

Дискуссии

УДК 550.38

Наука кончается там, где кончается дискуссия!
П.Л. Каница

О ДОЛГОСРОЧНОМ СЕЙСМИЧЕСКОМ ПРОГНОЗЕ С.А. ФЕДОТОВА

© 2017 А.В. Викулин

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, 683006

Анализируется методика долгосрочного сейсмического прогноза (ДССП), разработанная С.А. Федотовым в 1960-х гг. для Курило-Камчатской дуги и Северо-Восточной Японии. Показано, что форшоковая стадия является статистически незначимой и геодинамически (и сейсмологически, и геофизически) не обоснованной. В рамках ДССП невозможно прогнозировать ни времен будущих сильнейших землетрясений, ни «уровня сейсмической опасности вероятных мест сильных землетрясений». Практически, эффективное решение проблемы прогноза землетрясений возможно только в рамках динамических моделей геодинамического процесса, учитывающих взаимодействие очагов сильнейших землетрясений (блоков геосреды) между собой и его особенности.

Ключевые слова: сейсмическая активность, цикл, форшоки, геодинамический процесс, прогноз землетрясений.

Статья поступила в редакцию за неделю до кончины А.В. Викулина и публикуется в авторской версии при минимальной редакторской правке.

ВВЕДЕНИЕ

Настоящая статья является продолжением рецензии (Викулин, 2017а) на статью (Фирстов и др., 2016). Следует отметить, что в ответе (Фирстов и др., 2017) (далее «Ответ») на рецензию ее авторы или, вероятно, один из них, «ответственный» за метод ДолгоСрочного Сейсмического прогноза (ДССП), так и не дали удовлетворительные ответы на основные вопросы, поставленные рецензентом.

Нежелание авторов статьи (Фирстов и др., 2016) и «Ответа» (Фирстов и др., 2017) отвечать на поставленные конкретные вопросы и послужило толчком для опубликования настоящей работы. Кратко комментарии автора-рецензента к работе (Фирстов и др., 2016) и «Ответу» (Фирстов и др., 2017) сводятся к следующему.

1. Возможно, чрезмерная самоуверенность и нежелание признать авторами факт слабого

знания ими реальных особенностей сейсмичности, в том числе и сейсмичности изучаемой Курило-Камчатской дуги, и определил стиль «Ответа» как «небрежный» и вызвал некоторую «агрессию» авторов (Фирстов и др., 2016, 2017) в адрес рецензента. Сначала в «Ответе» рецензенту было указано на то, что он слабо разбирается в элементарных вопросах сейсмологии и «излагает собственные представления о форшоках и методах работы с ними» (Фирстов и др., 2017, с. 100). Затем авторы «Ответа» выразили сомнения в компетентности рецензента в знании методики ДССП: «Рецензент или незнаком с фундаментальными публикациями» 1965 и 1968 гг. С.А. Федотова, «либо «забыл» их» (Фирстов и др., 2017, с. 101). Очевидно, авторы и статьи, и «Ответа» слабо знакомы с работами рецензента, который изучение основ сейсмологии, геофизики и геодинамики начинал с изучения именно этих работ С.А. Федотова (Федотов, 2005; Федотов и

др., 1969) и достиг в этом и других направлениях определенных результатов (Викулин, 1990, 1992а, 1992б, 1996а, 1996б, 1998, 1999, 2003, 2009, 2011, 2017б; Викулин и др., 2016; Vikulin et al., 2012).

В «Ответе» используется и другой, к сожалению, иногда встречаемый способ ответа на вопросы — перевод обсуждения сути затронутых рецензентом возражений на близкие проблемы, что уже видно из текста первого же абзаца «Ответа», в котором, как полагают его авторы, рецензент «пренебрег» условиями обоснованности, конкретности и системного характера замечаний (Фирстов и др., 2017).

2. Значительная часть «Ответа» посвящена критике работы (Викулин, 1992б), которая завершается утверждением, никак рецензентом не оспариваемым, что «проблема сейсмического прогноза ... должна решаться на основе комплексных данных сейсмической опасности» (Фирстов и др., 2017, с. 100). Следует отметить, что используемый в методе ДССП «принцип оценок вероятностей», приводящий «к более устойчивой теории возможностей» (Фирстов и др., 2017, с. 99) может являться одним из возможных способов анализа. Однако использование одного или нескольких такого рода способов без привязки их к реальным закономерностям сейсмического процесса не может являться достаточным (и необходимым) для оценки как научной значимости (важности) самого метода, так и его «практического применения».

Критикуя публикацию рецензента (Викулин, 1992б), в которой также был построен прогноз землетрясения с $M \geq 7.7$ с очагом в районе Южной Камчатки, авторы статьи (Фирстов и др., 2016) и «Ответа» не дают полученным в ней результатам никакой оценки, что представляется несколько странным для статьи в научном журнале: как правило, в свете новых полученных авторами данных ими дается оценка результатов, полученных предыдущими исследователями. Действительно, прогноз для Южной Камчатки рецензентом в работе (Викулин, 1992б) был построен задолго (>25 лет) до ДССП. И, как показано в работе (Фирстов и др., 2016), именно район Южной Камчатки является в настоящее время наиболее опасным по методу ДССП.

Впрочем, неумение как замечать, так и оценивать результаты, полученные другими исследователями, — часто встречаемое явление. Например, в работе (Федотов и др., 2008), обсуждая сценарий развития сейсмичности в очаге сильнейшего землетрясения 3.2.1923, $M = 8.5$ с очагом в Кроноцком заливе у берегов Камчатки, авторами без достаточных на то оснований, пояснений и ссылок из класса сильнейших землетрясений исключаются события 24.2.1923, $M = 7.7$ и 4.5.1959, $M = 7.6$, с очагами в Камчатском

и Кроноцком заливах, которые, как показано в работе (Викулин, 2011), удовлетворяют правилу непересечения очагов сильнейших землетрясений. Причина такого устранения проста — авторы (Федотов и др., 2008) в своих построениях отталкиваются не от главного принципа ДССП — правила непересечения очагов сильнейших землетрясений, и новых данных о сейсмическом процессе региона, а от уже сложившихся у них представлений о сейсмическом режиме, о понятиях форшоков, афтершоков и форшоковой и афтершоковой активности.

