

УДК 550.343

**Н.В. Короновский<sup>1</sup>, А.А. Наймарк<sup>2</sup>****НЕПРЕДСКАЗУЕМОСТЬ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КАК ФУНДАМЕНТАЛЬНОЕ СЛЕДСТВИЕ НЕЛИНЕЙНОСТИ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Стремление к прогнозу геокатастроф стимулируется априорной убежденностью в его принципиальной достижимости. Это подразумевает, что малые вариации условий хода процесса должны порождать предсказуемо небольшие вариации результата. Реально же предвидимы характер процесса в целом и его отдельные стадии, тип аттрактора, сценарии перехода от стадии к стадии. Но успешные прогнозы конкретных событий единичны из-за чрезвычайной зависимости нелинейных геологических систем от изменений начальных условий. Предвестники существуют, но их эффективность непредсказуемо изменчива. Редкие удачи объяснимы заниженными требованиями к прогнозам и их проверке, а также случайными совпадениями с реальностью.

*Ключевые слова:* геокатастрофа, землетрясение, нелинейность, прогноз, система.

The aspiration to the forecast of geocataclysms is stimulated by aprioristic conviction in its inherent achievability. It means, that small variations of conditions of a course of process should cause predictably small variations of the result. In reality character of process as a whole and of its separate stages, type of attractor, scenarios of transition from a stage to a stage are predictable. But successful forecasts of concrete events are isolated because of extreme dependence of nonlinear geological systems from variations of initial conditions. Harbingers exist, but their efficiency is unpredictably variable. Rare successes are explainable by the reduced requirements to forecasts and to their examinations, and also owing to casual coincidences with a reality.

*Key words:* geocataclysm, earthquake, nonlinearity, the forecast, system.

**Введение.** Тема предвидения геокатастроф, особенно землетрясений, давно уже вышла за рамки чисто прикладной. Она не утратила практической актуальности и интенсивно исследуется в составе более фундаментальной проблемы: что и почему возможно (а что нельзя) прогнозировать и реконструировать в науках о Земле? Очевидно, что оценки успешности прогнозов приобретают смысл лишь в свете заранее (а не постфактум) задаваемых — конкретно для тех или иных целей — требований к точности и надежности ожидаемых результатов. При достигнутом на данный момент уровне изученности надежность прогноза можно повысить простым снижением точности и наоборот. При недостаточно высокой точности прогноза, например, места или магнитуды землетрясения даже точное предсказание момента его наступления лишается практического смысла. Именно с таких позиций следует рассматривать суждения о прогнозируемости или непрогнозируемости геокатастроф.

**Непредсказуемость как вызов науке.** Сегодня особенно актуальна проблема краткосрочного сейсмопрогноза, который позволял бы ответственно и оперативно принимать неотложные меры по предотвращению и уменьшению последствий надвигающейся катастрофы. Отсюда — жесткие требования к его параметрам: по месту ожидаемого бедствия — до

30–50 км, по времени — за 2–3 суток, по магнитуде —  $M \geq 6$ .

Сомнения в реализуемости и даже уверенность в невозможности такого прогноза обсуждались еще в дискуссии [Nature Debates, 1999] сейсмологами США, Англии, Франции, Дании, Италии, Китая, Японии. Однако большинство профессионалов объяснили проявленный тогда пессимизм безуспешностью поисков четких и устойчивых предвестников сейсмокатастроф. Между тем уже тогда неудачи прогнозирования рассматривали как следствие фундаментальных особенностей эволюции нелинейных сильнонеравновесных сейсмогеосистем, а не только недостаточности методического и фактуального базиса.

Последующие наблюдения, новые фактические данные и современные методы их обработки, казалось бы, могли уже привести к единству мнений. Однако и ныне многие полагают, что требуемая эффективность краткосрочного прогноза может быть недостижима. Так, по Г.А. Соболеву [Соболев, 2003], в любом сейсмоактивном районе одновременно несколько участков земной коры (потенциальных очагов на разных стадиях развития) близки к пределу прочности. С той или иной вероятностью определимо только местоположение некоторых «кандидатов» на будущее сильное землетрясение. Его предвестники появляются

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра динамической геологии, профессор, докт. геол.-минерал. н.; e-mail: koronovsky@rambler.ru

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра динамической геологии, ст. науч. с., канд. геол.-минерал. н.; e-mail: fnaim@ya.ru

и исчезают многократно, их набор и форма проявления значительно варьируют, ложные предвестники неизбежны. Ретроспективные оценки предвестников нередко обнадеживают, прогнозные же, как правило, хуже. Краткосрочный прогноз отдельного землетрясения был бы аналогичен предсказанию отдельной молнии; он неосуществим сейчас и, по-видимому, в ближайшем будущем (учитывая еще и высокую ответственность за ложную тревогу).

По А.Д. Завьялову [Завьялов, 2006], в разных сейсмоактивных районах эффективность различных предвестников разная, но ни один предвестник не указывает точно время, место и силу грядущего землетрясения; трудно или невозможно даже ретроспективно оценить вероятности правильного прогноза ложной тревоги и среднего времени ожидания землетрясения после появления предвестника.

По И.Л. Гуфельду и др. [Гуфельд и др., 2011], даже там, где мониторинг непрерывен, краткосрочные предвестники катастроф ненадежны: они отражают другие процессы. В изменчивой геосреде фоновые ситуации быстро меняются на критические и наоборот. Надежды на современные вычислительные методы и эксперименты по разрушению монолитных лабораторных образцов для обнаружения аномалий-предвестников оказались несостоятельны (пропуск момента землетрясения 11.03.2011 г. в Японии). Не исключено, что краткосрочный прогноз с требуемой точностью вообще нереализуем.

Сегодня вполне очевидно: обоснованно точного, устойчиво надежного и применимого на практике краткосрочного прогноза сейсмokatastroф нет. Для разрушительных землетрясений последних десятилетий не было прогнозов убедительных и определенных настолько, чтобы своевременно были приняты меры безопасности (исключения единичны). Предсказания времени и магнитуды с последующим подыскиванием по всей Земле мест реальных землетрясений, подходящих к этим данным, трудно принимать всерьез. Сомнительны и «успешные» прогнозы, объявляемые постфактум. Нередко в дискуссиях о реализуемости краткосрочных прогнозов вместо них фигурируют такие, где допуски по точности места, времени и магнитуды приемлемы лишь для средне- и долгосрочных прогнозов. Число оправдавшихся прогнозов не сопоставляется с количеством ложных тревог и пропусков цели. По И.Л. Гуфельду и др. [Гуфельд и др., 2011], пропуск Японского землетрясения и других недавних катастроф — не просто провал, это *вызов современной цивилизации*.

