке возрастания) и данных с обращенным накоплением (те же данные в порядке убывания) (см. заголовки таблиц, выделенные голубой и зеленой заливкой на рисунке 3).

1	A	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR			
2	Year	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	TOTAL	187278	2022	<4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	<4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			
3	1928							1		1					2																					2517	5244	7049	3258	1557	478	168	72	35	6
4	1930								1		1				2																					2517	5244	7049	3258	1557	478	168	72	34	6
5	1931							1							1																					2517	5244	7049	3258	1557	478	168	72	33	6
6	1932							2		1					3																					2517	5244	7049	3258	1557	478	168	71	33	6
7	1935							1		1					2																					2517	5244	7049	3258	1557	478	168	69	33	5
8	1936							1		1					2																					2517	5244	7049	3258	1557	478	168	69	32	5
9	1937							1		1					2																					2517	5244	7049	3258	1557	478	168	69	31	4
10	1938							2							3																					2517	5244	7049	3258	1557	478	168	68	30	4
11	1939							1		1					2																					2517	5244	7049	3258	1557	478	168	66	30	4
12	1940							2		2					4																					2517	5244	7049	3258	1557	478	168	65	29	4
13	1944							1							1																					2517	5244	7049	3258	1557	478	168	63	27	4
14	1945								2		1				3																					2517	5244	7049	3258	1557	478	168	62	27	4
15	1946							1		1					2																					2517	5244	7049	3258	1557	478	168	62	25	4
16	1947							1		1					2																					2517	5244	7049	3258	1557	478	168	62	24	3
17	1948							1		2					3																					2517	5244	7049	3258	1557	478	167	62	23	3
18	1949							1		1					2																					2517	5244	7049	3258	1557	478	166	60	23	3
19	1950							1		3		1			6																					2517	5244	7049	3258	1557	478	166	59	22	3
20	1951							5		27		23		9	3	68																				2517	5244	7049	3258	1557	477	163	58	21	3
21	1952							7		32		27		2	70																					2517	5244	7049	3253	1530	454	154	55	20	3
22	1953							1		18		24		2	60																					2517	5244	7049	3246	1498	427	152	53	20	3
23	1954							20		24		9		2	56																					2517	5244	7048	3228	1474	414	150	51	20	3
24	1955							1		29		34		4	83																					2517	5244	7048	3208	1450	405	148	50	20	3
25	1956							21		33		12			67																					2517	5244	7047	3179	1416	392	144	48	20	3
26	1957							13		24		10		3	52																					2517	5244	7047	3158	1383	380	144	48	19	3
27	1958							22		29		17		4	74																					2517	5244	7047	3145	1359	370	141	48	17	3
28	1959							20		41		6		2	72																					2517	5244	7047	3123	1330	353	137	46	17	3
29	1960							1		22		37		17	84																					2517	5244	7047	3103	1289	347	135	44	16	3
30	1961							4		32		24		3	65																				2517	5244	7046	3081	1252	330	129	43	16	3	
31	1962							1		14		4		1	20																					2517	5243	7042	3049	1228	327	128	43	16	3
32	1963							1		29		9		4	44																				2517	5243	7042	3048	1214	323	127	43	16	3	
33	1964							10		30		15		5	63																				2517	5243	7041	3019	1205	319	127	42	16	3	
34	1965							12		46		29		16	108																				2517	5243	7031	2989	1190	314	125	41	16	3	

Рис. 3. Простая статистика данных по годам, накопительная статистика по годам для каждого класса землетрясений и обращённая накопительная статистика.

По двум последним таблицам, дано построение накопительных графиков, с автоматическим обновлением, позволяющих быстро оценить качество текущей выборки данных и выбрать временной период представительных энергетических классов землетрясений для дальнейших вычислений (рис. 4).

Показанные таблицы и графики представляют собой первичный материал для построения кривых повторяемости, линий тренда и дальнейшего прогностического анализа данных по землетрясениям, см. рис. 5 следующего листа в рабочей книге Excel.