3. Вместо конкретного ответа на возражение рецензента, касающегося форшоков и их значимости для ДССП, авторы «Ответа» сначала опять, бездоказательно и без реакции на замечания утверждают, что «рост сейсмической активности на заключительной стадии сейсмического цикла ... в достаточной степени достоверен» (Фирстов и др., 2017, с. 100). И уже в следующем абзаце «Ответа» конкретизируют свой ответ рецензенту, что им излагается «его собственное представление о форшоках и методах работы с ними», несмотря на то, что рецензент ссылаясь на семь работ «классиков» по этому вопросу, включая и автора ДССП С.А. Федотова (Викулин, 2017а).

4. Ссылка на форшок землетрясения Тохоку (Фирстов и др., 2017) никак не может являться подтверждением практической значимости ДССП: форшок с $M = 7.3$ землетрясения Тохоку, $M = 9.0$ ничем не отличался от таких же по магнитуде форшоков предыдущих сильнейших землетрясений, скажем, Большого камчатского землетрясения 1952, $M = 9.0$, форшок с $M = 7.3$ или Южно-Курильского землетрясения 1969, $M = 8.2$, форшок с $M = 7.8$ и форшоков других сильнейших землетрясений, которые также никак не смогли помочь в деле предсказания ни времени последующих сильнейших землетрясений, ни мест расположения их очагов, или в терминологии ДССП (Фирстов и др., 2017, с. 99): «прогноза уровня сейсмической опасности вероятных мест таких землетрясений».

5. В отношении «упрека» рецензента в том, что он критикует ДССП, хотя и являлся соавтором одной из важных и первых методических статей о ДССП (Федотов и др., 1980), тем самым, критикуя сам себя, авторы «Ответа», конечно, не правы. Действительно, рецензент внес определенный вклад в разработку метода определения границы очага сильнейшего землетрясения. Подробно важность этого вопроса для количественной оценки фундаментального закона и сейсмологии, и геодинамики вообще о непересечении очагов сильнейших землетрясений в течение сейсмического цикла обсуждалась в монографии (Викулин, 2003). Авторы

«Ответа» должны были разобраться в сути этого фундаментального для геодинамики вопроса и дать ему соответствующую оценку, но они этого не сделали. Именно после публикации работы (Федотов и др., 1980) рецензент и вынужден был отойти от участия в дальнейшей разработке метода ДССП. Причина — его несогласие с некоторыми положениями, закладываемыми авторами метода ДССП в его основу: форшоки, их значимость для ДССП, наведенная афтершоками форшоковая сейсмичность и соответствующая оценка значимости форшоковой стадии сейсмического цикла, о чем, в основном, и говорилось в рецензии (Викулин, 2017 а).

6. Рецензент не «обвиняет» авторов метода ДССП в их «застывании на уровне 30-летней (точнее, в пересчете на настоящий момент, уже более чем 50-летней — АВ) давности» (Фирстов и др., 2017, с. 101), а просто констатирует научный факт.

7. И, наконец, «Ответ» избилует «громкими фразами», которые не имеют прямого отношения как к самой работе (Фирстов и др., 2016), так и к рецензии (Викулин, 2017 а). Например, в работе (Фирстов и др., 2017, с. 100): «Корень указанных проблем — в фундаментальных свойствах сейсмического процесса (каких конкретно? об этом нигде, ни в статье (Фирстов и др., 2016), ни в рецензии (Викулин, 2017а), ни слова — АВ), его иерархичности и неустойчивости (об этом тоже нигде ни слова — АВ), а базовый ключ решения этих проблем — в применении робастных, устойчивых оценок (об этом тоже нигде ни слова, и потом, кто с этим спорит? — АВ)». Складывается впечатление, что в «Ответе» авторы попытались сказать то, что не успели или не смогли сказать в самой статье (Фирстов и др., 2016).

Фактически, формальный по основным возражениям «Ответ» и важность обсуждаемой проблемы вынудили рецензента еще раз более полно и обстоятельно обосновать те возражения к ДССП, которые он высказал в работе (Викулин, 2017а), и которые, к сожалению, прошли «мимо» как авторов статьи (Фирстов и др., 2016), так и авторов «Ответа».

Долгосрочный прогноз С.А. Федотова, основы которого были заложены в статьях 1960-х гг. (Федотов, 2005) (или метод ДССП (Соломатин, 2014; Фирстов и др., 2017)) не содержит в себе ни времени прогноза (Викулин, 1990, 1992а, 2003), ни, как утверждает в работе (Фирстов и др., 2017), «прогноза уровня сейсмической опасности вероятных мест сильных землетрясений». Обе формулировки проблемы прогноза: в терминах и времени землетрясения, и вероятных мест расположения их очагов на ближайший интервал времени (в ДССП это пятилетний отрезок вре-

мени), фактически, равнозначны, что очевидно в практическом плане — в деле реализации прогноза для общества. С точки зрения научной стороны вопроса, переход на язык «вероятности» есть, по сути, перенос решения проблемы прогноза времени землетрясения в другой формат. Эта тема тоже уже неоднократно обсуждалась (Викулин, 1990; 1992а; 2003; 2011; Викулин и др., 1997), но авторы прогноза (Соломатин, 2014; Федотов, 2005; Федотов, Чернышев, 2002; Федотов и др., 2008) остаются «глухими» к критике оппонентов. Главная причина отсутствия в долгосрочном прогнозе предсказания времени землетрясения и/или оценки вероятности возможного места расположения его очага заключается в том, что так называемая форшоковая стадия (или фаза) сейсмического цикла в очагах сильных землетрясений не является и не может являться детерминированным процессом. Это очевидным образом вытекает из самого понятия форшока как достаточно сильного толчка, случайным образом (во всяком случае, по данным на настоящий момент) происходящего перед более сильным землетрясением в его очаге. Действительно, форшоки с магнитудами ≥ 7 и ≥ 6 в очагах сильнейших японских, курильских и камчатских землетрясений происходят примерно в 10%, 70–90% и 40–50%, то есть, в среднем, не более чем в 40–50% случаев и, как правило, не далее как за сутки — месяц до них (Викулин, 2003).