Таким образом, сегодня **проблема не в том, есть ли краткосрочный прогноз, а в том, почему его нет и возможен ли он в будущем**. Существующие взгляды полярны и не обнаруживают тенденции к сближению. Между тем вполне очевидно, что все новые и новые попытки получить надежный и точный прогноз порождены не одной только его практической востребованностью, но и не менее действенной

априорной убежденностью в его принципиальной осуществимости. И тут возникает вопрос...

**Почему землетрясения «должны быть» прогнозируемы?** Обычный ответ — в способе, которым пытаются решить проблему. При всех разногласиях относительно дальнейшего преобладает мнение о необходимости накапливать новые факты о ходе и последствиях сейсмотектогенеза, совершенствовать методы регистрации и интерпретации данных. Именно так действуют большинство исследователей, в том числе те, кто якобы уже достиг 90- и даже 100%-й оправдываемости прогноза.

Зачем нужны новые данные? Полагают, что более полные и подробные описания прошлых событий, их предвестников, условий возникновения, стадийности развития необходимы для **прогнозирования по аналогии** — по принципу *если в определенных условиях процесс, проходивший с определенной стадийностью, завершился событием определенного типа в прошлом, то в аналогичных условиях такой же процесс с той же стадийностью породит событие того же типа в будущем*. Но события в условиях, не тождественных прежним, непременно будут непохожи на прошлые. Эффективна ли такая аналогия?

Наиболее ожидаемый ответ: отличия в условиях зарождения и развития исследуемого процесса (в разное время, в разных местах), если они невелики, хотя и меняют его результат, но пропорционально величине таких отличий, т.е. также незначительно. В общем случае при неоднократности, случайности и разнозначности подобных отклонений они существенно взаимокompенсируются, приводя в итоге не к абсолютно точному, но статистически приемлемому прогнозу. Ожидать же резких изменений хода процесса, больших ошибок прогноза следует, лишь если на процесс начнет воздействовать извне что-то чрезвычайное, а потому маловероятное. Оснований для проявления каких-либо *внутренне присущих* самому процессу особенностей, принципиально препятствующих прогнозированию, не усматривают.

Отсюда следует основополагающая идея, которой традиционно руководствуются в прогнозных исследованиях: *небольшие вариации условий хода процесса должны породить пропорциональные, предсказуемо небольшие вариации результата*. Допустив обратное, пришлось бы признать нереальность любого прогноза, который в этом случае оказывался бы неопределенно сильно зависимым от малейших ошибок в оценке начальных условий. Бессмысленны были бы подробные описания прошлых явлений, от которых будущие события и условия заведомо отличались бы прежде всего именно в деталях, а эти малые отличия приводили бы к сколь угодно большим ошибкам в прогнозе. Упомянутое допущение кажется неоправданным, постулат же заведомой предсказуемости воспринимается с доверием.

Но именно он и вытекающие из него утверждения поставлены под сомнение в рамках **нелинейной**

**динамики.** *В поведении большинства даже простейших систем существует горизонт предсказуемости, отодвинуть который в будущее невозможно.* Их эволюция может быть описана нелинейными дифференциальными уравнениями без случайных факторов. Но решения ввиду неабсолютно точного задания начальных условий в определенной близкритической области значений параметров становятся неустойчивыми, неоднозначными. И то или иное из них физические системы реализуют в особых *точках бифуркации* случайным образом. Результат — хаотическое поведение решений вполне детерминистических уравнений. В таких режимах функционирования даже малейшее изменение начальных условий быстро разводит исходно близкие траектории состояний систем. *Неустойчивость прогноза обусловлена не воздействием множества трудноучитываемых факторов, не знанием законов эволюции, а невозможностью оценить/здать начальные условия с бесконечно большой точностью.* Отвечает ли такая теоретическая схема опытным данным о зарождении и развитии сейсмогенного разрывообразования?

**Механизм непредсказуемой подготовки.** В экспериментах не раз показано, что процесс предразрушения вначале порождает дефекты кристаллической решетки минералов, затем — микротрещины, их цепочки, «микроразрывы» с последующими их взаимосочленениями и разрастаниями до мезоразрывов. Последние позже стягиваются к некоторому макросечению, образуя вначале неровную цепочку, в итоге спрямляемую завершающим цикл магистральным разрывом. К этому моменту в нагружаемом объеме успевает сформироваться множество цепочек, а из них — множество спрямленных нарушений разного масштабного уровня. Они, взаимосочленяясь под разными углами, блокируют рост одних дислокаций и ускоряют разрастания других, формируя сеть разноранговых ячеек, в которых активность успевших возникнуть нарушений затухает.

Каждый акт раскалывания на любом масштабном уровне порождает у концов разрыва концентрацию напряжений, возмущающих динамическое поле более низкого ранга, где начинается формирование вторичных нарушений, геометрически и кинематически согласующихся не непосредственно с исходным регулярным полем напряжений, а с конфигурацией его возмущений, которые перестраиваются при возникновении каждого очередного разрыва. Но и у окончаний любого вторичного разрыва возникают собственные концентрации напряжений, а в них — свои вторичные нарушения («третичные» по отношению к первичному разрыву). Нарушения разных генераций активизируются или затухают в зависимости от множественных непредсказуемых перестроек полей напряжений того или иного ранга, что чрезвычайно осложняет общую картину. Это в свою очередь непредсказуемо предопределяет места, ориентации сместителей и направления более

поздних подвижек. Возникает глубоко иерархичная грубодискретная фрактальная структура с малокоэффициентным размерным соотношением разноранговых объемов от 5:1 до 2:1 [Садовский, Писаренко, 1991], с неустойчивым в деталях поведением, которое зависит от малейших изменений начальных структурных и динамических условий.

Предсказуемо ли положение итогового макроскола при известной ориентации оси действующих в данном объеме сжимающих напряжений? Согласно представлениям механики, сквозные сколы должны быть ориентированы с учетом прочности материала под углом от  $\pm 30$  до  $\pm 45^\circ$  к оси напряжений максимального сжатия, причем правое и левое направления теоретически равноблагоприятны для скалывания. Реальный выбор (в точке бифуркации) одного из них случаен — зависит от флуктуаций в системе или от малых внешних возмущений. Множество сечений избранной ориентации бесконечно велико, и все они как потенциальные поверхности скалывания в общем случае теоретически также равноблагоприятны. Выбор и в этом случае непредсказуем — он зависит от вариаций прочности из-за случайно распределенных микродефектов структуры. При близких величинах главных нормальных напряжений возможны не-однократные и непредсказуемые скачкообразные переиндексации осей напряжений с соответствующей переориентацией последующих первичных и вторичных нарушений.

