

Учёные записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского.
География. Геология. Том 3 (69). № 2. 2017 г. С. 218–242.

УДК 550.3:355/359:004.9

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ И ВОЙНЫ. СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ.

МОДЕЛИРОВАНИЕ

Кульчицкий В. Е.

Государственное автономное учреждение Республики Крым «Крымский экспертный совет по оценке сейсмической опасности и прогнозу землетрясений», Симферополь, Российская Федерация

E-mail: vekkes@rambler.ru

В статье представлены результаты количественного анализа землетрясений и войн. Анализ закономерностей и тенденций, присущих землетрясениям, историческим битвам и сражениям Западной и Центральной Европы за период XIII–XIX вв., показывает их сходство по многим однотипным параметрам. На основе разработанных автором клеточно-автоматных моделей проведен численный расчет каталогов модельных землетрясения и военных сражений. В объеме представленной информации результаты моделирования соответствуют всем приведенным эмпирическим закономерностям и тенденциям. Делается вывод о том, что землетрясения и войны можно описывать феноменологическими моделями одинаковой структуры с различными источниками.

Ключевые слова: землетрясения, войны, битвы, сейсмичность, моделирование, клеточные автоматы.

ВВЕДЕНИЕ

Среди различных явлений природы выделяется особый класс, который можно назвать классом экстремальных явлений. Это пробой в диэлектриках при высоких напряжениях, взрыв атомной бомбы при достижении критической массы, различные химические взрывные реакции, эпидемии и многие другие явления.

В геофизическом среде к экстремальным явлениям относятся землетрясения. В историческом процессе также встречаются экстремальные явления: вооруженные конфликты – войны и революции. Они отличаются от иных исторических событий тем, что за короткое время насильственно лишаются жизни тысячи людей. По данным Урланиса Б., число погибших от войн в XVII веке составило 950 тысяч человек, в XVIII веке – около 1.5 млн человек, в наполеоновских войнах людские потери составили около 900 тыс. [1]. История человечества – это, в основном, история войн.

Обе среды – геофизическую и социум – можно рассматривать как некоторые различные по своей природе открытые динамические системы. Землетрясения и войны как раз дают возможность количественного изучения свойств этих сред.

Как будет показано ниже, между сейсмическими и экстремальными историческими событиями – сражениями и битвами – наблюдается сходство количественных закономерностей и тенденций однотипных параметров. Естественно, в этом сходстве нет оснований усматривать причинную связь между столь разными по природе событиями. В самом деле, сходство этих событий прослеживается из простых интуитивных соображений. В геофизических средах состояние среды можно количественно описать некоторой энергетической величиной – плотностью внутренней энергии. При достижении этой величины критического энергетического уровня («энергетической прочности» по

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ И ВОЙНЫ. СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ. МОДЕЛИРОВАНИЕ

терминологии Ризниченко Ю. В. [2]) происходит быстрый переход на нижний энергетический уровень с высвобождением энергии. Это событие мы называем землетрясением. В социуме наблюдаются аналогичные явления. В процессе накопления социального «напряжения» может быть реализовано такое состояние, когда «напряжение» достигает предельного уровня и происходит его «разрядка» в виде войны или революции. Эти соображения послужили стимулом для количественного изучения вооруженных конфликтов и построения адекватных математических моделей.

1. ИССЛЕДУЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ СЕЙСМИЧНОСТИ И ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ИСТОРИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ

1.1. Землетрясения

Будем описывать коровые землетрясения множеством точек в четырехмерном пространстве: двумя пространственными координатами (географическими координатами эпицентров: φ – широта, λ – долгота), t – временами возникновения землетрясений, M – магнитудами. Для упрощения задачи можно не учитывать глубин и размеров очагов землетрясений, так как их величины значительно меньше размеров сейсмических регионов. Таким образом, землетрясение будем описывать в четырехмерном дискретном пространстве параметров (t, φ, λ, M) .

1.2. Войны

Характер ведения войн различен в зависимости от исторического этапа и уровня развития цивилизации человечества, региона, этнического и религиозного состава населения, техники и искусства ведения войн. В грубом приближении наиболее однородным является регион Западной и Центральной Европы доиндустриального исторического периода.

Войны отличаются от других социальных катаклизмов достаточной длительностью. Как правило, война состоит из ряда военных относительно кратковременных действий, которые принято называть битвами, сражениями, вооруженными столкновениями. Будем рассматривать, следуя классификации Дюпуи Т. [3], два вида военных действий: битву и бой, которые решают оперативные и тактические задачи соответственно. Как показывает опыт выполнения таких задач, времена реализации битв иногда составляют недели, боев – несколько дней. В соответствии с этой классификацией, количество сражающихся исчисляется десятками и сотнями тысяч человек. В предлагаемой работе под «вооруженными конфликтами» будем понимать относительно кратковременные (несколько часов или дней) вооруженные столкновения противоборствующих сторон, в которых участвуют десятки и более тысяч воинов. Таким образом, рассматриваются вооруженные столкновения достаточно большого масштаба. Можно пренебречь пространственными и временными «размерами» этих событий (ареной поля боя и длительностью сражения) и полагать их пренебрежимо малыми по сравнению с размерами территорий и интервалами времен, на которых

мы их изучаем. Понятию «вооруженный конфликт» придадим математический смысл, будем описывать, как и землетрясение, двумя пространственными координатами (географическими координатами центра поля сражения: φ – широта, λ – долгота), t – временем начала сражения. В качестве динамического параметра нам представляется разумным выбрать величину S – общее количество участников сражения [4]. Таким образом, военное событие (битва, бой) можно описать точкой в четырехмерном пространстве параметров (t, φ, λ, S) . Поскольку в настоящей работе приводятся сравнительные характеристики множества землетрясений и вооруженных столкновений, будем в дальнейшем называть их кратко – «событиями». На графиках для краткости, вместо «вооруженные столкновения», будем обозначать «битвы».

1.3. Исходные данные

Для работы с информацией, полученной из наблюдений, необходим правильный выбор репрезентативного материала. В зависимости от условий наблюдений, техники эксперимента и других особенностей получения и обработки информации, данные неоднородны по своему составу. Репрезентативность предполагает выбор однородного и значимого материала.

Сейсмичность на земном шаре распределена неравномерно. Отдельные, относительно изолированные друг от друга сейсмические области называются сейсмическими регионами. В данной статье используются, в основном, материалы исследования сейсмичности Крымско-Черноморского региона. Закономерности для Крымско-Черноморского региона, которые здесь представлены, характерны не только для этого региона. Источником информации о землетрясениях Крымско-Черноморского региона служили монография [5], периодические публикации каталогов Крымско-Черноморского региона, База данных землетрясений Крымско-Черноморского региона [6]. В настоящей работе использована репрезентативная информация о землетрясениях Крымско-Черноморского региона из наиболее сейсмоактивного его участка с координатами $\varphi=43.5^0-45.5^0$, $\lambda=31.5^0-36.0^0$, время наблюдений с 1955 по 2016 гг., количество репрезентативных землетрясений с магнитудой $M \geq 0.75$ равно 1286. Были использованы также данные о землетрясениях некоторых регионов Земли.

Сведения о вооруженных конфликтах мировой истории рассеяны по многочисленным источникам. Данные о военных событиях чрезвычайно разнородны. Особенно это касается древней истории. При анализе репрезентативности исторической информации были использованы многочисленные источники [7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 и др.]. Проводился критический анализ информации о каждом событии, предпочтение отдавалось источникам, которые ранее подвергались критическому анализу. Кроме того, большая степень доверия относилась к опубликованным независимым первичным источникам, учитывалась величина разброса данных, особенно параметра S , по различным источникам для каждого события и т. д. В результате

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ И ВОЙНЫ. СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ. МОДЕЛИРОВАНИЕ

такого анализа для источников был определен индекс достоверности по пятибалльной шкале.

При выборе репрезентативной информации параметр S оказался жестко ограниченным снизу. На финальном этапе были отобраны события с такими ограничениями: по регионам – Западная и Центральная Европа, по времени – XIII–XIX вв., по параметру S – общее количество участников сражения – более 30000 человек. Информация о сражениях древней истории, раннего Средневековья, Азии и других континентов по указанным параметрам не отвечает требованиям репрезентативности. Экстремальные события XX века с двумя мировыми войнами не рассматривались, так как они относятся к индустриальному периоду, для которых, вероятно, требуются иные методы анализа.

В результате отбора был составлен каталог репрезентативных данных о 552 вооруженных конфликтах. Однако для многих событий имеется неполная информация, известно только время битвы. Нами собрана информация о 908 таких событиях для Западной и Центральной Европы за период XIII–XIX вв. Так как время сражений – наиболее достоверная величина, эта информация была использована при анализе временных свойств событий. Вся собранная информация была занесена в специально организованную базу данных.