Такие же форшоковый процент и времена отмечены и для других регионов Земли (Моги, 1988; Рикитакэ, 1979; Соболев, 1993). Согласно (Jones, Molnar, 1979) форшоками предварялись около 60% катастрофических землетрясений мира 1950–1973 гг., которые чаще всего происходили за сутки до главного толчка (Сидорин, 1992). Более того, в работе автора долгосрочного прогноза (Федотов и др., 1993) приводятся данные, из которых следует, что процент сильнейших землетрясений, предварявшихся форшоками, еще меньше: из 17 тихоокеанских землетрясений с магнитудой около 8 только 5 (только 29% из них!) предварялись форшоками с магнитудой ≥ 6 . И все эти данные получены при условии выполнения *общего правила* (Соболев, 1993, с. 165), *при котором выделение форшоков*, предварявших как эти 17 сильнейших землетрясений, так и других таких событий, *проводилось после того, как они произошли, при уже известном положении мест их очагов и их границ*. Вероятность же практического применения метода «форшок—предвестник» с целью прогноза времени сильнейшего землетрясения, когда положение очага будущего землетрясения неизвестно или известно приблизительно, а о его границе и говорить не приходится, очевидно, будет

соответствовать величине, заведомо статистически незначимой.

«Пока не найдено надежных критериев выявления форшоков на фоне фоновых сейсмических событий» (Соболев, 1993), «разные исследователи при их выявлении пользуются различными критериями», которые «часто противоречат друг другу» (Сидорин, 1992, с. 34–35), их «физическая природа все еще не ясна» (Рикитаке, 1979, с. 195; Сидорин, 1992, с. 34). Согласно (Касахара, 1985, с. 239), «существуют *определенные типы землетрясений*, которые, по-видимому, можно предсказывать (с помощью форшоков — АВ); при этом они составляют *лишь малую часть большой группы катастрофических землетрясений*» (выделено — АВ).

Приведенные данные показывают, что форшоки, рассматриваемые как отдельно взятые события, действительно не могут являться такими статистически значимыми предвестниками как времени ожидаемого землетрясения, так и параметров его очага. Тем не менее, проблема прогноза не решена. В этой связи форшоки, как возможные краткосрочные предвестники, могут представлять определенный интерес и некоторыми исследователями с разной и достоверностью, и надежностью в разных регионах планеты привлекаются к построению прогнозных схем землетрясений, как правило, в комплексе с другими предвестниками (Касахара, 1985; Моги, 1988; Рикитаке, 1979; Родкин, 2008; Сидорин, 1992; Соболев, 1993).

Автор настоящей публикации не просто критикует подход авторов «Ответа» к форшокам вообще, он преследует вполне определенную цель: показать, что как форшоки, так и форшоковая активность в долгосрочном сейсмическом прогнозе С.А. Федотова (Соломатин, 2014; Федотов, 2005; Федотов и др., 2008) не могут рассматриваться как предвестники времени будущего сильнейшего землетрясения и/или оценки вероятности возможного места расположения его очага и в свете этих данных дать оценку научной и практической значимости ДССП.