В грубодискретной, фрактально структурированной геосреде хаотичность процессов деформирования и разрушения возникает при прохождении множества точек бифуркации — в любом объеме каждого ранга. Учитывая среднее соотношение линейных размеров вмещающего и вмещаемых объемов около 3,5:1 и принимая размер зерна породы равным 1 мм, получим, что в массиве размером 50–60 км находятся объемы 15–16 рангов. И на каждом из них в ходе развития разрывообразования от мелких к крупным нарушениям происходит непредсказуемый выбор единичных конкретных ориентаций и сечений скалывания из числа теоретически равновозможных. *Для прогнозирования места, ориентации, амплитуды и времени конкретного итогового макроскалывания нужно располагать не менее чем бесконечно точными сведениями о начальной структуре и напряженном состоянии данного массива на каждом ранге его строения начиная от микроскопического.*

**Традиционная стратегия прогнозирования землетрясений.** Задачи сеймопрогнозирования — дать параметры ожидаемой катастрофы с такой точностью и надежностью, чтобы избежать: 1) ложной тревоги; 2) пропуска цели. Традиционная основа решения — два постулата: а) выделение предвестниковой литосферной структурной и/или динамической аномалии; б) малая чувствительность сейсмического процесса к изменениям начальных условий. Первый постулат (а) предполагает контрастную обособленность единичной

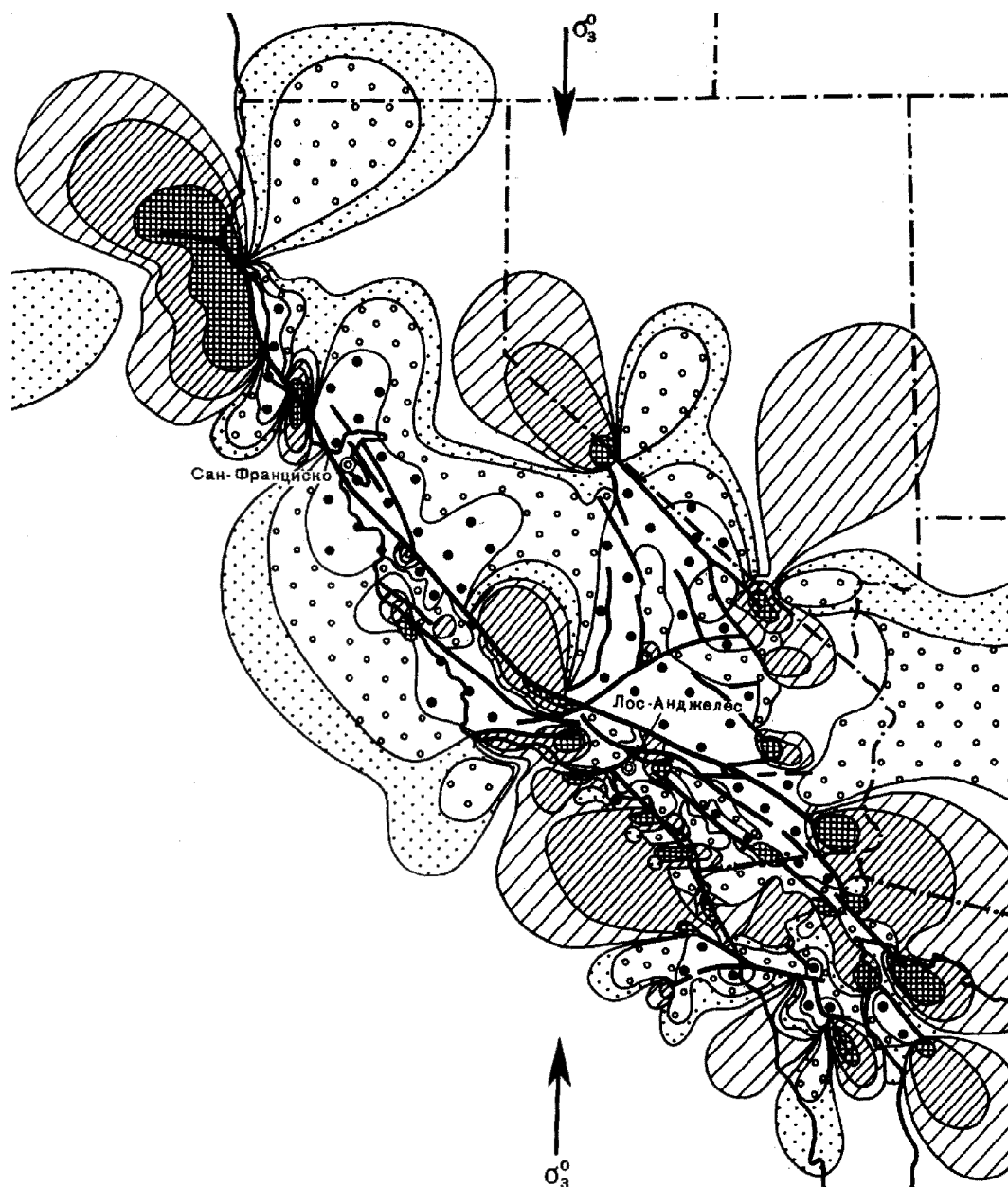


Рис. 1. Разноранговое поле напряжений  $\tau_{\max}$  и разрывы Калифорнии, по [Осокина и др., 1979], фрагмент