2. ОСОБЕННОСТИ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И ВООРУЖЕННЫХ КОНФЛИКТОВ

2.1. Фрактальные свойства событий

В последние пять десятилетий в науку стали проникать фрактальные идеи. Понятия «фрактал» и «фрактальная размерность» введены Бенуа Мандельбротом в конце 60-х годов 20-го столетия [20]. Приведем нестрогое определение фрактала. «Фракталом называется структура, состоящая из частей, которые в каком-то смысле подобны целому» [21, стр.19]. Исследование различных объектов, имеющих естественную природу, показало, что множества этих объектов имеют фрактальную структуру. В настоящее время фрактальные методы широко используются в различных областях науки.

Основной количественной мерой фрактала является его фрактальная размерность. В зависимости от способа определения существует несколько фрактальных размерностей: подобия, клеточная, информационная, корреляционная [21, 22]. Фрактальные структуры отличаются от нефрактальных объектов тем, что имеют дробную фрактальную размерность.

Известно, что сейсмические процессы проявляют фрактальные свойства по всем трем компонентам: энергетической, пространственной и временной [23, 24, 25, 26, 27]. Фрактальные особенности сейсмических процессов Крымско-Черноморского региона описаны в монографии [28]. Наиболее отчетливо фрактальные свойства проявляются по энергетической компоненте. Параметры распределений землетрясений по магнитудам являются важнейшими характеристиками в сейсмологии. Эти распределения относятся к классу

экспоненциальных. Линейная часть распределения в логарифмическом масштабе оси ординат в сейсмологии носит название «закона Гутенберга – Рихтера» или «закона повторяемости землетрясений». Этот закон выполняется для землетрясений любого сейсмического региона. На рисунке 1 приведен пример ненормированного кумулятивного графика повторяемости землетрясений Крыма. Кумулятивный график повторяемости вооруженных столкновений по параметру S представлен там же на рисунке 1. Как видно из рисунка 1, распределение землетрясений по магнитуде M и вооруженных столкновений по параметру S имеют один и тот же вид.

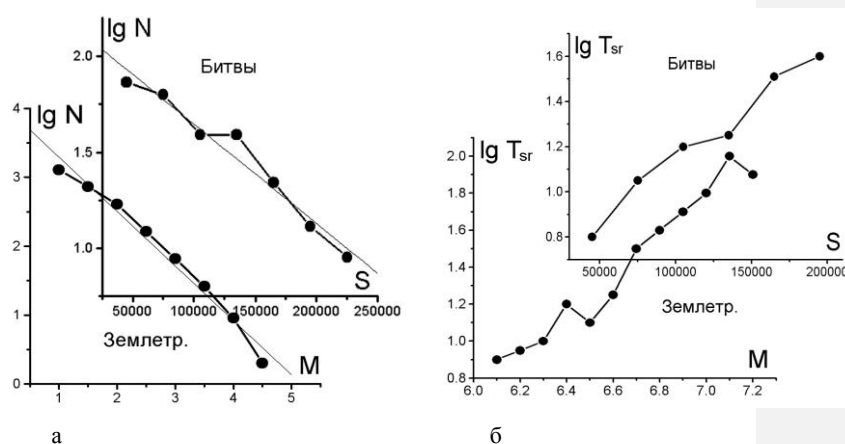


Рис. 1. Графики повторяемости землетрясений (Крымско-Черноморский регион) и вооруженных конфликтов (а) и зависимость средних промежутков времен T_{sr} от магнитуд M [29] и вооруженных столкновений от S (б). Тонкая линия – линейная аппроксимация зависимостей.

Фрактальная размерность событий для двумерного массива (распределения точек на поверхности) определялась по алгоритму, описанному в статье [30]. Аналогичную процедуру расчета фрактальной размерности можно выполнить и для одномерного (временного) массива. В таблице 1 представлены значения рассчитанных фрактальных размерностей рассматриваемых массивов землетрясений Крымско-Черноморского региона и множества битв мировой истории Западной и Центральной Европы XIII–XIX вв. Значения фрактальных размерностей этих массивов нецелочисленны, поэтому их можно отнести к классу фрактальных.

Таблица 1.

Значения фрактальных размерностей пространственной и временной компонент землетрясений Крымско-Черноморского региона и вооруженных столкновений Европы

Вид события	Пространственная компонента	Временная компонента
Землетрясения	1.545 ± 0.125	0.901 ± 0.003
Сражения	1.22 ± 0.16	0.81 ± 0.02

Таким образом, множества исследуемых событий имеют фрактальную структуру по энергетической (для землетрясений), по параметру S (для битв и сражений), по пространственной и временной компонентам.

2.2. Пространственно-временные свойства событий

Ниже приведены результаты анализа пространственно-временных характеристик событий и их зависимость от параметров M и S .

Поведение средних (T_{sr}), максимальных (T_{max}) промежутков времен, средних (R_{sr}), минимальных (R_{min}) расстояний для событий одного ранга (M и S) показано на рисунках 2–4.

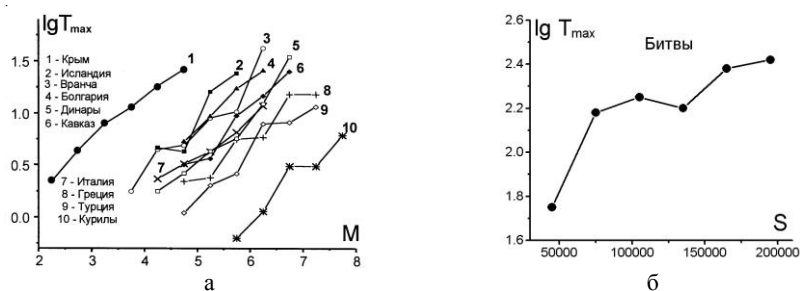


Рис. 2. Зависимость максимальных промежутков времен T_{max} от магнитуды M для землетрясений [31] (а) и T_{max} от S для вооруженных столкновений [4] (б).

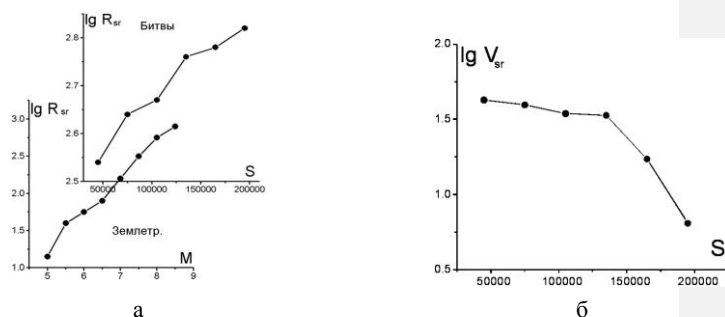


Рис. 3. Зависимость средних расстояний R_{sr} между эпицентрами землетрясений от магнитуды M [32] и R_{sr} от S для битв [4] (а). Зависимость средней скорости «перемещения» битв V_{sr} от параметра S (б).

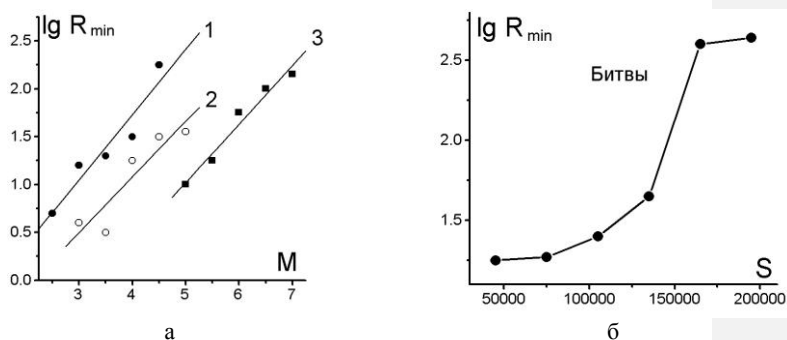


Рис. 4. Зависимость от магнитуды M минимального расстояния R_{min} между землетрясениями для сейсмических регионов: Закарпатье (1), Крым (2), Вранча (3) (а) [33], зависимость R_{min} от S для битв (б) [4].

Как для землетрясений, так и для вооруженных столкновений наблюдается одинаковая тенденция – увеличение значений указанных параметров с ростом M и S . Такие тенденции обнаружены и описаны для землетрясений: средние промежутки времен T_{sr} , максимальные промежутки времен T_{max} , средние промежутки расстояний R_{sr} , минимальные промежутки расстояний R_{min} . Для вооруженных конфликтов некоторые из этих зависимостей представлены в статьях автора [4, 34]. Особый интерес представляют тенденции увеличения максимальных промежутков времен T_{max} и минимальных расстояний R_{min} с увеличением M и S . Зависимость T_{max} от M (или S) означает, что для события определенного уровня M (или S) существует верхний предел времени его «подготовки». Следующее событие такого же уровня

происходит не позже времени T_{max} , определяемого этими зависимостями. Чем больше событие по параметру M или S , тем дольше время его «подготовки». Аналогичную тенденцию имеет параметр R_{min} . Смысл ее состоит в том, что для событий одного ранга (M или S) существует некоторое предельное минимальное расстояние R_{min} , обязанное энергетическим возможностям среды, ближе которого события этого ранга не реализуются. Обнаруженные особенности свидетельствуют о сложной пространственно-временной организации в последовательности событий.