О ФОРШОКОВОЙ СТАДИИ СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

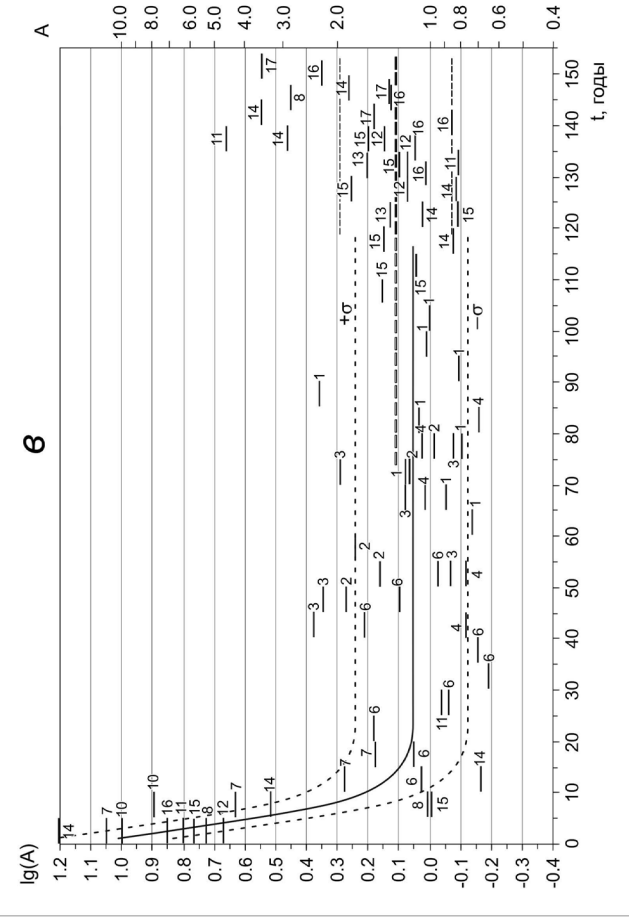
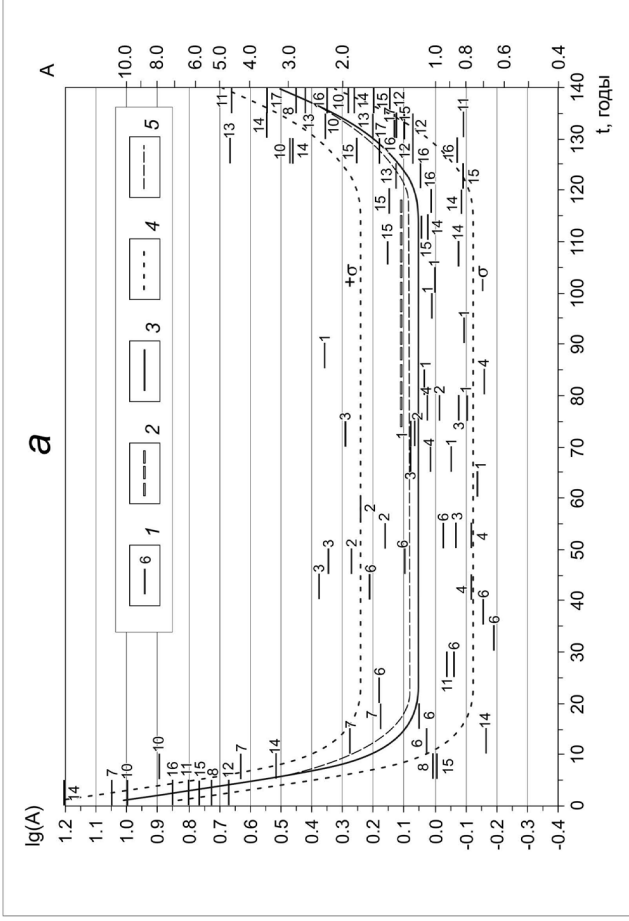
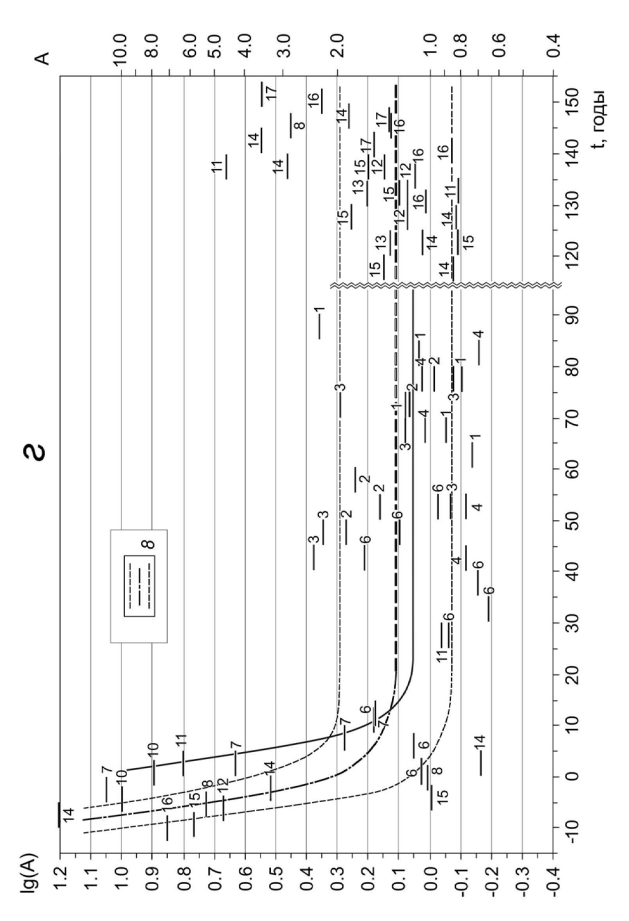
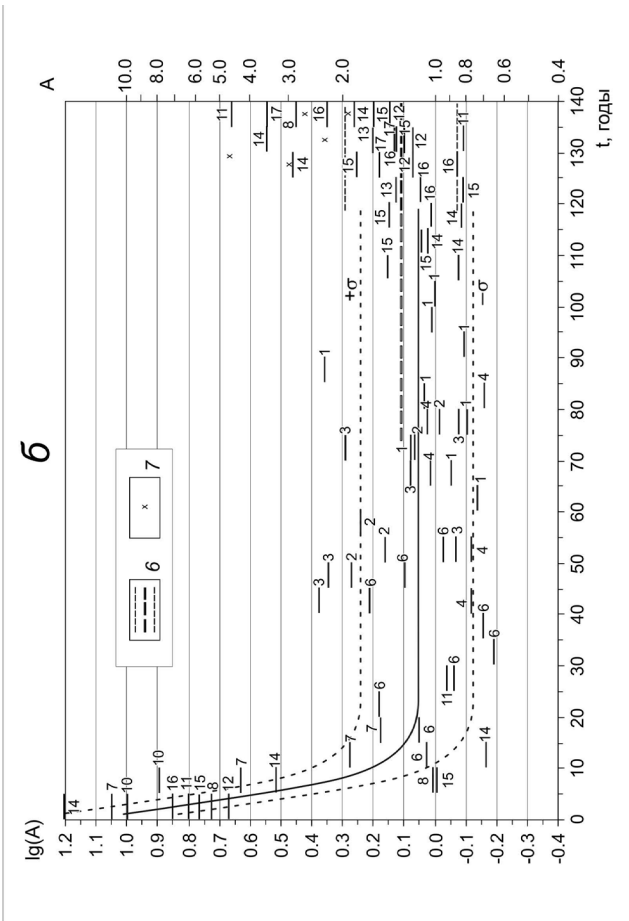
Выделяемая авторами ДССП (Соломатин, 2014; Федотов, 2005; Федотов и др., 2008) так называемая форшоковая фаза на заключительной стадии сейсмического цикла является статистически не значимой и сейсмологически (геодинамически) не обоснованной.

Во-первых, выделение форшоковой стадии сейсмического цикла, проводимое авторами ДССП путем анализа графика изменения активности в течение сейсмического цикла, статисти-

чески не значимо и геофизически не убедительно. Это можно видеть, например, на рисунке *a*. Действительно, выделяемое авторами ДССП увеличение сейсмической активности на заключительной стадии цикла можно рассматривать как статистически малозначимое, так как число значений с высокой активностью, на уровне большем фонового ($A > 2.0$), составляет $N = 10$, что меньше такого же числа значений на меньшем ($A < 2.0$) уровне: $N = 16$. Здесь A — сейсмическая активность, фоновое значение которой принято равным значению $A_1 = 1.5 (\pm 0.5)$, определенному авторами долгосрочного прогноза по достаточно полным и представительным инструментальным данным о сейсмичности Камчатки за время детальных наблюдений 1962–1978 гг. (рисунком *a*).