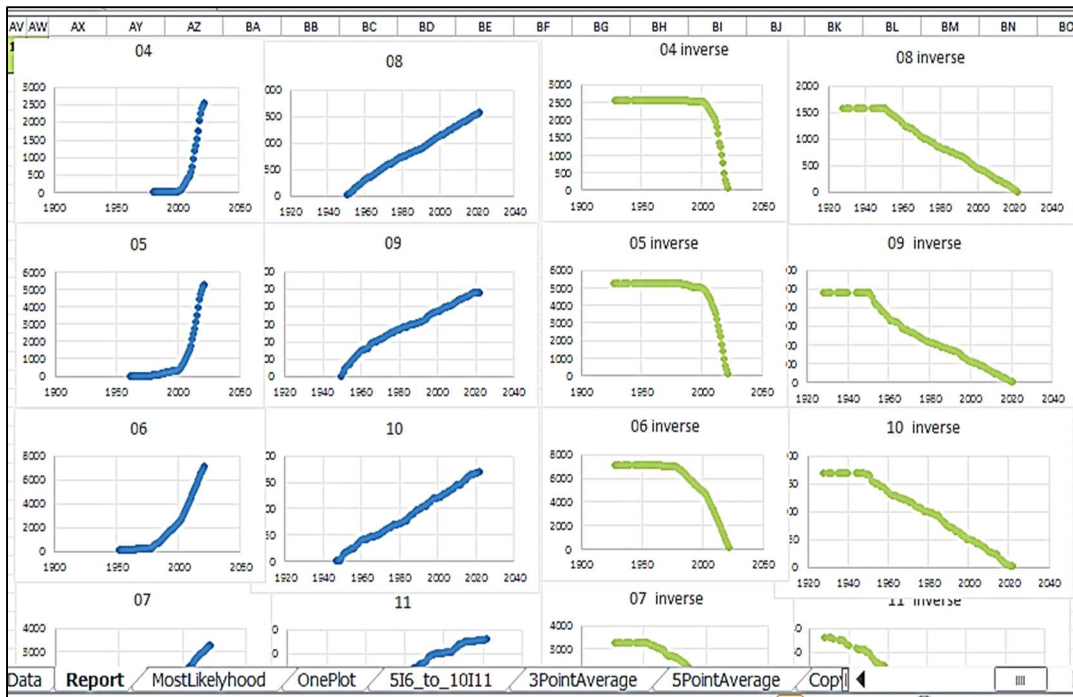


Рис. 4. Графики накопительной и обратной ей статистики для каждого класса землетрясений построенные по данным таблиц рисунка 2.

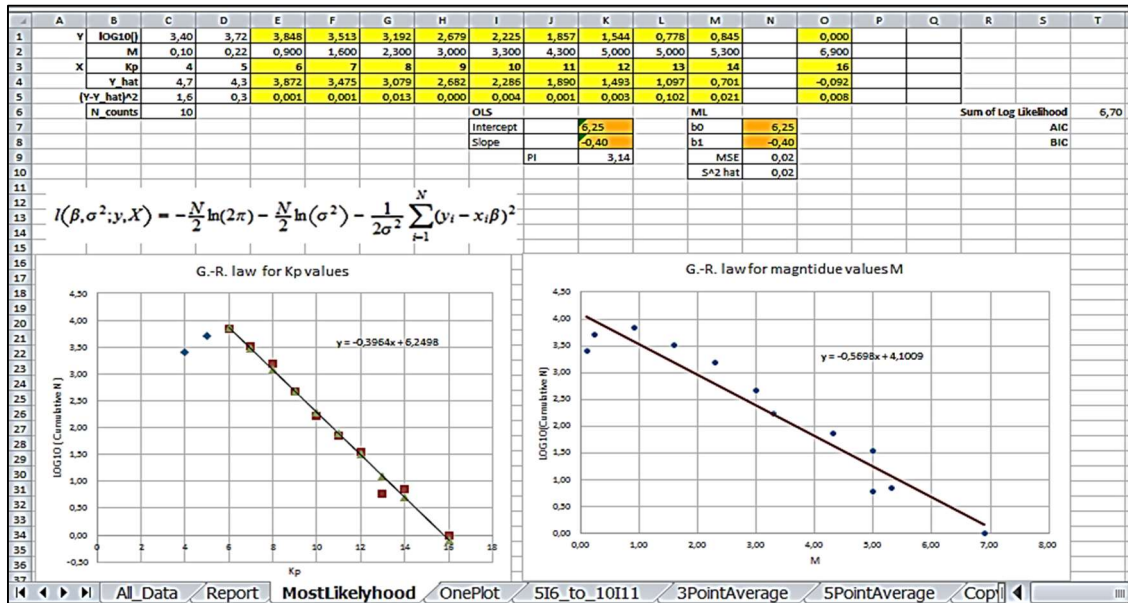


Рис. 5. Графики повторяемости землетрясений, построенные для значений магнитуд и энергетических классов землетрясений и построение линий тренда.

