

Ответ на рецензию статьи
П.П. Фирстова, Г.Н. Копыловой, А.В. Соломатина и Ю.К. Серафимовой
«О ПРОГНОЗИРОВАНИИ СИЛЬНОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ
В РАЙОНЕ ПОЛУОСТРОВА КАМЧАТКА»,
опубликованную в журнале «Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле»
(2016. № 4. Вып. 32. С. 106–114)

Публикация рецензии предполагает обоснованный, конкретный и систематизированный характер замечаний, так как только в таком виде они могут быть основой лаконичных и исчерпывающих ответов. К сожалению, рецензент пренебрег этим условием, что привело к необходимости ответа с кратким описанием методик и преимуществ метода ДолгоСрочного Сейсмического Прогноза (ДССП), созданного академиком С.А. Федотовым в конце 60-х годов прошлого столетия.

Прежде всего, рассмотрим насколько соотносятся метод ДССП и методы прогноза времени землетрясений, вероятно, подобные методу в работе рецензента (Викулин, 1992)?

Нигде в базовых оценках на основе метода ДССП не дается прогноз времени землетрясений. Вместо этого предлагается прогноз уровня сейсмической опасности вероятных мест таких землетрясений на, условно, пятилетний период (Федотов, 1968, 2005). При этом метод ДССП имеет ряд существенных достоинств по сравнению, скажем, с методом предложенным в работе (Викулин, 1992):

1. В работе (Федотов и др., 2011), а также в многочисленных работах других авторов в рамках базовой физической модели показано определяющее влияние на опасность сильнейших землетрясений локальных, внутренних, сейсмических процессов и истории их развития. Вместе с тем, в качестве дополнительных факторов могут быть учтены различные внешние процессы и периодичности разной природы (Гусев, 2008; Серафимова, Широков, 2012; Соломатин, 2014; Федотов и др., 2011; Хаин, Халилов, 2008). Метод ДССП позволяет органично включать их в целях уточнения. Вероятно, как и данные прогноза в (Викулин, 1992) при достаточном обосновании последних.

2. Модель рецензента не предполагает слежения за текущей сейсмичностью. В случае метода ДССП сейсмичность в брешах в качестве второго по важности показателя сейсмической опасности, позволяет корректировать прогноз, отслеживая изменения хода сейсмического процесса.

3. Мегаземлетрясение Тохоку по охваченной им площади эквивалентно продолжительной (1952–1974/1994 гг.) серии Южно-Курильских землетрясений, а по магнитуде — Камчатскому землетрясению 1952 г. Авторы не оспаривают детали схемы прогноза, представленной в (Викулин, 1992), но есть серьезные основания предполагать, что сейсмический процесс в районе Камчатки может в зависимости от совокупности различных факторов развиваться далее как по типу Южно-Курильской серии, так и по типу гигантского землетрясения Тохоку, охватывая часть Северных Курильских о-вов, Южную Камчатку и Авачинский залив. В методе ДССП заложен механизм учета обоих сценариев: используемое в нем суммирование на уровне оценок сейсмической опасности¹ выглядит вполне естественным и практичным.

4. Решение задачи сейсмического прогноза в виде оценки сейсмической опасности на достаточно малый для долгосрочного прогноза период, делает метод ДССП удобным для практического применения. Такие оценки служили и служат для реального планирования и реализации мероприятий важнейшей государственной задачи обеспечения сейсмобезопасности (Федотов, 2005; Федотов и др., 2015).

5. Важным отличием долгосрочных сейсмических прогнозов является неубывание сейсмической опасности в долговременном плане вплоть до момента сильнейшего события. Возможно замедление развития очага сильнейшего землетрясения факторами самой разной природы или переход его развития на более высокий энергетический уровень, но пластический сброс гигантских накопленных энергий маловероятен. Можно предположить, что

¹ Принцип построения оценок вероятностей в ДССП, а также ограничения их применимости изложены в многочисленных работах. Здесь можно добавить, что такие оценки близки к более устойчивой теории возможностей (Дюбуа, Прад, 1990). По крайней мере, в этом направлении прослеживается предыдущее и представляется дальнейшее развитие таких оценок.

указанной концепцией «замедлений развития сейсмического процесса» как раз и оправдывается широко применяемая практика продления краткосрочных-среднесрочных сейсмических прогнозов, но вряд ли имеет смысл подобный подход для долгосрочных прогнозов.

Сказанное подчеркивает тот факт, что на современном уровне знаний прогнозы времени землетрясения, как долгосрочные, так и средне-краткосрочные, недостаточно точны для практического применения (при этом их научное значение не оспаривается). Проблема сейсмического прогноза в практическом плане в настоящее время, по нашему мнению, должна решаться на основе комплексных оценок сейсмической опасности.