Во-вторых, после определения правила проведения границы очага сильнейшего землетрясения (Федотов, 2005; Федотов и др., 1980) расчет величины сейсмической активности в его пределах стал достаточно точным. При этом оказалось, что афтершоковые области таких землетрясений в значительной степени могут перекрывать друг друга. Например, примерно «параллельные» друг другу и расположенные вкост островной дуги афтершоковые области Итурупских 6.11.1958, $M = 8.2$ (8) и восточнее о. Итурупа 24.3.1978, $M = 8.0$ (13) (табл. 1) землетрясений перекрывают друг друга более чем наполовину; афтершоковая область Итурупского 6.11.1958 (8) землетрясения примерно на одну треть перекрывает каждую из соседних областей: к северо-востоку Урупского 13.10.1963, $M = 8.1$ (9) и к юго-западу Южно-Курильского 11.8.1969, $M = 8.2$ (10) землетрясений. Близкая оценка перекрытия областей очагов Итурупского 1958 (8) и Урупского 1963 (9) землетрясений приводится и в работе (Федотов и др., 1969, с. 100): «площадь перекрытия составляет примерно треть общей площади эпицентральной зоны Итурупского землетрясения ($\sim 2800 \text{ км}^2$)». При этом эпицентры землетрясений, попадающие в зоны перекрытия двух или трех рядом расположенных очагов сильнейших землетрясений, авторами ДССП учитывались каждый раз при определении активности в пределах каждого из очагов и затем приписывались соответствующим этим очагам стадиям сейсмического цикла.

При таком способе определения уровня сейсмичности значительные перекрытия афтершоковых областей — областей с максимально возможной сейсмичностью, неизбежно должны приводить к появлению в очагах рядом расположенных сильнейших землетрясений в течение их последних стадий цикла всплесков такой же высокой сейсмической активности, являющейся, по сути, «наведенной» афтершоками в очагах соседних землетрясений и потому,



О ДОЛГОСРОЧНОМ СЕЙСМИЧЕСКОМ ПРОГНОЗЕ

Таблица 1. Данные о сильнейших землетрясениях Курило-Камчатской дуги 1904–2006 гг., $M \geq 7.7$, $H < 100$ км, использованные при построении сейсмических циклов ДССП (Федотов и др., 2008).

№	Год	Дата	Время, ч, мин	Район	с.ш.°	в.д.°	H, км	M*	
1	{	1904	24.VI	14.45	Южная Камчатка	52.0	159.0	15–60	7.7
		1904	25.VI	21.00		52.0	159.0	15–60	7.7
2	1915	1.V	05.00	Восточнее о-ва Онекотан	48.4	155.5	30±30	8.3	
3	1918	7.IX	17.16	Восточнее о-ва Уруп	45.6	151.1	40±20	8.2	
4	1918	8.XI	04.38	Юго-восточнее о-ва Уруп	44.9	151.4	40±40	7.9	
5	1923	3.II	16.01	Восточнее Камчатки	53.0	161.0	10–40	8.5	
6	1952	4.III	01.22	Юго-восточнее Хоккайдо	41.9	143.7	50±10	8.3	
7	1952	4.XI	16.58	Камчатское	52.3	161.0	10–40	8.5	
8	1958	6.XI	22.58	Итурупское	44.5	148.5	40±20	8.2	
9	1963	16.X	05.17	Урупское	44.8	149.5	47±10	8.1	
10	{	1969	11.VIII	21.27	Южно-Курильское	43.6	147.8	40±10	8.2
		1969	11.VIII	21.27		43.6	147.2	38±15	7.8
11	1971	15.XII	08.29	Камчатский залив	55.9	163.4	20–30	7.9	
12	1973	17.VI	03.55	Кунашир	43.2	145.9	55±10	7.9	
13	{	1978	23.III	03.15	Восточнее Итурупа	43.9	148.9	40	7.8
		1978	24.III	19.47		43.9	149.1	39	8.0
14	1994	13.X	13.22	Шикотанское	43.7	147.6	33	8.1	
15	1997	5.XII	11.26	Кроноцкое	54.7	162.4	33	7.9	
16	2003	25.IX	19.50	Юго-восточнее Хоккайдо	41.8	143.9	27	8.1	
17	2006	15.XI	11.14	Средне-Курильское	46.7	153.2	28	8.2	

Примечание. * Для землетрясений 1–14 значения магнитуды приводятся в шкале M_s , для более ранних — M_{LN} .

очевидно, — ложной «форшоковой». Такие наведенные афтершоковой активностью Итурупского 1958 (8) землетрясения всплески сейсмичности авторами ДССП, очевидно ошибочно, были идентифицированы как форшоковая активность для Урупского 1963 (9) землетрясения за 5 (=1963–1958) лет до него, Южно-Курильского 1969 (10) землетрясения — за 9 лет и Итурупского (восточнее о. Итуруп) 1978 (13) землетрясения — за 20 лет. В свою очередь, афтершоки Урупского 1963 (9) и Южно-Курильского 1969 (10) землетрясений должны были вызвать «ложные» форшоковые всплески активности в рядом расположенном очаге Итурупского (восточнее о. Итуруп) 1978 (13) землетрясения за, соответственно, 15 и 9 лет до него; афтершоки Хоккайдского 4.3.1952, $M = 8.3$ (6) и Южно-Курильского 1969 (10) землетрясений

должны были вызвать «ложные» форшоковые всплески активности в очаге рядом расположенного Малокурильского (о. Кунашир) 17.6.1973, $M = 7.9$ (12) за, соответственно, 21 год и 4 года до него.