На этот лист, данные по количеству землетрясений были перенесены по-автоматически обновляемой ссылке с предыдущих таблиц и использованы для вычисления значений γ - соответствующей углу наклона линии тренда (линейной регрессии).

Показанные линии тренда для нахождения γ получены методом наименьших квадратов, методом наиболее вероятного (использован встроенный в Excel модуль Solver), а также встроенным в Excel инструментом для построения линий тренда (тот же

самый метод наименьших квадратов).

Некоторые исследователи [10, 11], приписывают определенную предсказательную функцию диаграммам Бенъоффа [12] и их модификации. Для построения диаграмм Бенъоффа, см. Рис.6., нами была реализована модификация того же VBA макроса, с сохранением модификация того же VBA макроса, с сохранением поискового, сортирующего и анализирующего ядра с теми же основными механизмами, как и в предыдущих вычислениях, с дополнительным пересчетом энергии деформации по формулам (1).

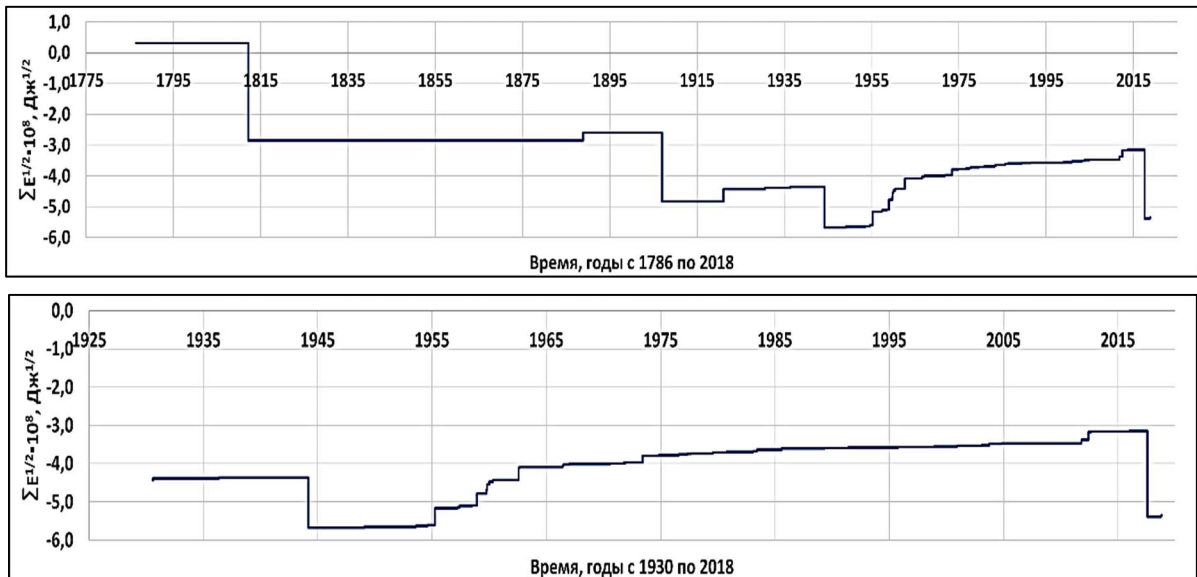


Рис. 6. Пример диаграммы Бенъоффа построенной по выборке землетрясений для Джунгарского региона. В построении диаграммы использованы все землетрясения с энергетическим классом $K_p \geq 12$. Знак энергии деформации менялся на отрицательный для событий с $K_p \geq 16$. Верхний рисунок-вся последовательность событий с 1976 по 2018 год, нижний-увеличенный масштаб промежутка тех же данных с 1930 по 2018 год.

Принцип построения диаграмм Беньюффа основывается на факте, что параметру магнитуды землетрясения или его энергетическому классу приписывается определенное значение энергии деформации [13, 14]. Выбранный подход полагает что одни события условно сопровождаются накоплением деформаций, например слабые землетрясения, а другие их условно одномоментным сбросом, например сильные землетрясения. На выбор исследователя, первому значению энергии деформации можно присвоить положительный знак, а второму, т.е. сильным землетря-

сениям, отрицательный.

Относительно полезной функций такого присваивания знака энергии деформации в зависимости от его энергетического класса, является возможность разместить весь временной ряд событий на одном компактном графике, ограниченном в вертикальном росте. На рисунке 6, был представлен пример такого анализа для Джунгарии.