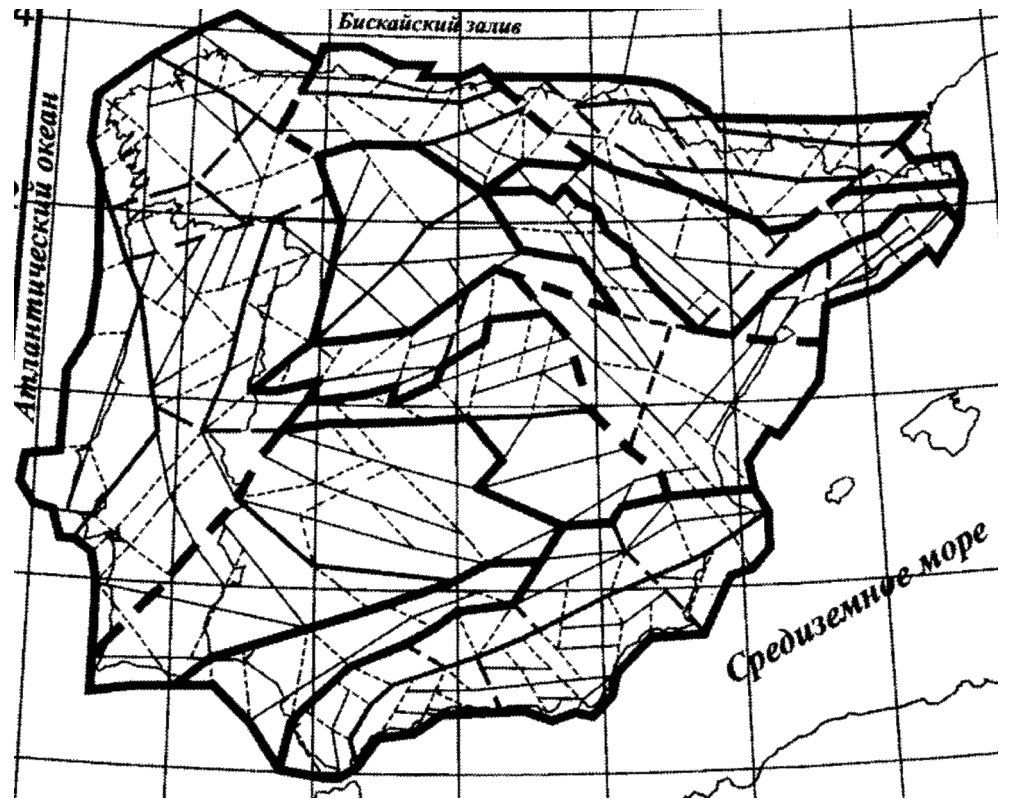
аномалии-предвестника во времени и на окружающем относительно однородном пространственном фоне. Отсюда следует правомерность второго постулата (б) и решаемость одновременно обеих задач.

Но в реальной грубодискретной фрактальной геосреде с *неконтрастно различающимися макро-, мезо- и микроаномалиями* (рис. 1–3) первый постулат (а) неправилен: там *выявляется не один, а несколько потенциально опасных очагов*. Определение среди них наиболее опасного, казалось бы, *снизит вероятность ложной тревоги* (задача 1). Но так как любая из аномалий-предвестников *неединична и неконтрастна* среди других того же ранга, *одновременно повышается вероятность пропуска события, что препятствует решению задачи 2*.

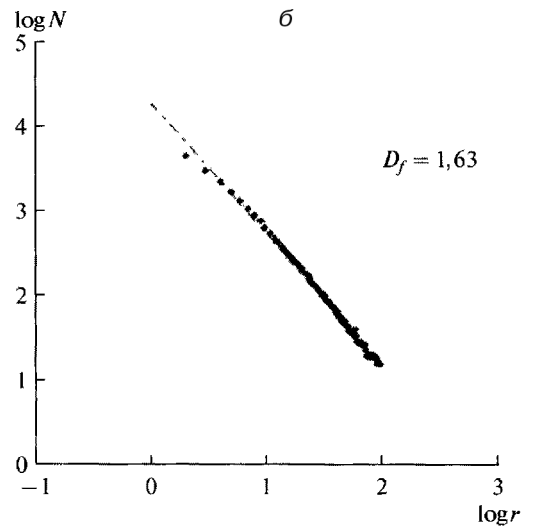
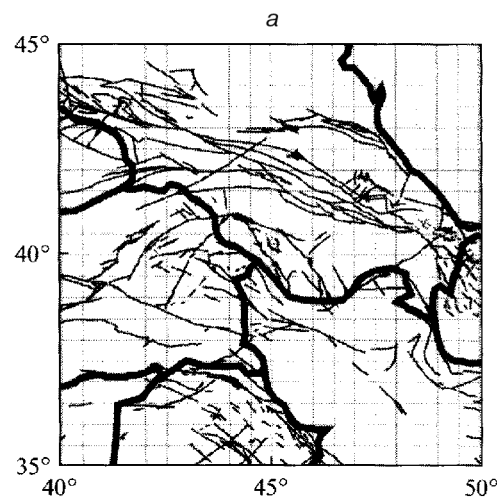
Второй постулат (б) в реальности применим на небольшом удалении системы от исходного равно-

весия, в условиях слабого нагружения, когда среда ведет себя, как существенно сплошная. В интенсивно нагружаемой, грубодискретно и фрактально самоорганизующейся среде должна проявляться нелинейность с сильной и непредсказуемой зависимостью хода процесса от малейших изменений начальных условий, с детерминированно-хаотическим характером эволюции в условиях сильной неравновесности, когда второй постулат (б) неприменим. *Можно предвидеть характер процесса в целом, его стадии, тип аттрактора, сценарии перехода от стадии к стадии, но удачные надежные и точные краткосрочные прогнозы конкретных событий хотя не исключены, однако, должны быть единичны и неустойчивы*, что и наблюдается. Не отрицаются реальность подготовки землетрясения, наличие и методические возможности выявления предвестников, но их наборы для разных

Рис. 2. Разноранговая блоковая делимость Пиренейского п-ова, по [Горшков, 2010]



А



Б

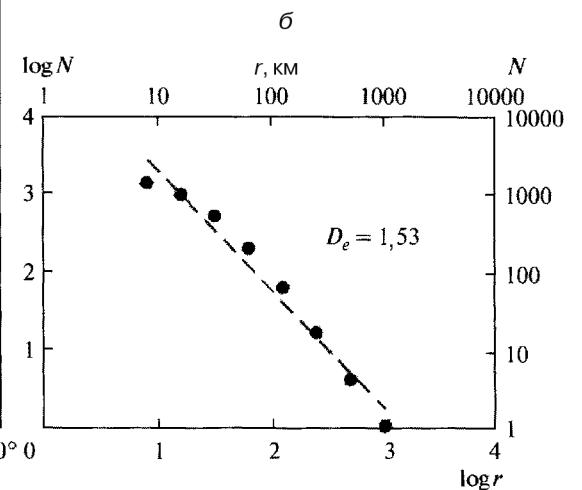
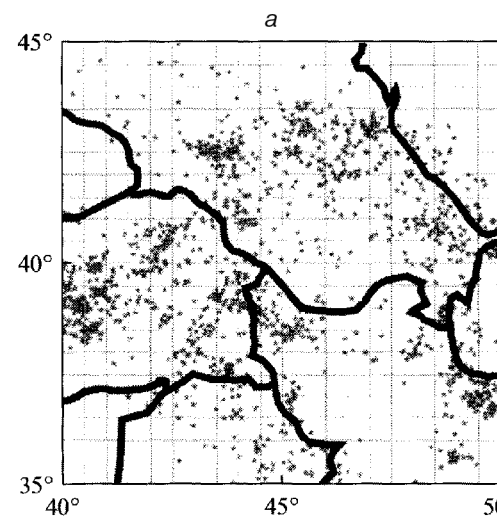