Если рассматривать так называемую среднюю «скорость перемещения» V_{sr} событий одного уровня M или S , то обнаруживается тенденция уменьшения V_{sr} с ростом M или S (Рис. 6). Пожалуй, впервые такая тенденция была отмечена в работе [35], где приведена зависимость $\lg V_{sr} = (3.62 \pm 0.13) - (0.57 \pm 0.03)M_{LH}$ скорости «миграции» V_{sr} эпицентров землетрясений Крымско-Черноморского региона от магнитуды M_{LH} .

Тенденция уменьшения средней «скорости» перемещения исторических событий (битв) с возрастанием параметра S (Рис. 4.б) получена автором [4, 34].

Таким образом, наблюдается сходство тенденций в поведении землетрясений и военных конфликтов по параметрам T_{sr} , T_{max} , R_{sr} , R_{min} , V_{sr} .

2.3. Фрактальный характер временных рядов. Показатели Херста

Фрактальные временные ряды $x(t)$, то есть зависимости какого-либо параметра от времени, изучаются различными методами. Фрактальные характеристики таких рядов можно исследовать, например, методом нормированного размаха или методом Херста [21, 36]. Метод Херста получил широкое применение в различных областях науки, в частности, при решении экономических задач.

Нормированный размах R/S_n определяется как разность между максимальным и минимальным значениями суммы отклонений от текущего среднего значения $R(\tau_i) = \max_{0 \leq t \leq \tau_i} X(t, \tau_i) - \min_{0 \leq t \leq \tau_i} X(t, \tau_i)$, отнесенные к дисперсии S_n величины R . Здесь

$X(t, \tau)$ – накопленное отклонение на текущий момент времени t относительно среднего за выбранный интервал времени τ , величина S_n – стандартное отклонение. Харольд Херст в 60-х годах 20-го столетия обнаружил, что для многих временных рядов выполняется эмпирическая зависимость $R/S_n = (\tau/2)^H$, где H – постоянная, названная показателем Херста [21]. Исследования методом Херста временных рядов различных природных процессов (стока рек, уровень осадков, колец деревьев, илистых отложений, метеорологических параметров, уровней рек) показали, что параметр Херста H практически одинаков для всех этих процессов и заключен в интервале $H=0.73 \pm 0.09$ [21]. Здесь нет необходимости обсуждать различные аспекты закономерности Херста и его метода. Подчеркнем только факт удивительного постоянства параметра Херста $H=0.73$ для множества различных естественных процессов.

Нами исследовались показатели Херста для временных рядов параметра M (землетрясения) и S (вооруженные конфликты). На рисунке 5 представлены графики зависимостей $\lg R/S_n$ от $\lg t_n$ исследуемых временных рядов.

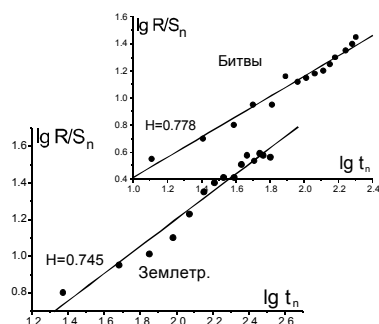


Рис. 5. Зависимость нормированного размаха R/S_n от временной последовательности событий t_n для землетрясений Крыма и вооруженных конфликтов.

Параметр t_n здесь принимает целочисленные значения и представляет номер последовательности событий. Для сейсмических событий показатель Херста равен $H=0.745\pm 0.057$, для исторических – $H=0.778\pm 0.035$. Как видно, полученные результаты находятся в интервале значений показателя Херста для различных природных процессов. Следует отметить, что для случайных временных рядов значение H равно 0.5. Отклонение от 0.5 свидетельствует об особенностях статистического процесса: если $H>0.5$, то процесс персистентный (поддерживающийся), при $H<0.5$ – процесс антиперсистентный (неподдерживающийся). Персистентные стохастические процессы проявляют тенденцию к сохранению каких-либо изменений. Таким образом, экстремальные геофизические и исторические процессы вписываются в общие статистические закономерности, присущие многим природным процессам, и их можно отнести к классу персистентных процессов.

2.4. Зависимости динамических параметров событий от времени

Ранее были рассмотрены общие тенденции в поведении некоторых динамических и пространственно-временных характеристик землетрясений и вооруженных столкновений. Однако есть и различия.

Если для землетрясений не наблюдается определенных закономерностей в распределении событий и суммарной энергии в заданных временных интервалах, (Рис. 6а, 7а), то для вооруженных конфликтов характерна логлинейная зависимость количества событий и суммарной величины S_0 от времени (Рис. 6б, 7б).

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ И ВОЙНЫ. СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ. МОДЕЛИРОВАНИЕ

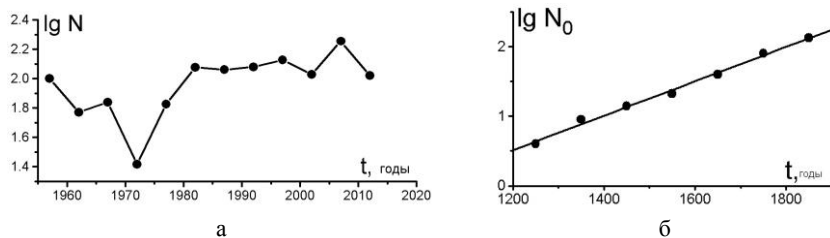


Рис. 6. Распределение количества событий во времени t : а – землетрясения Крыма; б – битвы.

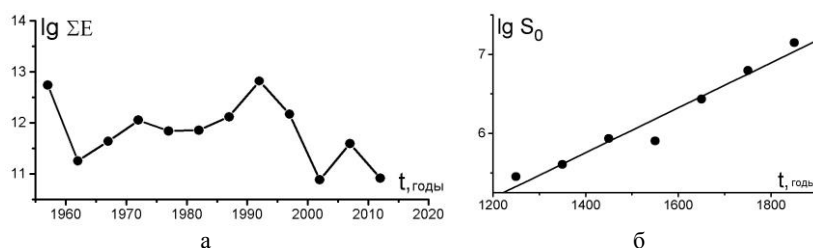


Рис. 7. Распределение логарифма суммарной энергии ΣE для землетрясений Крыма (а) и логарифма суммарного значения параметра S_0 для вооруженных конфликтов (б) во времени t .

Таким образом, для множества землетрясений и вооруженных конфликтов выполняются однотипные качественные закономерности. Исключение относится к распределениям количества событий N и величин Σ_0 и S_0 во времени: для землетрясений не отмечены заметные закономерности, для вооруженных конфликтов наблюдается логлинейная зависимость этих параметров от времени.

Для понимания такого поведения событий обратимся к одному из эффективных методов исследования сложных систем – математическому моделированию процессов.

3. МОДЕЛИ СЕЙСМИЧНОСТИ И СОЦИУМА

Математическое моделирование является одним из важнейших методов анализа сложных систем. В настоящее время этот метод успешно используется в естественных и гуманитарных науках [37, 38, 39]. Математические модели помогают не только описать и понять механизм процесса, но и играют роль прогностического инструмента.

При построении моделей сейсмичности и военных событий мы руководствовались свойствами реальных событий, общефизическими принципами и логической простотой. При этом основой при выборе моделей послужило сходство

свойств землетрясений и вооруженных конфликтов. Таким образом, определилась **основная гипотеза: экстремальные геофизические и исторические процессы описываются математическими моделями одинаковой структуры, в которых основным динамическим параметрам придается разный смысл.**

3.1. Описание моделей

Будем описывать сейсмичность и социум феноменологическими клеточно-автоматными моделями одинаковой структуры. Клеточными автоматами принято называть сети из элементов, меняющих свое состояние в дискретные моменты времени по определенному закону в зависимости от того, каким было состояние самого элемента и его ближайших соседей по сети в предыдущий дискретный момент времени [40].

Клеточно-автоматные модели – простейшие модели описания реальности [41, 42]. Как показали многочисленные исследования, клеточные автоматы позволяют успешно исследовать свойства различных сложных процессов: от глобальной физической картины мироздания [43, 44] до социальных процессов [45].