Высокая афтершоковая активность в очаге сильнейшего землетрясения, как можно видеть из рисунка *a*, может продолжаться 10–15 лет и более. В очаге каждого отдельно взятого сильнейшего землетрясения активность уменьшается не монотонно, она, как правило, в течение всей стадии афтершоков сопровождается всплесками сейсмичности в разных частях очага. Такой ход сейсмичности был продемонстрирован в работе (Федотов и др., 1969). Последовательность таких «наведенных» афтершоками всплесков в соседних очагах в пределах нужным образом выбранных пятилетних

←
Сейсмическая активность в очагах сильнейших землетрясений у берегов Камчатки, Курил и Северо-Восточной части Японии. *a* — по (Соломатин, 2014; Федотов и др., 2008): 1 — средние значения сейсмической активности за 5 лет для очагов сильнейших землетрясений для различных периодов сейсмического цикла; 2 — уровень A_1 , определенный по 72 точкам годовых карт сейсмической активности Камчатки 1962–1978 гг.; 3 — осредненный график изменения A в течение цикла; 4 — границы среднеквадратичного отклонения $\sigma(\lg[A_{10}]) = \pm 0.18$; 5 — график $A(t)$, построенный ранее. Параметры сильнейших землетрясений 1–17 приведены в табл. 1. *b*, *v*, *z* — построены автором настоящей работы: *b* — графики *a* без сейсмичности, «наведенной» афтершоками соседних толчков для очагов землетрясений 10, 12 и 13; *b* — уровень сейсмической активности $A_1 (\pm \sigma)$, 7 — исключенные значения для очагов землетрясений 10, 12 и 13. *v* — графики *b* с разными продолжительностями сейсмических циклов для очагов землетрясений 7, 8, 10–12, 14–17 (за начало отсчета циклов приняты даты сильнейших землетрясений). *z* — график *v*, где за начало отсчета циклов приняты даты их окончаний: 8 — изменение сейсмической активности на афтершоковой стадии и величина среднеквадратичного отклонения.

интервалов, представленных на рисунке *a* с дискретным шагом 5 лет, может привести к тому или иному (разному, любому) значению сейсмической активности. При этом такой результат вследствие многократного использования одних и тех же афтершоковых всплесков в соседних очагах в пределах разных периодов стадии форшоков, очевидно, будет являться заведомо завышенным.

Более того, если эти, «наведенные» афтершоками для случаев $N = 10, 12, 13$, значения высокой ($A > 2.0$) активности на рисунке *a* исключить, то в течение последней стадии цикла на уровне, большем фона ($A > 2.0$), останется всего лишь шесть ($N = 8, 11, 14$ (2), 16 и 17) значений, а на уровне меньшем ($A < 2.0$) фона — останутся те же 16 значений (рисунок *б*). Отметим, что некоторые из «оставшихся», скорее всего, могут являться форшоковыми значениями, однако теперь уже, возможно, имеющими другую природу сейсмичности — либо краевую и/или кольцевую (Викулин, 2003; Моги, 1988), либо форшоковую, но наведенную афтершоками в очагах уже «рядом» расположенных сильнейших землетрясений, а на некотором удалении от них. Действительно, форшоковая активность в очаге Итурупского 6.11.1958 г. землетрясения (8) могла являться наведенной афтершоками землетрясения 1952 г. (6) с очагом, который был расположен вблизи о. Хоккайдо; такая же активность в очаге Усть-Камчатского землетрясения 1971 г. (11) могла быть наведенной афтершоками Озерновского землетрясения 1969 г., $M = 7.7$ с очагом, расположенным несколько севернее. Возможность наведения форшоковой активности процессами, протекающими в течении афтершоковых стадий в очагах удаленных землетрясений, авторами ДССП не исследовалась¹.

Таким образом, учет особенностей форшоков и форшоковой активности, которые, возможно, могут быть наведенными афтершоками несколько удаленных сильнейших землетрясений, и эффектов краевой и/или кольцевой сейсмичности в еще большей степени может уменьшить и без того незначительную статистическую значимость «форшоковой стадии» в виде монотонного увеличения сейсмической активности на заключительном периоде сейсмического цикла (рисунок *a*). Как видим, проблема форшоковой активности не такая уж и очевидная, как может показаться, и требует более тщательного изучения.

В-третьих, авторами ДССП (Соломатин, 2014; Федотов, 2005; Федотов и др., 2008) принимается, что продолжительность сейсмического

цикла во всех очагах сильнейших японских и курило-камчатских землетрясений одинакова и составляет 140 лет.

Допустим, что это не так, и предположим, что продолжительности циклов в очагах разных сильнейших землетрясений не одинаковы и отличаются друг от друга в небольших пределах, скажем 0–14 лет, что не превышает 10% от принятой авторами продолжительности цикла. Как показывают данные о повторяемости сильнейших землетрясений в одном месте в пределах окраины Тихого океана, которая составляет 100 ± 50 лет (Викулин, 2003, 2011) или 120 ± 50 лет (Федотов и др., 2008), такое расхождение в продолжительностях циклов для разных очагов сильнейших землетрясений вполне и допустимо, и реально. Тогда, случайным образом приписывая всем 15 сильнейшим землетрясениям, данные о которых представлены на рисунке *a*, продолжительности циклов в интервале от 140 до 154 лет, и принимая за начала циклов даты сильнейших землетрясений, так называемая «форшоковая» стадия в виде монотонного увеличения сейсмичности на заключительной стадии сейсмического цикла (Соломатин, 2014; Федотов, 2005; Федотов и др., 2008), фактически, совсем исчезает (рисунок *в*).

По оценкам автора (Викулин, 1990, 2003) продолжительность сейсмического цикла — как интервала, в течение которого очаги сильнейших землетрясений имеют тенденцию не перекрывать друг друга, для цепочки, состоящей из Алеутской — Курило-Камчатской — Японской дуг, общей протяженностью около 10 тыс. км, составляет 190 ± 40 лет, что при 10% ошибке (около 20 лет) практически полностью «размывает» так называемую форшоковую стадию.

Таким образом, проведенный анализ показал, что для «идентификации» наблюдаемых всплесков высокой активности в очагах сильнейших землетрясений, в том числе курило-камчатских и японских, анализируемых авторами ДССП, в виде «форшоковой активности» нет никаких ни статистически значимых оснований, ни сейсмологических (геодинамических) обоснований. Другими словами, предсказывать времена сильнейших землетрясений и/или оценивать вероятность возможного места расположения их очагов в рамках долгосрочного прогноза С.А. Федотова — это даже не гадание, это что-то весьма более неопределенное. И действительно, «практика прогноза сильнейших курило-камчатских землетрясений показала, что ни в одном из случаев многолетнюю форшоковую стадию по схеме С.А. Федотова до того, пока сильнейшее землетрясение не произошло, выделить не удалось» (Викулин и др., 1997, с. 86).