Рис. 3. Определение фрактальной размерности  $D_f$  для Кавказа: А — системы разломов: а — покрытие разломной сети клетками размера  $r$ ; б — зависимость числа клеток  $N$  от размера  $r$  в двойном логарифмическом масштабе ( $D_f = 1,63$ ); Б — распределение эпицентров землетрясений: а — покрытие эпицентрального поля клетками размера  $r$ ; б — зависимость числа клеток  $N$  от размера  $r$  в двойном логарифмическом масштабе ( $D_e = 1,53$ ), по [Zakharov, 2011]

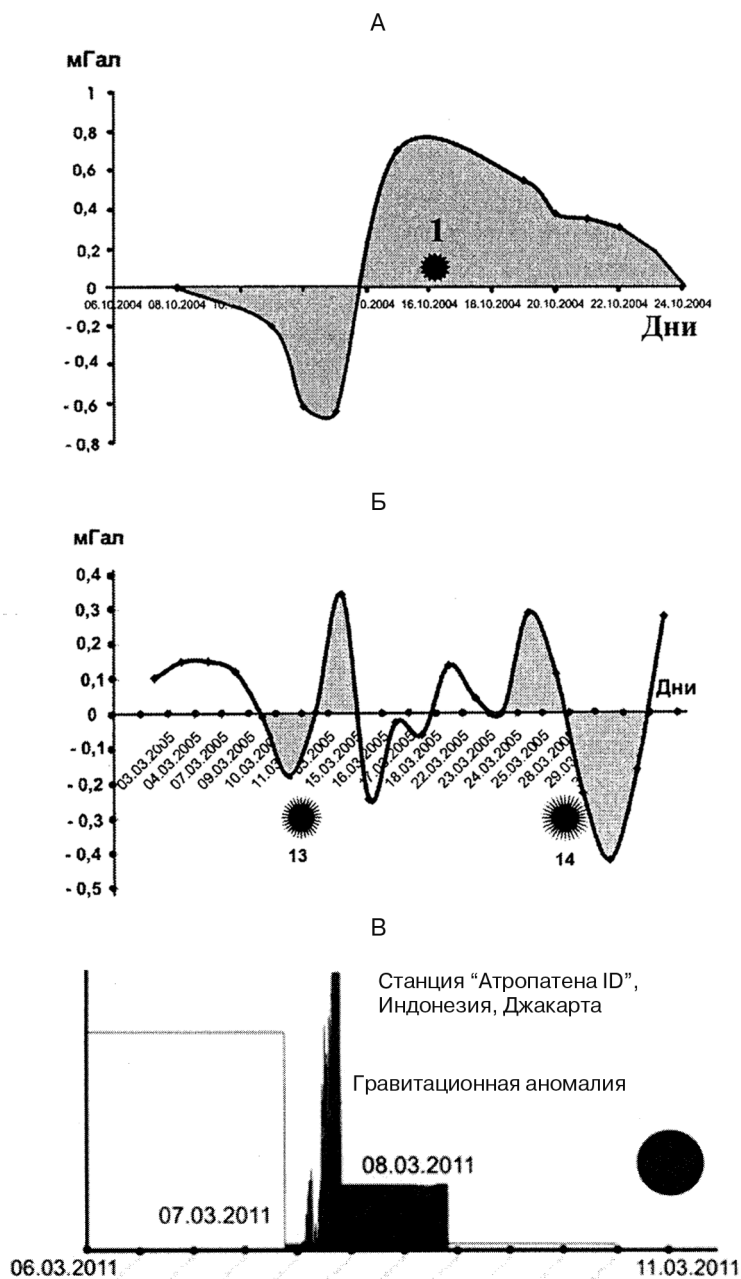


Рис. 4. Временные соотношения вариаций силы тяжести и землетрясений, по [Хаин, Халилов, 2009]: А — аномалии гравитационного поля перед землетрясением на Тайване (15.10.2004); Б — то же перед землетрясениями в Южном Иране (13.03.2005) и Индонезии (28.03.2005); В — гравитационная аномалия перед землетрясением в Японии (11.03.2011), по [Khalilov, 2011]

землетрясений непредсказуемо разные, а неединичность и неконтрастность выделенности предвестника (например, предкатастрофической структурной консолидации [Любушин, 2007, 2011]) наиболее опасного землетрясения среди других аномалий вытекают из общего характера структуры геосреды. Неизбежны ошибки ложной тревоги и пропуска цели, т.е. задачи 1 и 2 нерешаемы.

#### О проверке эффективности прогнозных стратегий.

Никакая совокупность *наличных* наблюдательных и экспериментальных фактов не гарантирует *будущей* эффективности никакой прогнозной стратегии и так-

тики. Но в качестве ориентиров на перспективу могут рассматриваться научные положения, давно приобретшие статус теоретических фактов: 1) при интенсивном нагружении геосреда ведет себя как грубодискретная фрактальная с неустойчивыми связями ее параметров и характеристик очагов землетрясений; 2) в такой обстановке нелинейный, бифуркационный процесс разрывообразования чрезвычайно чувствителен к малейшим вариациям начальных и текущих условий; 3) нелинейная сильнонеравновесная сейсмогеодинамическая система эволюционирует детерминированно-хаотически: фазы предсказуемой эволюции разделяются бифуркациями, что обуславливает *принципиальную непредсказуемость* любыми методами места и времени перехода к неустойчивости, высокую вероятность разрастания любой трещины в крупный сейсмогенный разрыв. **Для успешного прогноза нужно знать начальные условия абсолютно точно. Из-за невозможности этого редкие удачи можно объяснить заниженными требованиями к прогнозу и случайными совпадениями с реальностью.**

Любой эмпирический факт относится к тому, *что уже произошло*, и ничего не говорит о том, *что предстоит*. Теоретические же факты ясно указывают на *принципиальную непредсказуемость* момента перехода к неустойчивости с «выбором» какого-то одного из нескольких неотчетливо различных по подготовленности «кандидатов» в очаги. Только с учетом таких фактов логически корректное теоретическое обоснование могло бы дать уверенность в прогнозе, но и оно, нуждаясь в опытной проверке (вновь характеризующей то, что уже произошло, и ничего не говорящей о будущем), всегда остается гипотетическим [Короновский, Наймарк, 2009; Наймарк, 2009].