Рассмотрим одномерную модель, так как основные свойства многомерных моделей проявляются на одномерных моделях. Договоримся о терминологии. Модель представляет собой сеть из элементов (ячеек), каждой из которой присвоено целое число. Совокупность упорядоченных по возрастанию элементов назовем «клеточно-автоматным пространством». Каждому элементу «пространства» присвоен бесконечный ряд последовательных целых чисел, который назовем «клеточно-автоматным временем». Вся совокупность рассматриваемых элементов представляет собой дискретное «клеточное пространство-время». В каждой точке «пространства-времени» задана динамическая величина, то есть целое или действительное число, которое определяется заданным правилом взаимодействия ячеек. Эту одномерную дискретную величину назовем «функцией», которая будет зависеть от двух дискретных целочисленных аргументов клеточно-автоматного пространства-времени.

Ниже представлен ряд гипотез, положенных в основу моделей.

Гипотеза 1. Модель в пространстве и времени представляет некоторую «сеть», состоящую из N ячеек, расположенных на оси x , и L ячеек на оси времени t . Каждой ячейке присвоен номер. Таким образом, пространственно-временные характеристики модели описываются последовательностями целых чисел: на оси x – от 1 до N , на оси времени – от 1 до L .

Гипотеза 2. Каждой i -й «пространственной» ячейке в j -й момент времени соответствует значение действительной положительной функции $P_i^j \geq 0$. Будем полагать, что P_i^j – плотность внутренней энергии (для модели сейсмичности), «плотность энергии социума» (для исторических процессов).

Гипотеза 3. Динамическая система, описываемая предлагаемой клеточно-автоматной моделью, находится с одним из двух временных режимов: «медленном»

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ И ВОЙНЫ. СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ.
МОДЕЛИРОВАНИЕ

и «быстром». В «медленном» временном режиме состояние системы определяется локальным взаимодействием соседних ячеек по следующему правилу (детерминированная модель с близкодействием)

$$P_i^{j+1} = P_i^j + \lambda(P_{i+1}^j - 2P_i^j + P_{i-1}^j) + g_i^j \quad (1),$$

где: λ – параметр, ответственный за диссипацию энергии.

Предполагается, что $0 < \lambda < 0.5$, $g_i^j \geq 0$ – параметр, характеризующий приток энергии в систему. Соотношение (1) удовлетворяет всем перечисленным ранее условиям: простоты, симметричности относительно оси x и асимметричности во времени.

Теперь введем ряд гипотез, описывающих механизм реализации событий в «быстром» времени.

Гипотеза 4. Функция P_i^j любой i -ячейки в любой момент времени заключена в интервале $[P0_i, Pm_i]$. Назовем функции Pm_i – верхней, $P0_i$ – нижней энергетическими границами. Реализация события возможна при выполнении следующих условий.

Гипотеза 5. Если в какой-либо k -ячейке в h -й момент времени выполняется условие:

$$P_k^h \geq Pm_k \quad (2),$$

то вся система в этот момент переходит в режим «быстрого» времени. Это означает, что в k -ячейке в h -й момент времени происходит уменьшение P_k^h от максимального Pm_k до минимального уровня $P0_k$. При этом часть сброшенной энергии $Q_k^h = b \cdot (Pm_k - P0_k)$ распределяется в соседних ячейках по экспоненциальному закону $S_l^h = Q_k^h \exp(-\mu(l-k)^2)$, где $b < 1$ – доля оставшейся в ячейке энергии по отношению к выделившейся, параметр μ регулирует затухание экспоненты. Остальная энергия уносится из системы.

Очевидно, возможно такое состояние системы, когда в процессе диссипации некоторые соседние l -ячейки, получая дополнительную энергию, также достигают (или переходят) порога Pm_l . Тогда в этих клетках энергия также уменьшается до уровня $P0_l$. В результате в ячейках происходит лавинообразный сброс энергии до тех пор, пока в окрестности k -клетки будет выполняться условие (2). В случае невыполнения условия (2) процесс в «быстром» времени заканчивается, и вся система возвращается в режим «медленного» времени. Следует подчеркнуть, что в режиме «быстрого» времени система находится в одной и той же ячейке клеточно-автоматного времени.

В этой гипотезе предполагается существенное различие во временах подготовки («медленное» время) и генерации события («быстрое» время). Такой прием «замораживания» системы в «быстром» временном режиме применяется в различных моделях, в частности в моделях сейсмичности [46, 47].

Клетки, вовлеченные в лавинообразный процесс, образуют в «пространстве» некоторый кластер Ψ с пониженными значениями энергии. Определенный таким образом каскадный процесс в «быстром» режиме назовем модельным событием, а кластер Ψ – очагом модельного события. Будем считать, что модельному событию сопоставимо реальное событие – землетрясение (в модели сейсмичности) или военный конфликт (в модели социума).

Сброшенную энергию можно приближенно оценить выражением:

$$\Omega_{qs} \approx \sum_{n=q}^s (Pm_n - P0_n) \quad (3),$$

где: q, s – минимальный и максимальный номер ячейки в кластере.

На рисунке 8 схематично показаны последовательные этапы эволюции системы в «медленном» и «быстром» времени. Ситуация перед модельным событием показана на рисунке 8.а. В этом клеточно-автоматном времени ($j=1$) система находится в режиме «медленного» времени. В процессе поступления энергии в систему дискретная функция P_k^h достигает (касается) верхнего энергетического уровня (функции Pm_i) (Рис. 8.б). В этот момент (момент $j=2$) система переходит в режим «быстрого» времени и находится в нем в «замороженном» состоянии (Рис. 8.в). В этом состоянии происходит реализация модельного события. После завершения этого процесса система возвращается в режим «медленного» времени. Очевидно, что после реализации модельного события область очага со временем постепенно заполняется энергией (Рис. 8г). Представленная схема не противоречит основным принципам традиционных качественных моделей сейсмичности [48, 49]. Таким образом, исследуемые в моделях объекты – очаги модельных событий или вооруженных конфликтов – определяются тремя числами: временем возникновения t , координатой x и величиной Ω .

Параметры модели $Pm_i, P0_i, \lambda_i^j, g_i^j, b, \mu$ назовем **управляющими характеристиками модели**. Величина Ω для модели сейсмичности соответствует энергии землетрясения.

Для модели социума сделаем еще одно допущение – введенная нами гипотетическая «энергия» события социума Ω_h пропорциональна величине S – количеству участвующих в сражении воинов. В дальнейшем для обозначения модельных параметров будем пользоваться обозначениями: Ω_g – модель сейсмичности, Ω_h – модель социума. Так как в сейсмичности диапазон энергий заключен в широком диапазоне, охватывающем много порядков, целесообразно использовать в качестве энергетической величину $K_g = \lg \Omega_g$.

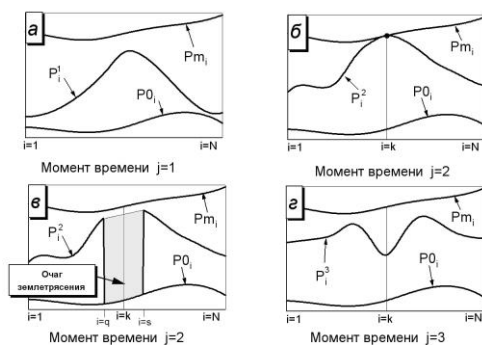


Рис. 8. Схема образования модельного события.

При некоторых значениях характеристик модели, заданных начальных и граничных условиях может быть реализовано такое динамическое состояние системы, когда в течение длительного времени наблюдается чередование долговременных и кратковременных стадий, в ходе которых происходит генерация модельных событий. Назовем такое состояние **динамически равновесным**.

Приведенные ниже результаты исследования относятся к системам, находящимся в динамически равновесном состоянии. В соответствии с поставленной задачей исследовались только те пространственно-временные области, в которых произошел сброс энергии и определены параметры модельных событий.

3.2. Исходные данные при расчете модельных событий

Численный анализ моделей показал, что динамически равновесное состояние может быть реализовано различными путями в широком диапазоне значений управляющих характеристик. Граничные условия принимались равными $P_1^j = P_N^j = 0$. Задавалась стартовая функция, реализованная датчиком случайных равномерно распределенных чисел с нулевыми значениями на концах отрезка.

Также использовалась стартовая функция вида $P_{i,1} = A_0 + \sum_{k=1}^n B_{k,i} \sin(w_{k,i} + \varphi_{k,i})$.

Параметры $A_0, B_{k,i}, w_{k,i}, \varphi_{k,i}$ подбирались такими, чтобы в диапазоне изменения переменной этих параметров выполнялись условия на границах $P_1^j = P_N^j = 0$. Управляющие характеристики модели $Pm_i, P0_i, \lambda_i^j, b, \mu$ для простоты заданы постоянными. Относительно параметра g допускались следующие предположения. Для модели сейсмичности g_i^j считалась положительной постоянной величиной.