¹ Данные о сейсмичности очага Озерновского, тоже сильнейшего, землетрясения авторы ДССП по непонятным причинам и безо всяких на то объяснений не учитывают.

О СТАДИЯХ АФТЕРШОКОВ
И СТАБИЛИЗАЦИИ

Проведем построение данных, представленных на рисунке 6, при другом условии: принимаем за начала отсчетов разных по продолжительности циклов условную дату их окончания 140 лет. Тогда афтершоковая стадия по форме (монотонного) уменьшения активности, фактически, не изменится, удлинившись по продолжительности примерно в два раза при значительно большем разбросе данных (рисунок 2). Очевидно, что и при продолжительности сейсмического цикла в 190–230 лет (Викулин, 2003) характер изменения графика афтершоковой активности в течение первой стадии сейсмического цикла также практически не изменится, но еще больше увеличится ее продолжительность. Это может служить доказательством следующих двух утверждений. Во-первых, достаточно детерминированными (по виду (форме) зависимости) процессами сейсмического цикла могут являться только две его стадии: афтершоков — монотонное уменьшение сейсмичности, и стабилизации — примерно постоянное, в пределах фона, ее значение. Во-вторых, продолжительности каждой из этих стадий сейсмического цикла имеют не абсолютный, а относительный характер, и потому практическое применение количественных оценок параметров сейсмичности на стадиях афтершоков и стабилизации, полученных в рамках методики ДССП (Соломатин, 2014; Федотов и др., 2008), лишено всякого практического смысла.

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА

Авторы ДССП утверждают: его эффективность составляет 0.8–0.9, что, конечно, не соответствует действительности. Покажем это.

Во-первых, более строгая оценка эффективности такого прогноза в определении значений вероятности расположения мест очагов будущих сильнейших землетрясений меньше и *в самом благоприятном случае* может быть принята не более 0.5–0.7. Действительно, эффективность ДССП может быть определена как отношение площади взаимного перекрытия рядом расположенных очагов (выделяемых по скоплениям афтершоков) сильнейших землетрясений к площади очага (афтершоковой области) прогнозируемого землетрясения и может составлять большую величину. Например, для достаточно «плотной» цепочки из шести рядом расположенных афтершоковых областей японских и южно-курильских сильнейших землетрясений, происшедших в 1952–1978 гг., такое отношение

площадей перекрытия для некоторых из них составляет 30–50% и, возможно, более, в зависимости от того, как именно определяются (проводятся) границы очагов этих землетрясений. При принятом авторами правиле проведения границы очага сильнейшего землетрясения (Федотов, 2005; Федотов и др., 1980), такой величине «перекрытия» очагов, фактически, будет соответствовать ДССП в определении значений вероятностей расположения мест очагов будущих сильнейших землетрясений для Южных Курил, близкая к 0.5 и, возможно, менее. Взаимное же перекрытие афтершоковых областей двух Средне-Курильских сильнейших землетрясений 15.11.2006, $M = 8.2$ (17) и 13.1.2007, $M = 8.2$ составляет до 0.8–0.9, что значительно больше, чем для взаимного перекрытия афтершоковых областей Итурупских 1958 (8) и 1978 (13) землетрясений (Федотов, 2005).

Афтершоковая область землетрясения 15.11.2006, $M = 8.2$ (17) почти полностью перекрывается такой же областью следующего сильнейшего Средне-Курильского землетрясения, происшедшего через два месяца 13.01.2007, $M = 8.2$. Очевидно, что очаги двух этих сильнейших землетрясений «напрямую» никак не могут соответствовать правилу непересечения очагов сильнейших землетрясений — основному положению методики ДССП. Видимо, по этой причине А.В. Соломатин (2014) в своей диссертации и не учитывал в схеме долгосрочного прогноза положение очага землетрясения 2007. Такая ситуация для района Средних Курил могла иметь место и в прошлом: примерно таким же образом могли располагаться очаги двух сильнейших пар землетрясений 21.06.1847, $M = 7.0 \pm 0.1$ — 11.1853, $M = 7.5 \pm 0.1$ и 19.01.1780, $M = 7.0 \pm 0.1$ — 29.06.1780, $M = 7.5 \pm 0.1$ (Новый ..., 1977). По данным других источников некоторые из этих «землетрясений-пар» имели магнитуды больше 8 и сопровождалась значительными макросейсмическими эффектами и высокими цунами; для включения очагов таких землетрясений в схему долгосрочного прогноза, очевидно, необходимо учесть особенности взаимного расположения их очагов, характерные для эффектов «землетрясения-дуплеты» и «землетрясения-пары», что подробнее будет рассмотрено ниже.

Суммируя и усредняя все такие реализации ДССП, получим общую оценку его эффективности в определении значений вероятностей расположения мест очагов будущих сильнейших землетрясений, которая в самом благоприятном случае, без учета сильнейших двойных толчков типа землетрясений 2006 (табл. 1, 17) – 2007 гг. и им подобных, составит величину 0.5–0.7, не больше. Такая достаточно низкая оценка ДССП

может соответствовать, скорее, его оправдываемости.

Во-вторых, утверждение авторов ДССП о том, что эффективность прогноза при оценке параметров сейсмичности на стадиях сейсмического цикла составляет 0.8–0.9, также не соответствует действительности. Такая, по-видимому, максимальная, или соответствующая ей по сути меньшая по величине оценка оправдываемости, как уже отмечалось, на уровне, в лучшем случае, 0.5–0.7 может быть отнесена только к той части прогноза, которая определяет вероятность возможного *места* очага будущего сильнейшего землетрясения. И она никоим образом не может являться оценкой оправдываемости других компонентов ДССП: параметров сейсмического режима в его очаге на стадиях афтершоков и стабилизации.

Все оценки оправдываемости долгосрочного прогноза, выраженные в отражающих некую «относительную вероятность» процентах, по нашему мнению, взяты с «потолка».