По шкале ординат отложена сумма значений корня квадратного от энергии деформации для каждого события рассчитанное обращением формулы:

$$K_i = \log_{10}(E_i),$$

$$E_i = 10^{K_i}, \text{ Дж}, \tag{1}$$

$$\Sigma \sqrt{E_i} = 10^{K_i/2}, \text{ Дж}^{1/2}.$$

Здесь K_i – энергетический класс i -го землетрясения, удовлетворяющего условиям выборки.

По шкале абсцисс откладывается значения лет содержащих или не содержащих интересующие нас события.

Географические параметры региона задаются координатами полигона, вводимыми на отдельном листе и используются VBA макросом при поиске событий, принадлежащих исследуемой области, см. рис. 7, т.е. для определения географии области, в которой производится наблюдения и анализ, макрос последовательно сканирует значения столбцов «А» и «В» начиная с первой пары значений широты и долготы, и заканчивая последней замыкающей нуле-

вой строкой, совпадающей своими значениями с первой строкой. Эти значения сгруппированные попарно, формируют ребра полигона. В результате работы макроса на изображение полигона наносятся найденные события, а также приблизительное вычисление его площади в ячейку «D1». Для определения принадлежности точки/события этому полигону был реализован классический алгоритм подсчета количества раз, которое луч, проведенный из проверяемой точки, пересечет ребра полигона [15]. Четное количество раз соответствует точке, лежащей за полигоном, в то время как нечетное количество раз пересечения ребер соответствует точке, лежащей за полигоном.

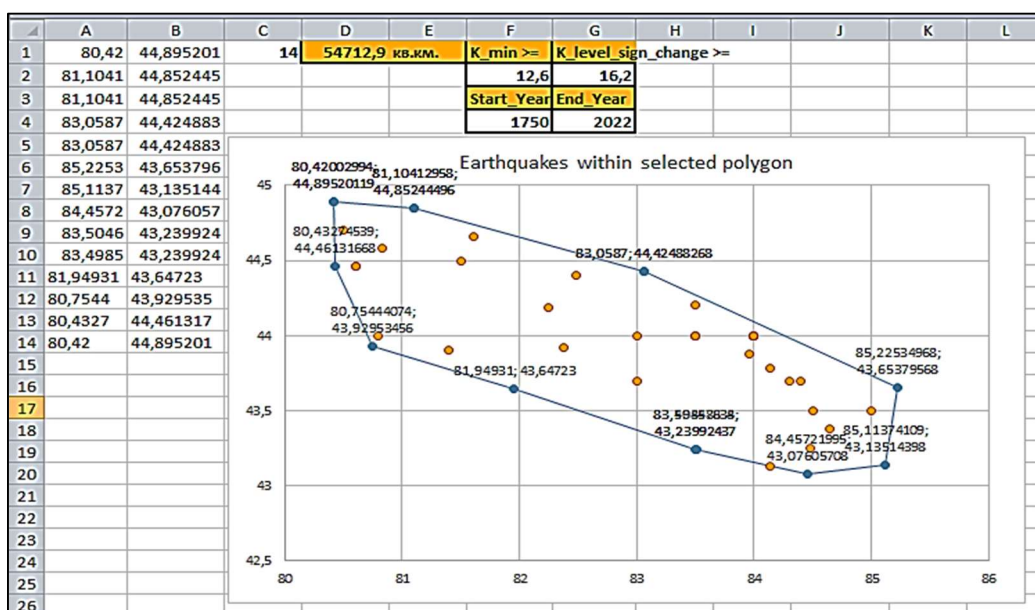


Рис. 7. Excel лист входных данных для анализируемого региона, включающий в себя географические координаты полигона, управляющие ячейки для выборки событий по годам и энергетическим классам.

Две управляющие ячейки, «D1» – для минимального энергетического класса землетрясений, и «G2» – для значения, при котором энергия деформации меняет свой знак на минус активны на этом же Excel листе. Годы выборки анализируемых событий, определяются значениями ячеек «F4» и «G4» для года начала и года завершения наблюдений соответственно. Дополнительно, методом прямоугольников для численного интегрирования, подсчитывается и пишется в ячейку «D1» площадь анализируемого региона в квадратных километрах. Ячейка «C4» содержит контрольную сумму всех ненулевых строк диапазона «A1:B14». Полученная выборка событий, удовлетворяющая всем условиям поиска, автоматически наносится на рисунок полигона для дополнительного контроля.