Для модели социума принималась гипотеза, восходящая к Мальтусу Т. [50]. Источником увеличения «энергии социума» является рост народонаселения, что в пределах рассматриваемого исторического времени (период доиндустриального общества XIII–XIX вв.) представляется достаточно правдоподобным. Демографический рост народонаселения можно принять в соответствии с эмпирической формулой Хорнера С. [51]

$$n = C/(T_1 - t) \quad (4),$$

где: n – количество населения в момент времени t , $T_1 = 2025$, $C = 2 \cdot 10^{11}$. Эта простая формула хорошо описывает рост народонаселения в течение тысяч лет. Исходя из этого, параметр g_i^j для модели социума считался положительным зависящим от времени в соответствии с гиперболой (4).

Расчеты проводились на одномерной сетке $i = 1, 2, \dots, N$, где $N = 5000$. Время отсчитывалось на сетке $j = 1, 2, \dots, L$, где L варьировало для различных каталогов событий от 10^6 до 10^{10} условных единиц времени. Всего рассчитано 15 пар каталогов (для модели сейсмичности и модели социума), в которых содержится от 1000 до 100000 модельных событий. Чтобы не перегружать статью графической информацией, приведены зависимости для произвольно выбранной пары модельных каталогов. Все описанные тенденции относятся и к остальным четырнадцати парам рассчитанных каталогов модельных событий.

3.3. Результаты анализа модельных событий

При анализе результатов расчетов будем придерживаться принятой нами последовательности изложения, сопоставляя зависимости однотипных параметров для модели сейсмичности и модели социума, сравнивая их с реальными закономерностями сейсмичности и военными событиями. Необходимо подчеркнуть, что величины Ω_n (для модели социума) и S (для вооруженных столкновений) имеют разный смысл: Ω_n характеризует «энергию социума», S – количество сражающихся воинов. Следуя нашему предположению о пропорциональной связи этих величин, имеет смысл проводить такие сопоставления.

Для модельных событий справедлив закон повторяемости (Рис. 9).

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ И ВОЙНЫ. СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ.
МОДЕЛИРОВАНИЕ

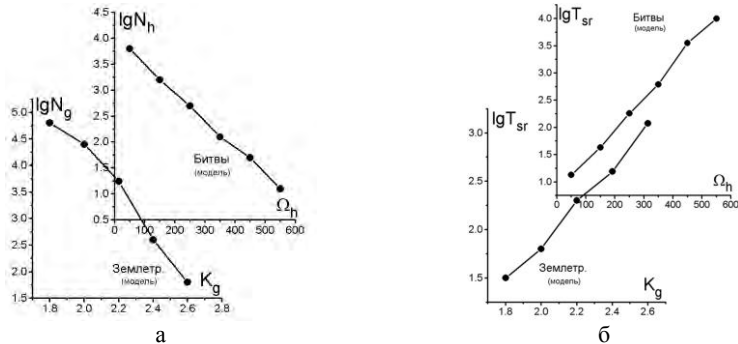


Рис. 9. Графики повторяемости модельных землетрясений и модельных вооруженных конфликтов (а). Зависимость средних промежутков времен T_{sr} от K_g (модельные землетрясения) и от Ω_h (модельные битвы) (б).

Аналогично графикам зависимостей от M (или S) (для реальных событий) (Рис. 2, 3, 4) модельные события проявляют те же тенденции изменения параметров T_{sr} , T_{max} , R_{sr} , R_{min} , V_{sr} с увеличением K_g (или Ω_h) (Рис. 9, 10, 11). Зависимости нормированного размаха от времени для последовательности модельных событий здесь не приведены, так как параметр Херста в данном случае не имеет смысла – все параметры в моделях представлены в условных единицах.

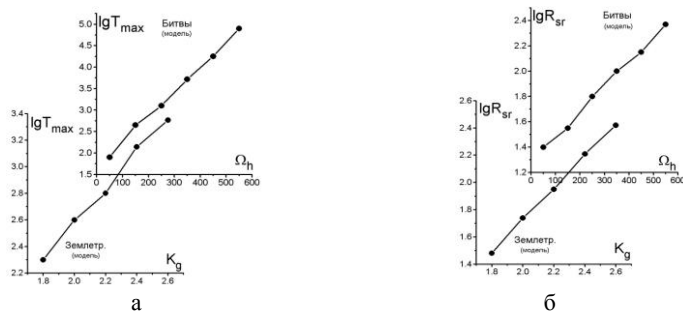


Рис. 10. Зависимость максимальных промежутков времен T_{max} от K_g для модельных землетрясений и от Ω_h для модельных вооруженных событий (а). Зависимость средних расстояний R_{sr} между эпицентрами модельных землетрясений от K_g и между модельными битвами от Ω_h (б).

Вид зависимостей, содержащих время, главным образом определяется источником g_i^j . Следует обратить внимание на то, что модельные зависимости количества событий и параметров $\sum E_g$ и Ω_h от времени также отличаются для модели сейсмичности и модели социума (Рис. 12, 13, сравнить Рис. 6, 7). Тенденции, как видно из сравнения, аналогичны. Такое различие в моделях сейсмичности и социума объясняется особенностями источников «возбуждения». Управляющие параметры модели влияют, в основном, на уровень зависимостей, но не на их форму.

Фрактальные размерности для модельных событий рассчитывались в одномерном варианте так же, как и для реальных событий (Табл. 2).

Таблица 2.

Значения фрактальных размерностей «пространственной» и временной компонент модельных событий

Тип модели	«Пространственная» компонента	«Временная» компонента
сейсмичности	0.84 ± 0.07	0.9 ± 0.004
социума	0.89 ± 0.04	0.92 ± 0.03

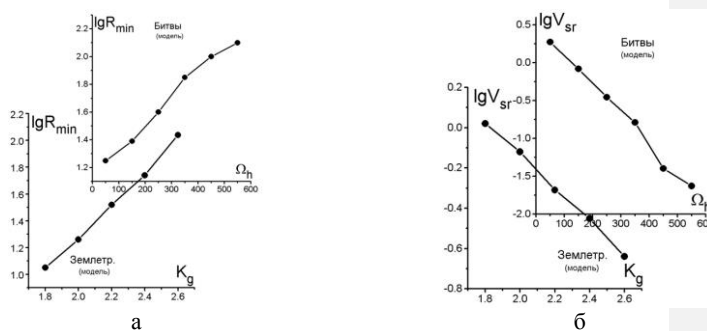


Рис. 11. Зависимость минимальных расстояний между эпицентрами модельных землетрясений от K_g (а) и между модельными битвами Ω_h . (а). Зависимость средней скорости «перемещения» модельных землетрясений V_{sr} от K_g и модельных битв от Ω_h (б).

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ И ВОЙНЫ. СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ.
МОДЕЛИРОВАНИЕ

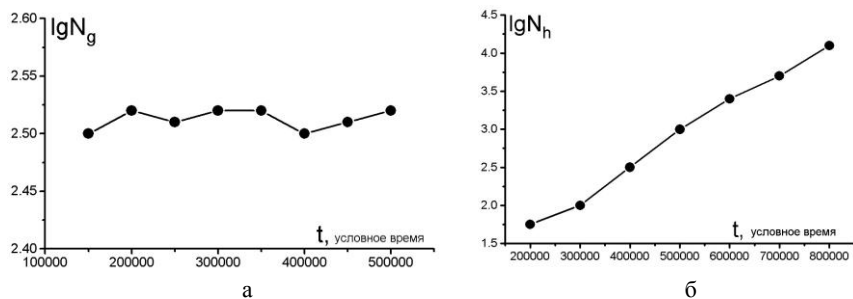


Рис. 12. Распределение количества событий во времени t : а – модельных землетрясений; б – модельных битв.

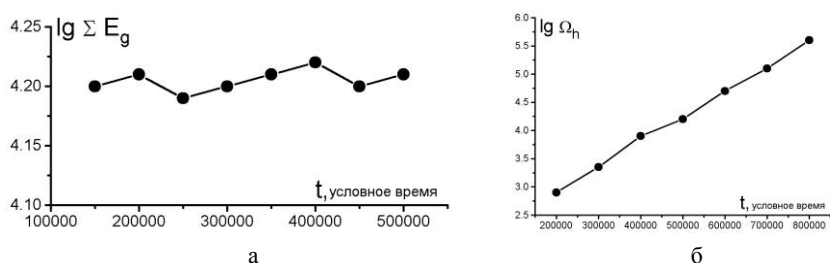


Рис. 13. Распределение суммарной энергии ΣE_g для модельных землетрясений (а) и суммарного значения параметра Ω_h для модельных вооруженных конфликтов (б) во времени t .

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

В предлагаемой статье предпринята попытка с единых позиций объяснить свойства и тенденции различных по природе экстремальных явлений – землетрясений и войн. Такие попытки, насколько нам известно, ранее в публикациях не освещались.

Сравнительный анализ количественных закономерностей и тенденций, присущих землетрясениям, историческим битвам и сражениям Западной и Центральной Европы за период XIII–XIX вв., показывает их сходство по многим однотипным параметрам. Такое сходство наблюдается для промежутков времен и расстояний между последовательными событиями. Общие тенденции проявляются для распределений количества событий по магнитудам (для землетрясений) и по параметру S – количеству воинов, участвующих в сражении. Одинаковые тенденции имеют место в поведении средних промежутков времен и расстояний,

максимальных промежутков времен, минимальных промежутков расстояний, средних «скоростей» (для землетрясений) и параметра S (для битв.).