Что касается пространственных характеристик сейсмичности, предваряющей землетрясение, то здесь рецензент коснулся проблемы, актуальной и для многих других методов сейсмического прогноза. Она проявляется как в пространственных (как отмечено рецензентом), так и временных особенностях сейсмического процесса (Соболев, Пономарев, 2003). Некоторые успехи в решении этой задачи на основе обобщенного теоретического представления о сейсмических затишьях достигнуты в рамках ДССП (Соломатин, 2014).

Указанная проблема усугубляется перераспределением в энергетическом спектре сейсмичности, проявляющемся как в вариациях наклона графика повторяемости, так и в принципиальной нелинейности последнего. Развитие ДССП в этом, в значительной мере теоретическом, направлении предложено в (Соломатин, 2014).

Корень указанных проблем — в фундаментальных свойствах сейсмического процесса, его иерархичности и неустойчивости, а базовый, ключ решения этих проблем — в применении робастных, устойчивых оценок.

Устойчивость оценок метода ДССП в его базовой части достигается, во-первых, за счет взвешенного использования различных частей энергетического спектра сейсмического процесса, во-вторых — за счет усреднения данных, в-третьих — за счет объединения оценок опасности соседних участков, и, наконец, за счет ухода от проблемы прогноза времени землетрясения и принятия концепции уровня сейсмической опасности.

Естественным дополнением к сейсмическим прогнозам на основе базовых оценок сейсмической опасности являются уточняющие решения. Методики «сценарий форшоков», «сценарий афтершоков» и некоторые другие решения уже включены в стандартный метод оценки опасности в рамках ДССП, а общий потенциал раз-

вития в этом направлении вряд ли можно считать исчерпанным (Соломатин, 2014; Федотов и др., 2015).

Рецензент выразил сомнение в росте значений параметра сейсмической активности A_{10} на заключительной стадии сейсмического цикла. Предложенное обоснование этого сомнения не убедительно в силу ряда причин.

Прежде всего, отметим подтверждающие независимые данные по изучению опытных образцов (Соболев, Пономарев, 2003), изучению землетрясений (Родкин, 2008), данные по применению теории саморазвивающихся процессов (Малышев, Тихонов, 1991) и, как предполагается, наиболее общий теоретический результат о росте сейсмической активности на заключительной стадии разрушения материала (Владимиров и др., 2000). Сходные с (Соболев, Пономарев, 2003) результаты получены на значительно большем, по сравнению с данными для A_{10} , материале по дополнительному параметру — A_{11} . Здесь необходимо отметить, что в отличие от A_{10} , в параметре A_{11} учтены возможность нарушения линейности графика повторяемости, а также региональные поправки.

Более понятно сомнение рецензента, когда он указывает на взаимное влияние серии Южно-Курильских землетрясений (1952–1978/1994 гг.) в данных, представляющих последние уточненные графики сейсмического цикла параметра A_{10} в (Федотов и др., 2008; Федотов и др., 1980).

Здесь, прежде всего, необходимо отметить, что максимальные значения A_{10} на заключительной стадии сейсмического цикла зафиксированы в очагах землетрясений Южно-Курильской серии: Итурупского 1958 г., Шикотанского 1994 г., а также землетрясения в Камчатском заливе 1971 г., Средне-Курильского (Симуширского), 2006 г. По этому указанное сомнение рецензента не противоречит данным, полученным в работе (Федотов, 1968).

Таким образом, рост сейсмической активности на заключительной стадии сейсмического цикла, принятый в рамках метода ДССП, в достаточной степени достоверен.

Что касается уточнения прогнозов ДССП на основе «сценария форшоков», то критика рецензента выглядит странно: сначала им излагается его собственное представление о форшоках и методах работы с ними, а потом оно же и критикуется. Для объяснения сути недоразумения лучше всего обратиться к данным ряда работ (Федотов и др., 1993), в которых определена методика «сценария форшоков»: в качестве форшоков рассматриваются только сильные ($M \geq 6$) землетрясения и только произошедшие в области заранее определенных сейсмических

брешей. Практическая эффективность такого метода уточнения прогноза довольно высока².

Оправдываемость долгосрочных прогнозов по методу ДССП определять затруднительно из-за малой статистики. Тем не менее, его практическое применение охватывает период с 1965-1968 гг., что позволяет оценить оправдываемость на основе главного параметра — степени перекрытия очагами последующих землетрясений выделенных ранее сейсмических брешей (Федотов, 2015).

Актуальная методика построения очагов землетрясений описана в (Федотов и др., 1980), в ней допускается 20% их перекрытие. Последующее развитие сейсмичности предоставило только один повод усомниться в такой оценке: землетрясение у о. Хоккайдо в 2003 г. в значительной степени наложилось на очаг сильнейшего землетрясения 1952 г., еще не вступивший по времени в III стадию сейсмического цикла (Федотов и др., 2004). Однако, это землетрясение произошло в месте сложного тектонического узла, и не может считаться типичным.