**Примеры из практики.** Э.Н. Халилов [Khalilov, 2008] признает нелинейность, хаотичность сейсмического процесса, неустойчивость близочаговых изменений геосреды и как следствие малую информативность соответствующих локальных предвестников. Более информативны (достоверность около 90%!) далекодействующие предвестники, отражающие реакцию среды на прохождение низкоскоростных длиннопериодных тектонических волн от созревающих очагов сильных землетрясений, удаленных от сейсмостанций на 10 000 км и более. Зарождение волн связывается с перестройками напряженно-деформированного состояния литосферы и с вязкоупругой реакцией астеносферы; связь с конкретными очагами декларируется *постфактум* — после землетрясений в том или ином удаленном районе.

Оправданны ли эти надежды? Логично полагать, что источниками таких волн, хотя и несколько мень-

шей интенсивности и дальности действия, могут быть потенциальные очаги *не только сильных землетрясений*, но и их форшоков, у которых были свои форшоки со своими очагами и исходящими из них волнами. Это соответствует представлениям о фундаментальном самоподобии структуры и автомодельности эволюции геосреды. Другая особенность геосреды — грубая «кусковатость» — должна обуславливать неотчетливую ранговую идентифицируемость сейсмогенных объемов. Неодинаковыми как на разных рангах, так и внутри рангов должны быть глубинность, форма, плотность размещения, «зрелость», скорость и сроки «созревания» очагов. Все это должно усложнять как общую картину возбуждения и распространения тектонических волн, так и задачу точного и надежного распознавания соответствующих сигналов как предвестников сильных землетрясений, разгружающих в определенные сроки те или иные конкретные очаги.

Все это верно и в отношении тех сейсмоактивных зон и очагов, через которые тектонические волны следуют «транзитом» на расстояния в тысячи километров до регистрирующих станций. Неизбежны интерференционные эффекты в проявлениях волн, следующих в разных направлениях в сложно построенной геосреде. Не исключено, что изменчивое во времени и пространстве совместное влияние состава и свойств пород, характера геоструктуры, флюидонасыщенности, глубинности, теплового потока на характер возникновения и распространения тектонических волн даст системный (несуммативный) результат, обладающий непредвидимыми качествами, не вытекающими из свойств каждого фактора в отдельности. В этих условиях сложно рассчитывать на обнаружение каких-либо устойчиво надежных предвестников.

Сомнения подкрепляет анализ опубликованных постфактум краткосрочных прогнозов землетрясений в Восточном полушарии Земли [Global..., 2011]: значения прогнозируемой магнитуды: >4; >4,5; >5; >5,5; >6; >6,5 и т.д.; диаметр прогнозируемых эпицентральных зон: для Японии — около 1000 км (площадь, равная Кавказу), Суматры — около 890 км, Явы — около 840 км, Ирана — около 630 км (большая часть площади страны, реальное землетрясение — у границы круга). Столь свободные для краткосрочных прогнозов допуски по магнитуде и месту события открывают широкие возможности трактовать частые в высокосейсмичных областях землетрясения как подтверждения тех или иных прогнозов.

Из 132 прогнозов (10.08.2009 — 21.12.2010) оправдались 122 (около 90%). Но характеризовать эффективность прогнозирования следует отношением

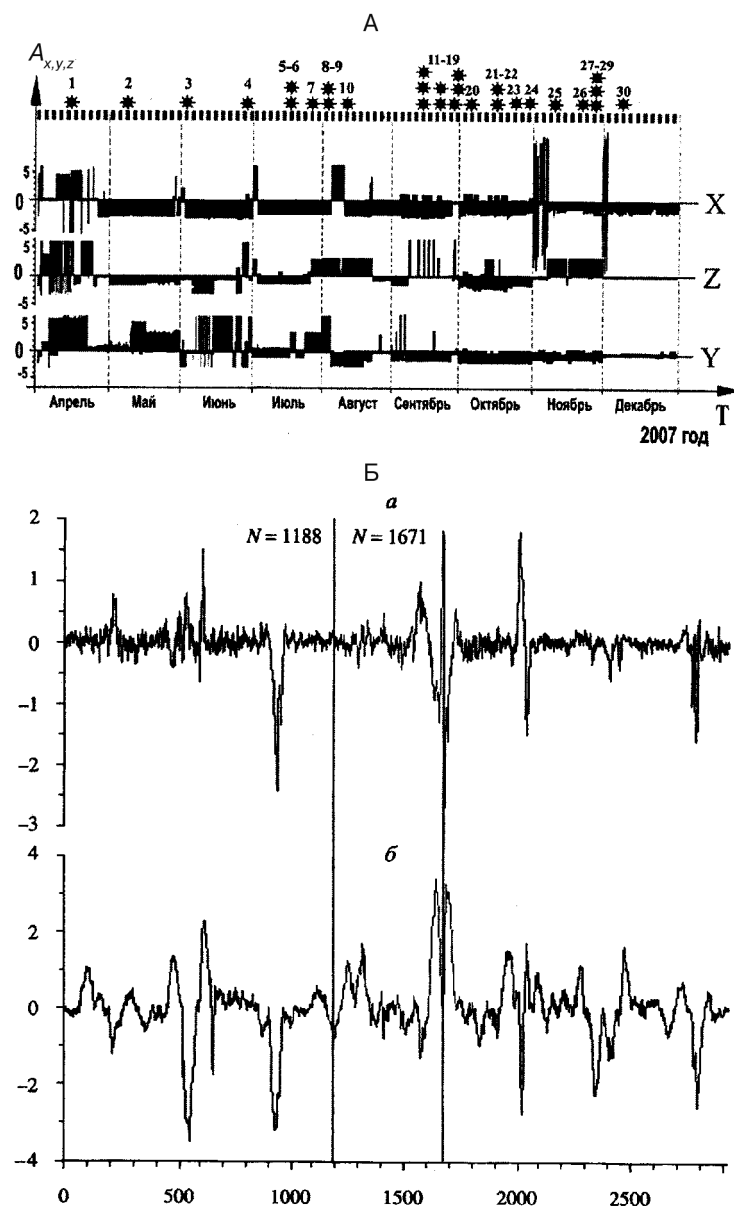


Рис. 5. Временные соотношения выявленных аномалий и землетрясений: А — график зарегистрированных вариаций гравитационного поля и землетрясений в Восточном полушарии Земли (апрель–декабрь 2007 г.), по [Хаин, Халилов, 2009]; Б — графики вейвлет-агрегированных сигналов временных рядов: сигналы — неробастный (а), робастный (б); вертикальные линии — моменты землетрясений в Китае: в Хайчэне (02.04.1975) и Ташане (28.06.1976), по [Любушин, 2007]

числа подтверждений не к общему числу *выданных прогнозов*, а к числу *реальных землетрясений* там же и за то же время. В указанный период в Восточном полушарии произошло, разумеется, не 132, а несколько тысяч (!) землетрясений с магнитудой от 4 и выше. Подавляющее большинство из них не было предсказано (пропуск цели), сигналы о них или не проявились, или не замечены, или не учтены, число ложных тревог не указано.