Кроме сходства, имеются и различия. Поведение со временем количества событий, а также энергетических характеристик землетрясений обнаруживает отсутствие каких-либо закономерностей и тенденций, для битв и сражений – логлинейное возрастание аналогичных параметров со временем.

Для описания указанных особенностей предполагается, что свойства землетрясений и исторических сражений могут быть описаны моделями, имеющими одинаковую структуру, в которых основные динамические характеристики имеют разный смысл. На основе этой идеи построены феноменологические одномерные клеточно-автоматные модели с распределенными положительными источниками возбуждения.

Предполагается, что для модели сейсмичности энергетический источник не зависит от времени, для модели социума источник «социальной возбужденности» возрастает со временем по гиперболическому закону.

Для сейсмических процессов энергетическими источниками могут быть различные эндогенные и экзогенные процессы. Эндогенные источники определяются движениями тектонических плит, потоками внутренней энергии в мантии Земли и др. В качестве экзогенных источников возможны силы гравитационных воздействий Луны и Солнца на Землю, а также массивных планет Солнечной системы, космические радиационные и иные возмущения.

Исторические процессы (для периода доиндустриального общества), приводящие к войнам, вероятно, обусловлены, в основном, динамикой роста народонаселения. Численные эксперименты на моделях показали хорошее согласие модельных и реальных закономерностей и тенденций.

Закономерности, обнаруженные нами в экстремальных исторических явлениях – вооруженных конфликтах, возможно, являются следствиями процессов в социуме, которые выходят за пределы традиционного исторического описания – они не зависят от социального, культурного, этнического, экономического состояния общества и носят надисторический характер. Поэтому связь подобия с сейсмическими процессами представляется той путеводной нитью, которая может привести к пониманию экстремальных исторических явлений как особенностей эволюционирующей открытой неравновесной динамической системы.

Автор понимает, что описание простыми моделями столь сложных явлений представляет грубое приближение к реальности. Однако модель можно сколь угодно усложнять, задавать различные источники и варьировать управляющими параметрами. На этом пути, возможно, удастся решить многие проблемы геодинамики и динамики социума. Наиболее заманчива проблема решения обратной задачи, когда по реальным параметрам, заложенным в модель, удалось бы найти значения управляющих характеристик. Тогда представляется вероятным прогноз поведения системы в будущем. Кроме того, решение этой проблемы позволит оценивать основные прогностические характеристики сильнейших событий, а также разрабатывать вероятные сценарии развития экстремальных

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ И ВОЙНЫ. СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ. МОДЕЛИРОВАНИЕ

геофизических и социальных явлений. В этом, на наш взгляд, заключается основной смысл исследования предлагаемых моделей.

Список литературы

1. Урланис Б. Ц. История военных потерь. СПб. – М.: Полигон, 1998. 560 с.
2. Ризниченко Ю. В. Энергетическая модель сейсмического процесса // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1968. № 5. С. 3–19.
3. Dupuy T. N. Forecasting Battle Casualties and Equipment Losses in Modern War. Fall Church (Virginia): Nova Publication, 1995. 176 p.
4. Кульчицкий В. Е. Некоторые статистические и пространственно-временные особенности вооруженных конфликтов Европы в XIII–XIX вв. // Военно-исторический архив. 2005. Вып. 6 (66). С. 147–164.
5. Пустовитенко Б. Г., Кульчицкий В. Е., Горячун А. В. Землетрясения Крымско-Черноморского региона. Киев: Наукова думка, 1989. 192 с.
6. База данных о землетрясениях Крымско-Черноморского региона. Институт сейсмологии и геодинамики Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского, г. Симферополь. [Электронный ресурс]. URL: <http://cfuv.ru/>.
7. Архенгольц И. В. История Семилетней войны. М.: Полигон, 2001. 560 с.
8. Военный энциклопедический словарь / гл. ред. Н. В. Огарков. М.: Воениздат, 1984. 863 с.
9. Дельбрюк Г. История военного искусства в рамках политической истории. СПб.: Наука, 2001. 4355 с.
10. Меринг Ф. История войн и военного искусства. СПб. – М.: Полигон, 2000. 528 с.
11. Мольтке Г. История германо-французской войны 1870–1871 гг. М.: Воениздат, 1937. 360 с.
12. Тарле Е. В. Северная война и шведское нашествие на Россию. М.: Полигон. 2011. 704 с.
13. Дюпуи Р. Э., Дюпуи Т. Н. Все войны мировой истории по Харперской военной энциклопедии военной истории. Том 2. СПб.: Полигон, 2004. 520 с.
14. Дюпуи Р. Э., Дюпуи Т. Н. Все войны мировой истории по Харперской военной энциклопедии военной истории. Том 3. СПб.: Полигон, 2004. 596 с.
15. Харботл Т. Битвы мировой истории. М.: Внешсигма, 1993. 576 с.
16. Чандлер Д. Военные кампании Наполеона. М.: Центрполиграф, 1999. 693 с.
17. Военная энциклопедия в 8 томах / Гл. редактор комиссии И. Н. Родионов. М.: Воениздат, 1994. 5123 с.
18. Советская военная энциклопедия в 8 томах. М.: Воениздат, 1976–1980. 5370 с.
19. Урланис Б. Ц. Войны и народонаселение Европы. М.: Соцэкономлит, 1960. 565 с.
20. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. М.: Институт компьютерных исследований, 2002. 656 с.
21. Федер Е. Фракталы. М.: Мир, 1991. 254 с.
22. Шустер Г. Детерминированный хаос. Введение. М.: Мир, 1988. 240 с.
23. Kagan Y. Y., Knoroff L. P. Stochastic synthesis of earthquake catalogs // J. Geophys. Res. 1981. V. 86. № B4. pp. 2853–2862.
24. Гейликман М. Б., Писаренко В. Ф. О самоподобии в геофизических явлениях // Дискретные свойства геофизической среды. М.: Наука, 1989. С. 109–131.
25. Гейликман М. Б., Голубева Т. В., Писаренко В. Ф. Самоподобная иерархическая структура поля эпицентров землетрясений // Компьютерный анализ геофизических полей. Вычислительная сейсмология. 1990. Вып. 23. С. 123–139.
26. Мухамедов В. А. О фрактальной размерности временного подобию последовательности сейсмических событий и иерархическая структура земной коры // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1995. № 6. С. 89–95.
27. Мухамедов В. А. Фрактальные и хаотические структуры сейсмичности. Ашхабад: [б. и.], 1989. Деп. № 7104-B89. 39 с.
28. Пустовитенко Б. Г., Лущик А. В., Боборыкина О. В. Мониторинг сейсмических процессов в Крымско-Черноморском регионе. Севастополь: ЭКОСИ Гидрофизика. 2014. 264 с.
29. Соболев Г. А. Основы прогноза землетрясений. М.: Наука, 1993. 313 с.