Пара Средне-Курильских (Симуширских) землетрясений 2006-2007 гг. заполнила предсказанную сейсмическую брешь и, по сути, мало отличается от пары основное событие³ — афтершок. Предсказанные брешы заполнили Кроноцкое землетрясение 1997 г. и гигантское землетрясение Тохоку 2011 г. Неплохо, учитывая предыдущие события, сейсмическую брешь заполнило и Шикотанское землетрясение 1994 г.

² Показателен пример мегаземлетрясения Тохоку 11.III 2011 г. с $M = 9$, когда 9.III 2011 г. вблизи очаговой зоны произошло землетрясение с $M = 7.3$. Если бы это событие было рассмотрено в качестве вероятного форшока в сейсмической брешы, выделенной на основе ДССП в 2005 г., то это бы дало возможность сделать прогноз и существенно снизить катастрофические потери от гигантского землетрясения Тохоку и его цунами (Федотов и др., 2012).

³ Прогноз этого землетрясения по методу ДССП отнесен к числу лучших достижений в области наук о Земле за 2006 г.: «Геофизика. Выполнен полностью оправдавшийся прогноз Симуширского (Средне-Курильского) землетрясения 15 ноября 2006 года с магнитудой 8.2. При этом последовательно использованы разработанные в РАН методы выявления сейсмических брешей и стадий сейсмического цикла (долгосрочный прогноз), сейсмического затишья и форшоковой активизации (среднесрочный прогноз). Обосновывающие прогноз материалы представлялись в 2000, 2002, 2005 и 2006 годах в Экспертный совет по прогнозу землетрясений при РАН и МЧС России. Среднесрочный прогноз подтвержден за месяц до события при тестировании метода поиска прогностических цепочек землетрясений (алгоритм RTP) <http://www.ras.ru/scientificactivity/scienceresults/annualreport.aspx>.

Странно, что при упоминании правила непересечения очагов и перечислении статей на эту тему рецензентом не упомянуты более ранние статьи С.А. Федотова 1965 и 1968 гг., в которых использовано эквивалентное представление о «сейсмических брешах». Рецензент или не знаком с указанными фундаментальными публикациями, или «забыл» их. Так же, как и статью (Федотов и др., 1980), в которой он был соавтором. Между тем, многие обсуждаемые в рецензии вопросы решены в ней.

Заключительная часть рецензии, если отбросить сугубо личные оценки рецензента, сводится к обвинению в «застывании» методики на уровне 30-летней давности. Исчерпывающий ответ на это обвинение потребовал бы значительно больше места. Но здесь ответ важен принципиально, поэтому он дан в кратком виде, расширить который имеет смысл разве что полным списком соответствующих работ, который можно составить последовательно по периодам на основе работ (Соломатин, 2014; Федотов, 2005; Федотов и др., 2015).

Развитие метода ДССП повторяет развитие многих других революционных идей: бурное начальное развитие, определяющее наиболее глубокие основы и базовые возможности метода, затем следует период экстенсивного развития и планомерной, методичной практической работы. Складывается впечатление, что рецензент не знаком с успешными прогнозами Шикотанского (1994), Кроноцкого (1997), Симуширского (2015) землетрясений, не представляет себе современных параметров, используемых в ДССП для построения прогнозов, не знаком с работами по детальному исследованию этих параметров, со «сценарием форшоков», методами построения вероятностных оценок в ДССП и т.п.

В заключение необходимо подчеркнуть практическую пользу метода ДССП и постоянную многолетнюю деятельность его автора, академика С.А. Федотова, по популяризации результатов сейсмического прогноза и доведению их до административных государственных органов. И здесь нужно отметить позитивные преобразования г. Петропавловск-Камчатский в направлении выполнения программ по усилению зданий и сооружений, повышению их сейсмостойкости.

Список литературы

- Викунин А.В.* Прогноз времени сильнейших землетрясений у берегов Камчатки и Северных Курил // Вулканология и сейсмология. 1992. № 1. С. 62–69.
- Владимиров В.А., Воробьев Ю.Л., Малинецкий Г.Г., и др.* Управление риском. Риск, устой-