Заметим: в публикациях часто приводят эффектные фрагменты записей инструментальной регистрации аномалий за несколько дней до землетрясения (рис. 4). Но в длительных непрерывных наблюдениях

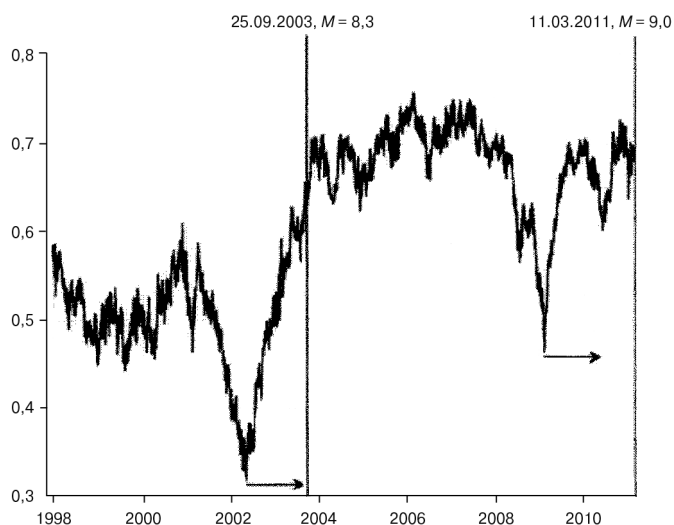


Рис. 6. Аномалии перед землетрясениями в Японии (25.09.2003 и 11.03.2011, вертикальные линии — моменты землетрясений), по [Любушин, 2011]

временные соотношения аномалий и землетрясений неоднозначны (рис. 5): совсем нередки аномалии без последующих землетрясений и землетрясения без отчетливых предшествующих аномалий.

И.П. Добровольский [Добровольский, 2009] показал, что по долгосрочным предвестникам определимы лишь место и энергия предстоящего землетрясения, по времени оно случайно, но есть признаки стадийности его подготовки. В качестве надежных выделены и описаны (единичные примеры) три типа аномалий-предвестников:

1) относительные **вертикальные движения**. Их теоретически рассчитанные максимальные значения перед землетрясениями могут в зависимости от принятых значений параметров среды различаться в 8 раз и более; согласие с эмпирическими данными усматривается лишь в их «общей пропорциональности». Ненадежно определяется используемая в расчетах глубина гипоцентра; ошибки возможны в оценках магнитуды и положения эпицентра. В ретропрогнозе по реальным предвестникам уже произошедших двух землетрясений их магнитуды и положения эпицентров в одном случае отвечают реальности, в другом — нет;

2) вариация **ускорения свободного падения**. Перед Таншанским землетрясением (Китай, 28.07.1976,  $M = 7,8$ ) максимальная аномалия оказалась в 2 раза меньше теоретически рассчитанной. Прогнозная магнитуда (7,8–7,9) близка к реальной, прогнозный эпицентр отстоит от реального на 110 км;

3) вариации **времени пробега сейсмических волн** из-за изменения их скорости при изменении модулей упругости и плотности среды на этапе подготовки землетрясения. Вкrest зоны подготовки Петропавловск-Камчатского землетрясения (1971,  $M = 7,2$ ) на удалениях в море 70 и 90 км монотонное возрастание времени пробега продольных волн со-

ответствует представлениям об увеличении размеров зоны подготовки. За 1968 г. экспериментальные значения времени пробега близки к расчетным. Прогноз магнитуды соответствует таковой произошедшего (через несколько месяцев) землетрясения. Теоретический очаг совпал с положением реального. Но результаты на удалении 110 км (1967, 1968) лишены, по И.П. Добровольскому, физического смысла.

Выводы И.П. Добровольского: 1) предвестники землетрясений реальны, но предвестник одного и того же (практически каждого) типа при одних землетрясениях фиксируется, а при других — нет; 2) прогнозу по *долгосрочным* предвестникам сложность геоструктур не препятствует, но в дальнейшем необходимо учитывать блоковость, зависимость свойств среды от глубины и длительной прочности; 3) проблема прогноза землетрясения — научная, методологическая и методическая — в принципе решена; следует переходить к ее практическому решению; 4) это не означает, что уже можно прогнозировать сейсмические события, но оценить целесообразность организации, затраты и ожидаемые результаты службы прогноза можно.

Очевидно, что первый вывод ставит вопрос: как заранее (а не постфактум) узнать, какой из признанных предвестников эффективен в конкретном случае, а какой — нет? Второй вывод содержит противоречие. Кроме того, поскольку рассматривается подготовка одиночного события, подразумевается, что других событий сопоставимой силы в окружающем пространстве нет, т.е. среда квазиоднородная и роль структуры незначительна. Но среда другая, относительно равноопасные потенциальные очаги могут быть не столь взаимоудаленными. Указанное, а также малочисленность рассмотренных примеров делают третий вывод не безусловным. А четвертый вывод ясно показывает, чего в действительности стóит третий вывод.

В работах А.А. Любушина [Любушин, 2007, 2011] землетрясение с  $M = 8,5 \div 9$  в Японии (точнее эпицентр был «предсказан» ретроспективно, постфактум) прогнозировалось сначала (в апреле 2010 г.) на июль 2010 г., затем от июля 2010 г. на неопределенный период, а произошло оно 11.03.2011 (чему не предшествовало уточнение времени события: судя по рис. 6, его можно было ожидать и раньше и позже). Долго- и среднесрочные прогнозы бывали успешными и прежде, но проблему краткосрочного прогнозирования это не решало. В данном случае неопределенная длительность ожидаемой опасности делала конкретные меры защиты нереальными. Краткосрочные же удачные прогнозы всегда были единичны: повторить успех по тем же предвестникам, что и ранее, не удавалось. И сейчас неизвестно заранее, где и насколько эффективны будут предвестники, действенность которых в среднесрочном временном интервале (9 месяцев) удостоверена А.А. Любушиным постфактум.