30. Кейлис-Борок В. И., Кособоков В. Г., Меженков С. А. О подобии в пространственном распределении сейсмичности // Теория и алгоритмы интерпретации геофизических данных. Вычислительная сейсмология. 1989. Вып. 22. С. 28–40.
31. Кульчицкий В. Е., Пустовитенко Б. Г. Об оценке магнитуд максимально возможных землетрясений по временной компоненте сейсмичности // Доклады АН Украины. 1995. № 5. С. 82–84.
32. Уломов В. И. Очаговая сейсмичность и долгосрочный прогноз землетрясений // Проблемные вопросы сейсмологии Средней Азии. Материалы конференции, посвященной 20-летию образования Института сейсмологии АН Уз.ССР. Ташкент: ФАН, 1988. С. 34–87.
33. Пустовитенко Б. Г., Щербина С. В., Кульчицкий В. Е. Пространственно-временные свойства сейсмичности бассейна Черного моря и его обрамления // Геофиз. журнал. 1997. Т. 19. № 6. С. 58–69.
34. Кульчицкий В. Е. Компьютерное моделирование событий военной истории на примере статистики вооруженных конфликтов Западной и Центральной Европы XIII–XIX вв. // История и математика. Анализ и моделирование социально-исторических процессов. М.: КомКнига. 2007. С. 147–169.
35. Пустовитенко Б. Г., Пустовитенко А. А. Миграция очагов землетрясений Черноморского региона // Материалы V-го Севастопольского международного семинара «Фундаментальные и прикладные проблемы мониторинга и прогноза природных, техногенных и социальных катастроф» (Стихия-2002). Севастополь: СИНЭКО, 2002. С. 69–70.
36. Hurst H. E., Black R. P., Simaika Y. M. Long-Temp Storage // An Experimental Study. London: Constable, 1965. 120 p.
37. Самарский А. А., Михайлов А. П. Математическое моделирование: идеи, методы, примеры. М.: Физматгиз, 2005. 320 с.
38. Крапивин В. Ф., Свиричев Ю. М., Старко А. М. Математическое моделирование глобальных биосферных процессов. М.: Наука. 1982. 272 с.
39. Математические методы в исторических исследованиях. М.: Наука, 1972. 234 с.
40. Лоскутов А. Ю., Михайлов А. С. Введение в синергетику. М.: Наука. 1990. 272 с.
41. Нейман Дж. Теория самовоспроизводящихся автоматов. М.: Мир. 1971. 381 с.
42. Тоффоли Т., Марголус Н. Машины клеточных автоматов. М.: Мир. 1991. 280 с.
43. Wolfram S. New Kind of Science. Champaign: Wolfram Media Inc., 2002. 1197 p.
44. Беркович С. Я. Клеточные автоматы как модель реальности: поиски новых представлений физических и информационных процессов. М.: МГУ, 1993. 112 с.
45. Плотинский Ю. И. Модели социальных процессов. М.: Логос, 2001. 296 с.
46. Колесникова Н. М., Ротвайн И. М., Кузнецов И. В. Динамика некоторых моделей клеточных автоматов // Проблемы динамики литосферы. Вычислительная сейсмология. 2001. Вып. 32. С. 212–224.
47. Кульчицкий В. Е. Диффузионная клеточно-автоматная модель сейсмичности. Результаты численного эксперимента. Сопоставление с наблюдениями // Геофиз. журнал. 2006. Т. 28. № 1. С. 82–96.
48. Мячкин В. И. Процессы подготовки землетрясений. М.: Наука, 1978. 232 с.
49. Садовский М. А., Писаренко В. Ф. Сейсмический процесс в блоковой среде. М.: Наука. 1991. 96 с.
50. Мальтус Т.-П. Опыт закона о народонаселении. М.: Издание К. Т. Солдатченкова. 1895. 318 с.
51. Капица С. П. Феноменологическая теория роста населения Земли // Успехи физических наук. 1996. Т. 166. № 1. С. 63–80.

EARTHQUAKE AND WAR. COMPARATIVE CHARACTERISTICS.

MODELING

Kulchitsky V. E.

*Crimean Expert Council for the Assessment of Seismic Hazards and Earthquake Prediction,
Simferopol, Russian Federation
E-mail: yekkes@rambler.ru*

A special class of extreme events stands out from various natural phenomena. Extreme events in the geophysical environment include among others earthquakes. The historical

process is not without extreme events either, armed conflicts resulting from wars and revolution being one of them. The proposed article describes results from the quantitative analysis of earthquakes and extreme historical events, namely, combats and battles. Extreme geophysical events (earthquakes) and armed conflicts are presented using four-dimensional discrete sets of parameters: time of occurrence, coordinates, dynamic characteristics such as magnitude M (earthquakes) and total combatants S (combats and battles). Earthquake catalogues for the Crimean Black Sea Basin are used for analysis. Combats and battles are presented using the representative data on Western and Central Europe for a period from the XIII to the XIX century with total combatants over 30000 men.

Results from the quantitative analysis show similar regularities and trends in the behavior of the same-type parameters. However, this similarity is not an indicator of a causal relationship between these different-in-nature phenomena. Both earthquakes and armed conflicts show a similar tendency in the behavior of certain same-type parameters. Relationship between mean (T_{mean}) and maximum (T_{max}) periods of time; mean (D_{mean}) and minimum (D_{min}) time distances for coordinate events (M and S) was studied. All these values increase in a loglinear manner with increase in M and S . Average event movement «rate» reduces with increase in M and S . It is assumed that the characteristics of earthquakes and armed conflicts may be described using phenomenological models of the same structure in which the basic characteristics have different meanings. Based on this concept one-dimensional cellular & state-machine models with distributed positive excitation sources have been developed. It is estimated that even and steady energy supply to the system is such a source for seismic events. As for an excitation source for historical events, it is time dependent by the hyperbolic law. Numerical simulated experiments show adequate congruence of simulated and real regularities and trends. The regularities we have identified in the extreme historical events, namely, armed conflicts are possibly results from the processes beyond the traditional historical description as they do not depend on the social, cultural, ethnic and economic status of the community and have supra-historical nature. So, the similarity to seismic processes may result in understanding the mechanism of extreme historical events as features specific to the evolving open non-equilibrium dynamic system.

Keywords: earthquake, war, battle, seismicity, modeling, cellular automata.

References

1. Uralis B. C. Istorija voennyh poter (History of military losses). Saint Petersburg–Moscow: Poligon (Publ.), 1998, 560 p. (in Russian).
2. Riznichenko Ju. V. Jenergeticheskaja model sejsmicheskogo processa (Energy model of the seismic process). Izv. AN SSSR. Fizika Zemli, 1968, no. 5, pp. 3–19 (in Russian).
3. Dupuy T. N. Forecasting Battle Casualties and Equipment Losses in Modern War. Fall Church (Virginia): Nova Publication, 1995, 176 p. (in English).
4. Kulchitsky V. E. Nekotorye statisticheskie i prostranstvenno-vremennye osobennosti vooruzhennykh konfliktov Evropy v XIII-XIX vv. Voenno-istoricheskij arhiv (Some statistical and space-time features Armed conflicts in Europe in the XIII-XIX centuries). Voenno-istoricheskii arkhiv, 2005, no. 6 (66), pp.147–164 (in Russian).

5. Pustovitenco B. G., Kulchitsky V. E., Gorjachun A. V. Zemletrjasenija Krymsko-Chernomorskogo regiona (Earthquakes of the Crimean-Black Sea Region). Kiev: Naukova dumka (Publ.), 1989, 192 p. (in Russian).
6. Baza dannyh o zemletrjasenijah Krymsko-Chernomorskogo regiona (). Institut sejsmologii i geodinamiki Krymskogo federalnogo universiteta im. V.I. Vernadskogo, g. Simferopol (Database of earthquakes in the Crimean-Black Sea region. Institute of Seismology and geodynamics of the Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky, Simferopol) [Elektronnyj resurs]. URL: <http://cfuv.ru/> (in Russian).
7. Archenholz I. V. Istorija Semiletnej vojny (The History of the Seven Years' War). Moscow: Poligon (Publ.), 2001, 560 p. (in Russian).
8. Voennyj jenciklopedicheskij slovar (Military Encyclopaedic Dictionary) / ed. N. V. Ogarkov. Moscow: Voenizdat (Publ.), 1984, 863 p. (in Russian).
9. Delbrück H. Istorija voennogo iskusstva v ramkah politicheskoj istorii (History of military art in the framework of political history). S.-Peterburgs: Nauka (Publ.), 2001, 4355 p. (in Russian).
10. Mehring F. Istorija vojn i voennogo iskusstva (The history of wars and military art). Saint Petersburg–Moscow: Poligon (Publ.), 2000, 528 p. (in Russian).
11. Moltke G. Istorija germano-francuzskoj vojny 1870-1871 gg. (The history of the German-French war of 1870-1871). Moscow: Voenizdat (Publ.), 1937, 360 p. (in Russian).
12. Tarle E. V. Severnaja vojna i shvedskoe nashestvie na Rossiju (The Northern War and the Swedish invasion of Russia). Moscow: Poligon (Publ.), 2011, 704 p. (in Russian).
13. Dupuy R. Je., Dupuy T. N. Vse vojny mirovoj istorii po Harperskoj voennoj jenciklopedii voennoj istorii. Tom 2 (All the wars of world history on the Harper Military Encyclopedia. Vol. 2). Saint Petersburg: Poligon (Publ.), 2004, 520 p. (in Russian).
14. Dupuy R. Je., Dupuy T. N. Vse vojny mirovoj istorii po Harperskoj voennoj jenciklopedii voennoj istorii. Tom 3 (All the wars of world history on the Harper Military Encyclopedia Vol. 3). Saint Petersburg: Poligon (Publ.), 2004, 596 p. (in Russian).
15. Harbottle T. Bitvy mirovoj istorii (Battles of world history). Moscow: Vneshsigma (Publ.), 1993, 576 p. (in Russian).
16. Chandler D. Voennye kampanii Napoleona (Napoleon's military campaigns). Moscow: Centrpoligraf (Publ.), 1999, 693 p. (in Russian).
17. Voennaja jenciklopedija v 8 tomach (Military encyclopedia in 8 volumes). Moscow: Voenizdat (Publ.), 1994, 5123 p. (in Russian).
18. Sovetskaja voennaja jenciklopedija v 8 tomach (Soviet Military Encyclopedia in 8 volumes). Moscow: Voenizdat (Publ.), 1976–1980, 5370 p. (in Russian).
19. Urlanis B. C. Vojny i narodonaselenie Evropy (Wars and population of Europe). Moscow: Socjekonomlit (Publ.), 1960, 565 p. (in Russian).
20. Mandelbrot B. Fraktalnaja geometrija prirody (The Fractal geometry of nature). Moscow: Institut komp'yuternyh issledovanij (Publ.), 2002, 656 p. (in Russian).
21. Feder E. Fraktaly (Fractals). Moscow: Mir (Publ.), 1991, 254 p. (in Russian).
22. Shuster G. Determinirovannyj haos. Vvedenie (Deterministic chaos. Introduction). Moscow: Mir (Publ.), 1988, 240 p. (in Russian).
23. Kagan Y. Y., Knopoff L. P. Stochastic synthesis of earthquake catalogs // J. Geophys. Res, 1981, V. 86, № B4, pp. 2853-2862. (in English).
24. Gejlikman M. B., Pisarenko V. F. O samopodobii v geofizicheskijh javlenijah. Diskretnye svojstva geofizicheskoj sredy (On self-similarity in geophysical phenomena. Discrete properties of a geophysical medium). Moscow: Nauka (Publ.), 1989, pp. 109-131. (in Russian).
25. Gejlikman M. B., Golubeva T. V., Pisarenko V. F. Samopodobnaja ierarhicheskaja struktura polja jepicentrov zemletrjasenij. (Self-similar hierarchical structure of the field Epicenters of earthquakes) // Kompjuternyj analiz geofizicheskijh polej. Vychislitel'naja sejsmologija, 1990, Vol. 23, pp.123-139. (in Russian).
26. Muhamedov V. A. O fraktalnoj razmernosti vremennogo podobija posledovatel'nosti sejsmicheskijh sobytij i ierarhicheskaja struktura zemnoj kory (On the fractal dimension of the temporal similarity of a