- чивое развитие, синергетика. М.: Наука. 2000. 432 с.
- Гусев А.А. О реальности 56-летнего цикла и повышенной вероятности сильных землетрясений в Петропавловске-Камчатском в 2008–2011 гг. согласно лунной цикличности // Вулканология и сейсмология. 2008. № 6. С. 55–65.
- Дюбуа Д., Прад А. Теория возможностей. Приложения к представлению знаний в информатике: Пер. с фр. М.: Радио и связь. 1990. 288 с.
- Мальшев А.И., Тихонов И.Н. Закономерности динамики форшок-афтершоковых последовательностей землетрясений в районе Южных Курильских островов // ДАН. 1991. Т. 319. № 1. С. 134–137.
- Родкин М.В. Сейсмический режим в обобщенной окрестности сильного землетрясения // Вулканология и сейсмология. 2008. № 6. С. 66–77.
- Серафимова Ю.К., Широков В.А. Прогнозирование сильных землетрясений, вулканических извержений и цунами для различных регионов Земли на основе изучения их связи с лунным приливом 18.6 г. и 22-летним Хейловским циклом солнечной активности // Сейсмологические и геофизические исследования на Камчатке. К 50-летию детальных сейсмологических наблюдений / Под ред. Гордеева Е.И., Чеброва В.Н. Владивосток: Новая книга, 2012. С. 305–328.
- Соболев Г.А., Пономарев А.В. Физика землетрясений и предвестники. М.: Наука, 2003. 270 с.
- Соломатин А.В. Развитие теории и методологии долгосрочного сейсмического прогноза для Курило-Камчатской дуги (С.А. Федотова). Диссертация на соискание ученой степени к.ф.-м.н. Ссылка: <http://www.dslib.net/geo-fizika/razvitie-teorii-i-metodologii-dolgosrochnogo-sejsmicheskogo-prognoza-dlja-kurilo.html>.
- Федотов С.А. О закономерностях распределения сильных землетрясений Камчатки, Курильских островов и северо-восточной Японии // Тр. ИФЗ АН СССР. 1965. № 36. С. 66–93.
- Федотов С.А. О сейсмическом цикле, возможности количественного сейсмического районирования и долгосрочном сейсмическом прогнозе // Сейсмическое районирование СССР. М.: Наука, 1968. С. 121–150.
- Федотов С.А. Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги. М.: Наука, 2005. 302 с.
- Федотов С.А., Соломатин А.В. Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги на IX 2013 — VIII 2018 гг.; особенности сейсмичности дуги в период предшествовавших глубоких охотоморских землетрясений 2008, 2012 и 2013 гг. с $M = 7.7, 7.7$ и 8.3 // Вулканология и сейсмология. 2015. № 2. С. 3–19.
- Федотов С.А., Соломатин А.В., Чернышев С.Д. Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги на 2004–2008 гг. и ретроспективный прогноз Хоккайдского землетрясения 25 сентября 2003 г. $M = 8.1$ // Вулканология и сейсмология. 2004. № 5. С. 3–22.
- Федотов С.А., Соломатин А.В., Чернышев С.Д. Афтершоки и область очага Средне-Курильского землетрясения 15.11.2006 г., $M_s = 8,2$; Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги на 6.2008–3.2013 гг. // Вулканология и сейсмология. 2008. № 6. С. 3–23.
- Федотов С.А., Соломатин А.В., Чернышев С.Д. Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги на IX 2010 — VIII 2015 гг., достоверность предыдущих прогнозов и их применение // Вулканология и сейсмология. 2011. № 2. С. 3–27.
- Федотов С.А., Соломатин А.В., Чернышев С.Д. Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги на IX 2011 — VIII 2016 гг.; вероятные место, время и развитие следующего сильнейшего землетрясения Камчатки с $M \geq 7.7$ // Вулканология и сейсмология. 2012. № 2. С. 3–26.
- Федотов С.А., Чернышев С.Д., Чернышева Г.В., Викулин А.В. Уточнение границ очагов землетрясений с $M \geq 7\frac{3}{4}$ свойств сейсмического цикла и долгосрочного сейсмического прогноза для Курило-Камчатской дуги // Вулканология и сейсмология. 1980. № 6. С. 52–67.
- Федотов С.А., Чернышева Г.В., Шумилина Л.С. Оценка сейсмической опасности землетрясений с $M \geq 6$, сопровождающих сильнейшие ($M \approx 8$) тихоокеанские землетрясения // Вулканология и сейсмология. 1993. № 6. С. 3–12.
- Хаин В.Е., Халилов Э.Н. Пространственно-временные закономерности сейсмической и вулканической активности. Burgas: SWB. 2008. ISBN 978-9952-451-00-9. 304 с.

П.П. Фирстов, д. ф.-м. н.,
зав. лабораторией КФ ФИЦ ЕГС РАН
Г.Н. Копылова, д. г.-м. н.,
зав. лабораторией КФ ФИЦ ЕГС РАН
А.В. Соломатин, к. ф.-м. н.
с. н. с. ИВиС ДВО РАН
Ю.К. Серафимова,
с. н. с. КФ ФИЦ ЕГС РАН