Увеличение вычислительной нагрузки, с включением пересчёта энергии деформации для каждого события, тем не менее потребовало простейшей оптимизация алгоритма сортировки баз данных. Так, каждый новый поиск, для выбранного года, стартует с позиции, на которой закончился предыдущий поиск, и заканчивается последней записью таблицы, содержащей актуальный год без избыточного сканирования всей базы данных. На этом поиск информации для данного года прекращается, используя тот факт, что база данных упорядочена, и все записи для данного года сгруппированы локально и конечны количеством.

Выводы. На территории Жонгаро-Боро-Хоринского региона выделены две линейные зоны возникновения разрушительных землетрясений. Показано, что сейсмический режим региона имеет циклический характер, который состоит из периодов активизации и затишья. Иными словами, развитие сейсмического процесса во времени характеризуется сменой периодов накопления и разрядки упругих деформаций, что может быть использовано для долго-и среднесрочного прогноза сильных землетрясений.

Показана эффективность применения средств первичной обработки данных с использованием VBA макросов и встроенных инструментов Excel как для статистического анализа сейсмического режима региона, так и для первичного прогноза повторяемости событий в данном регионе по методу Бенъоффа.

Работа выполнена в рамках грантового проекта «Выявление вариаций параметров верхних геосфер в периоды подготовки землетрясений для улучшения оценки и прогнозирования сейсмической обстановки на территории Казахстана», шифр программы

AP19677977. Источник финансирования – Министерство образования и науки Республики Казахстан.

Литература:

1. Джанузаков К.Д., Шукурова Р., Власова А.А. и др. Каталог землетрясений Тянь-Шаня. // *Inland earthquake*, 1997. - Том 11. - С. 183.
2. Сыдыков А. Сейсмический режим территории Казахстана. // Гылым, Алматы 2004. - С. 270.
3. Уломов В.И. Шумилина Л.С. Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации - ОСР-97. Масштаб 1:8000000. Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах. - М.: ОИФЗ, 1999. – С. 57.
4. Абдрахматов К.Е., Кальметьева З.А., Михайлова Н.Н. и др. Сейсмологическая база данных Центральной Азии как основа изучения региональных геодинамических процессов. / Напряженно-деформированное состояние земной коры. Геодеформационный процесс и сейсмичность. / Тезисы докладов международного симпозиума. – Бишкек. 2008. – С. 297-302.
5. Sydykov A. Regularities of seismic manifestation and long-time prediction of strong earthquake of the North Tien Chan. / *Proceedings of the 3-rd Inter. Symp. on the Analysis of Seismicity and Seismic Risk Liblice, Czechoslovakia*.1985. - P.100-104.
6. Smalley R.F., Chatelain J.L., Turcotte D.L., Prevot R.A. Fractal approach to the clustering of earthquakes: application to the seismicity of the New Hebrides. // *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, 1987. 77. N4. P. 1368-1381.
7. Chen Zhungli. Достижения в изучении землетрясений в Китае за последние 30 лет. // *Earthquake Research in China*. 1996. - V.1. - N1.
8. Садыкова А.Б. Сейсмическая опасность территории Казахстана. - Алматы, 2012. – С. 267.
9. Сейсмические наблюдения // Товарищество с ограниченной ответственностью «Сейсмологическая опытно-методическая экспедиция» МЧС Республики Казахстан. - Алматы, 2023. Дата обнов.: 06.11.23. URL: <http://www.some.kz/index.php?outlang=1> (дата обрац.: 25.11.2023).
10. Kawada Y., Nagahama H. Cumulative Benioff strain-release, modified Omori's law and transient behaviour of rocks // *Tectonophysics*, 2006. - V. 424, Issues 3-4. - P. 157-166.
11. Трофименко С.В. Статистические пространственно-временные модели сейсмичности. // *Вестник ЯГУ*. 2010, Т.7. - №2. - С. 48-55.
12. Benioff H. Crustal strain characteristics derived from earthquake sequences // *Trans. Am. Geophys. Union*. 1951, №32, P.508-514.
13. Varnes D.J. Predicting earthquakes by analyzing accelerating precursory seismic activity // *Pure Appl. Geophys*. 1989, V.130. - P. 661-686.
14. Bufe D.G., Nishenko S.P., and Varnes D.J. Seismicity trends and potential for large earthquakes in the Alaska-Aleutian region // *Pure Appl. Geophys*. 1994, v. 142, P. 83–99.
15. Филиппов А.Ф. Элементарное доказательство теоремы Жордана // *ФУМН*. 1950, Т. 5, № 5 (39), С. 173-176.