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ И ВОЙНЫ. СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ.
МОДЕЛИРОВАНИЕ

- sequence Seismic events and the hierarchical structure of the earth's crust) // *Izv. AN SSSR. Fizika Zemli*, 1995, no. 6, pp. 89–95. (in Russian).
27. Muhamedov V. A. Fraktalnye i haoticheskie struktury sejsmichnosti (Fractal and chaotic structures of seismicity). Ashgabat: [b.i.], 1989, Dep. №7104-V89, 39 p. (in Russian).
 28. Pustovitenko B. G., Lushhik A. V., Boborykina O. V. Monitoring sejsmicheskikh processov v Krymsko-Chernomorskom regione (Monitoring of seismic processes in the Crimean-Black Sea region). Sevastopol: JeKOSI Gidrofizika (Publ.), 2014, 264 p. (in Russian).
 29. Sobolev G. A. Osnovy prognoza zemletrjasenij (Basics of earthquake prediction). Moscow: Nauka (Publ.), 1993, 313 p. (in Russian).
 30. Kejlis-Borok V. I., Kosobokov V. G., Mezhenov S. A. O podobii v prostranstvennom raspredelenii sejsmichnosti (About similarity in spatial Distribution of seismicity) // *Teoriya i algoritmy interpretacii geofizicheskikh dannyh. Vychislitel'naja sejsmologija*, 1989, Vol. 22, pp.28-40. (in Russian).
 31. Kulchitsky V. E., Pustovitenko B. G. Ob ocenke magnitud maksimal'no vozmozhnyh zemletrjasenij po vremennoj komponente sejsmichnosti (On the evaluation of the magnitudes of the maximum possible earthquakes on the temporal component of seismicity). // *Doklady AN Ukrainy*, 1995, no. 5, pp. 82–84. (in Russian).
 32. Ulomov V. I. Ochagovaya sejsmichnost' i dolgosrochnyj prognoz zemletryasenij (Focal seismicity and long-term prognosis of earthquakes) // *Problemye voprosy sejsmologii Srednej Azii. Materialy konferentsii, posvyashchenoj 20-letiyu obrazovaniya Instituta sejsmologii AN Uz.SSR*. Tashkent: FAN, 1988, pp. 34–87. (in Russian).
 33. Pustovitenko B. G., Shherbina S. V., Kulchickij V. E. Prostranstvenno-vremennye svoystva sejsmichnosti bassejna Chernogo morja i ego obramle-nija (Spatio-temporal properties Seismicity of the Black Sea basin and its surroundings) // *Geofiz. zhurnal*, 1997, vol. 19, no. 6, pp. 58–69. (in Russian).
 34. Kulchitsky V. E. Kompjuternoe modelirovanie sobytij voennoj istorii na primere statistiki vooruzhennykh konfliktov Zapadnoj i Centralnoj Evropy XIII-XIX vv. (Computer simulation of military history events with statistics as an example Armed conflicts of Western and Central Europe XIII-XIX centuries) // *Istorija i matematika. Analiz i modelirovanie social'no-istoricheskikh processov*. Moscow: KomKniga (Publ.), 2007, pp.147–169. (in Russian).
 35. Pustovitenko B. G., Pustovitenko A. A. Migracija ochagov zemletrjasenij Chernomorskogo regiona (Migration foci of earthquakes in the Black Sea region) // *Materialy V-go Sevastopol'skogo mezhdunarodnogo seminaru «Fundamental'nye i prikladnye problemy monitoringa i prognoza prirodnyh, tehnogennyh i social'nyh katastrof» (Stihija-2002)*. Sevastopol: SINEKO (Publ.), 2002, pp.69–70. (in Russian).
 36. Hurst H. E., Black R. P., Simaika Y. M. Long-Temp Storage // *An Experimental Study*. London: Constable (Publ.), 1965. 120 p. (in English).
 37. Samarskij A. A., Mihajlov A. P. Matematicheskoe modelirovanie: idei, metody, primery. (Mathematical modeling: ideas, methods, examples). Moscow: Fizmatgiz (Publ.), 2005, 320 p. (in Russian).
 38. Krapivin V. F., Svirezhev Ju. M., Starko A. M. Matematicheskoe modelirovanie globalnyh biosfernyh processov (Mathematical modeling of global Biospheric processes). Moscow: Nauka (Publ.), 1982, 272 p. (in Russian).
 39. Matematicheskie metody v istoricheskikh issledovaniyah (Mathematical methods in historical research). Moscow: Nauka (Publ.), 1972, 234 p. (in Russian).
 40. Loskutov A. Ju., Mihajlov A. S. Vvedenie v sinergetiku (Introduction to Synergetics). Moscow: Nauka (Publ.), 1990, 272 p. (in Russian).
 41. Neuman John von. Teoriya samovosproizvodjashhihsja avtomatov (The theory of self-reproducing automata.) Moscow: Mir (Publ.), 1971, 381 p. (in Russian).
 42. Toffoli T., Margolus N. Mashiny kletochnyh avtomatov (Machines for cellular automata). Moscow: Mir (Publ.), 1991, 280 p. (in Russian).
 43. Wolfram S. *New Kind of Science*. Champaign: Wolfram Media Inc. (Publ.), 2002. 1197 p. (in English).
 44. Berkovich S. Ja. Kletochnye avtomaty kak model' real'nosti: poiski novyh predstavlenij fizicheskikh i informacionnyh processov (Cellular automata as a model of reality: the search for new representations Physical and information processes). Moscow: MGU (Publ.), 1993, 112 p. (in Russian).

45. Plotinsky Ju. I. Modeli social'nyh processov (Models of social processes). Moscow: Logos (Publ.), 2001, 296 p. (in Russian).
46. Kolesnikova N. M., Rotvajn I. M., Kuznecov I. V. Dinamika nekotoryh modelej kletochnyh avtomatov (The dynamics of some models of cellular Machines) // Problemy dinamiki litosfery. Vychislitel'naya sejsmologiya, 2001, Vol. 32, pp. 212–224. (in Russian).
47. Kulchitsky V. E. Diffuzionnaja kletочно-avtomatnaja model sejsmichnosti. Rezultaty chislenного jeksperimenta. Sopostavlenie s nabljudenijami (Diffusion cell automata model of seismicity results Numerical experiment. Comparison with observations) // Geofiz. zhurnal, 2006. vol. 28, no. 1, pp. 82–96. (in Russian).
48. Mjachkin V. I. Processy podgotovki zemletrjasenij (The processes of earthquake preparation). Moscow: Nauka (Publ.), 1978, 232 p. (in Russian).
49. Sadovsky M. A., Pisarenko V. F. Sejsmicheskij process v blokovoј srede (Seismic process in a block environment). Moscow: Nauka (Publ.), 1991, 96 p. (in Russian).
50. Malthus T.-R. Opyt zakona o narodonaselenii (Experience of the law on population). Moscow: Izdanie K. T. Soldatchenkova (Publ.), 1895, 318 p. (in Russian).
51. Kapica S. P. Fenomenologicheskaja teorija rosta naselenija Zemli (Phenomenological theory of population growth) // Uspehi fizicheskikh nauk, 1996, vol. 166, no. 1, pp.63–80. (in Russian).