**Заключение.** Действительно ли непредсказуемость катастроф является вызовом современной науке? Будем исходить из фактов, давно обоснованных не только опытным путем, но и теоретически: 1) при интенсивном нагружении геосреда ведет себя как грубодискретная фрактальная; 2) в такой обстановке парадигма выделенности аномалии-предвестника сильного землетрясения несостоятельна, а процесс разрывообразования нелинеен и чрезвычайно чувствителен к малейшим вариациям начальных условий; 3) в результате нелинейная неравновесная сейсмогеодинамическая система эволюционирует детерминированно хаотически: периоды предсказуемой эволюции непредсказуемо разделяются бифуркациями (катастрофами). Принципиальная непредсказуемость направления послепредбифуркационной эволюции — фундаментальное положение теории нелинейной динамики.

Из сказанного следует *теоретически* аргументированный вывод: краткосрочная точная и устойчивая предсказуемость отдельных землетрясений в общем случае нереализуема ни сейчас, ни в дальнейшем никакими методами<sup>3</sup>. Немногие примеры «успешных» прогнозов объяснимы заниженными требованиями к их надежности и точности и случайными совпадениями с реальностью, а оптимистичные экстраполяции в будущее — завышенными оценками значимости таких единичных примеров.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Горшков А.И. Распознавание мест землетрясений в Альпийско-Гималайском поясе. М.: КРАСАНД, 2010. 472 с.

Гуфельд И.Л., Матвеева М.И., Новоселов О.Н. Почему мы не можем осуществить прогноз сильных коровых землетрясений? // Геодинамика и тектонофизика. 2011. Т. 2, № 4. С. 378–415.

Добровольский И.П. Математическая теория подготовки и прогноза тектонического землетрясения. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. 240 с.

Завьялов А.Д. Среднесрочный прогноз землетрясений: основы, методика, реализация. М.: Наука, 2006. 254 с.

Короновский Н.В., Наймарк А.А. Прогноз землетрясений — реальная научная перспектива или вызов науке? // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2009. № 1. С. 12–22.

Любушин А.А. Анализ данных систем геофизического и экологического мониторинга. М.: Наука, 2007. 228 с.

Любушин А.А. Анализ микросейсмического шума дал возможность оценить магнитуду, время и место сейсмической катастрофы в Японии 11 марта 2011 г. // НТР. 2011. Т. 90, № 1. С. 3–12.

Наймарк А.А. Грубодискретная фрактальность геологической среды и проблемы тектонофизического моделирования // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2009. № 5. С. 3–11.

Утверждение: «мы пока еще не можем прогнозировать землетрясения», равносильно утверждению: «мы пока еще не можем прогнозировать отдельные молнии в грозе, отдельные вихри в турбулентном потоке» и т.п. Мы не сможем *никогда* потому, что для (не абсолютно, но практически) надежного и точного прогнозирования нужно было бы знать начальные условия с *абсолютной точностью*.

С таких позиций *именно допущение прогнозируемости отдельных землетрясений необходимо рассматривать как вызов современной науке*, которая, открывая нелинейность и необратимость эволюции мира, развеивает иллюзии ее абсолютной заданности. Это фундаментальное открытие в науке обернулось драматическим и разочаровывающим «закрытием» весьма многообещающих ожиданий в практике, что, однако, и раньше не раз случалось в истории науки.

Тем не менее какие бы «несомненно достоверные и объективные» (реально — всегда в рамках тех или иных теоретических представлений) эмпирические факты ни привлекались, какие бы «успешные» прогнозы ни предъявлялись, *теоретический вывод о принципиальной невозможности краткосрочных, точных и надежных прогнозов конкретных событий в нелинейном процессе остается в силе* до тех пор, пока не опровергнуты упомянутые выше теоретические факты. Игнорируя их, никакая эмпирическая «фактура» никак и ничего дополнительно не докажет и не опровергнет.

Осокина Д.Н., Никонов А.А., Цветкова Н.Ю. Моделирование локального поля напряжений системы разломов Сан-Андреас // Поля напряжений и деформаций в литосфере. М.: Наука, 1979. С. 204–226.

Садовский М.А., Писаренко В.Ф. Сейсмический процесс в блоковой среде. М.: Наука, 1991. 96 с.

Соболев Г.А. Перспективы прогноза землетрясений // Проблемы геофизики XXI века. Кн. 2. М.: Наука, 2003. С. 158–178.

Хаин В.Е., Халилов Э.Н. Цикличность геодинамических процессов: ее возможная природа. М.: Научный мир, 2009. 520 с.

Global network for the forecasting of earthquakes // Navigation. Forecasting / Statistics of Forecasts. 2011. URL: [http://www.seismonet.org/pdf/ForecastStatistic\\_of\\_GNFE.pdf](http://www.seismonet.org/pdf/ForecastStatistic_of_GNFE.pdf)

Khalilov E.N. Forecasting of earthquakes: the reasons of failures and the new philosophy // Science without borders. Transactions of the International academy of science H&E. Vol. 3. 2007/2008, SWB. Innsbruck, 2008. P. 300–315. URL: [http://www.seismonet.org/pdf/Reasons\\_of\\_failure.pdf](http://www.seismonet.org/pdf/Reasons_of_failure.pdf)

Khalilov E.N. Statement of GNFE: Forecasting of Japanese Earthquake was given on 9 March. 2011. URL: [http://www.geochangemag.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=79:forecast-provided-by-gnfe-for-strong-japan-earthquake-m89-of-11032011...news...10](http://www.geochangemag.org/index.php?option=com_content&view=article&id=79:forecast-provided-by-gnfe-for-strong-japan-earthquake-m89-of-11032011...news...10)

<sup>3</sup> Когда статья была уже написана, пришло новое подтверждение наших выводов — серия неожиданных для властей, населения и ученых, никем не предсказанных сильнейших за последние 500 лет в Северной Италии землетрясений ( $M = 5,8 + 6,1$ ; 20–29.05.2012) — в самом сердце Европы, в окружении десятков сейсмостанций. Сотни людей пострадали, без крова остались 14 000 человек, причинен ущерб в полмиллиарда евро.

*Koronovsky N.V., Naimark A.A.* The forecast of earthquakes today: challenges and solutions // Book of Abstracts «Natural cataclysms and global problems of the modern civilization». World Forum — Internat. Congr. September 19–21. Istanbul, 2011. P. 34–35. URL: <http://www.2011.geocataclysm.org/pdf/abstract.pdf>

Nature Debates, 1999. URL: <http://www.nature.com...debates/earthquake...contents.htm>

*Zakharov V.S.* Analysis of the characteristics of self-similarity of seismicity and the active fault network of Eurasia // Moscow University Geol. Bull. 2011. Vol. 66, N 6. P. 385–392 (DOI: 10.3104/S0145875211060123).

Поступила в редакцию  
22.05.2012