Действительно, не понятно, как и на что значения вероятности нормировались, к чему привязаны. Правило непересечения очагов сильнейших землетрясений установлено исследователями в начале второй половины XX в. (Моги, 1988; Федотов, 2005; Kelleher et al., 1973; Sykes, 1971 и др.). Оно является не региональной камчатской, курило-камчатской, японо-курило-камчатской или алеутско-камчатской-курильской-японской (Викулин, 2003) закономерностью, а неким фундаментальным геодинамическим законом, который распространяется, как показано многими исследователями (Викулин, 1990; Лобковский, 1988; Earthquake ..., 1981; Proceeding ..., 1978), на всю окраину Тихого океана и, возможно, другие сейсмически активные пояса Земли. Поэтому, если ДССП оценивать с помощью вероятностной величины, ее нормировку следовало бы осуществлять на соответствующем глобальном уровне в пределах всей окраины Тихого океана. На эту тему много говорилось ранее (Викулин, 1990; 1996б; 1999; 2011). Анализ, проведенный в работе (Викулин и др., 1997, с. 77–79), показал, что «автор такого долгосрочного прогноза будет всегда прав», не зависимо от того или иного значения вероятности прогноза или его оправдываемости (Викулин, 1999).

Более того, ввиду сформулированного вывода об относительном, а не абсолютном, характере продолжительностей стадий афтершоков и стабилизации, не имеют смысла и сами значения вероятностей, которыми авторы долгосрочного прогноза оценивают те или иные параметры сейсмического режима в очагах сильнейших землетрясений на разных стадиях сейсмического цикла.

Вывод об отсутствии в долгосрочном прогнозе предсказания времен сильнейших толчков или оценки вероятностей возможного расположения мест их очагов, сформулированный выше, показывает, что с точки зрения практического применения долгосрочный прогноз С.А. Федотова является, фактически, незначимым. Впрочем, для сейсмологов и геофизиков это должно быть очевидным, и можно было бы эту тему не обсуждать. Однако авторы ДССП на протяжении многих лет настаивают на практической его значимости (Федотов, 2005). Более того, авторов работы (Фирстов и др., 2017, с. 10), по видимому, вдохновляет, что «прогноз Симуширского (Средне-Курильского) землетрясения 15 ноября 2006 г. отнесен к числу лучших достижений в области наук о Земле за 2006 г.».

Высказывание автора ДССП (Федотов, 2005, с. 278): «данные долгосрочных сейсмических прогнозов ... служили основанием для правительственных постановлений и решений *о заблаговременной подготовке Камчатки к сильным землетрясениям и о ее сейсмобезопасности*» (выделено — АВ) есть, по сути, *желаемое всеми*: и авторами ДССП, и жителями Камчатки, и чиновниками, *но не действительность*. Разрушительные, 9–10-балльные и, возможно, более сильные, землетрясения на Камчатке происходили в прошлом, например в 1737 и 1792 гг., в районах нынешних г. Петропавловска-Камчатского и п. Усть-Камчатск. Во время землетрясения 3.2.1923 и 24.2.1923 имели место частичные повреждения зданий в п. Усть-Камчатск и других населенных пунктах на берегу Кроноцкого залива (7 баллов и, возможно, более), 18.6.1959 афтершоком с $M = 7$ сильнейшего землетрясения 5.5.1959, $M = 7.6^2$ частично разрушен п. Жупаново (9, возможно, 10 баллов), 24.11.1971 землетрясение привело к повреждениям зданий и сооружений в г. Петропавловске-Камчатском и сильной панике среди населения (5–8 баллов), 21.4.2006 во время Олюторского землетрясения сильно пострадали районный центр Тилички и п. Корф (9–10 баллов). И список таких «ощутимых» камчатских землетрясений может быть продолжен. Как видим, опасные для Камчатки

² Данные об этом землетрясении и сейсмичности его очага в работах авторов ДССП (Соломатин, 2014; Федотов и др., 2008) отсутствуют. В работе (Федотов, 2005) данные об этом землетрясении и сейсмичности его очага и представлены, и анализируются. Причины присутствия данных об этом землетрясении в одних работах и их отсутствии в других авторами не приводятся.

землетрясения, очевидно, и можно, и следует ожидать в будущем³.

В такой ситуации принятие соответствующих мер по уменьшению сейсмической опасности — это обязанность государства, которое через соответствующие органы с участием разных (академических, строительных и другого профиля) институтов должно стимулировать разработку карт общего сейсмического районирования (ОСР). Соответствующие карты составляются и по мере необходимости обновляются, как, например, это имело место для территории Камчатки и Корякии после 8–9-балльного Хаилинского землетрясения 8.3.1991 (Викулин, 1998; Викулин и др., 1997) и для территории всей России при переходе от карты ОСР-1978

³ ДССП с самого начала С.А. Федотовым ориентировался, в основном, на прогноз сейсмической ситуации для района г. Петропавловска-Камчатского, который являлся областным (сейчас краевым) центром и расположен в непосредственной близости от сейсмофокальной зоны. Все остальные построения, проводимые в рамках ДССП для Курило-Камчатской дуги и Северо-Восточной Японии, необходимы были его автору, в первую очередь, для обоснования высокого уровня сейсмической опасности для г. Петропавловска-Камчатского и его агломерации и доведения этой информации до чиновников разного уровня, от области (края) до Правительства РФ и Президента РФ. Именно Авачинский залив, как зона высокой опасности в пределах всей Курило-Камчатской зоны, отмечался во *всех* ДССП, начиная с 1965 г. (Федотов, 2005; Федотов и др., 2008). По-человечески, с точки зрения жителя Петропавловска-Камчатского, такая позиция понятна. Не понятно другое, имеющее к науке самое непосредственное отношение. Почему после Хаилинского 8–9-балльного землетрясения 8.3.1991 г. и перехода на новую карту ОСР-97 (Уломов, Шумилина, 1998; Gusev et al., 1997), согласно которой зона высокой сейсмической опасности была продлена далеко на север Камчатского края, для нее не была применена такая высокоэффективная методика ДССП? Для этого у автора-академика были все возможности и основания, включая и игнорируемое методом ДССП положение очага Озерновского 22.11.1969, $M = 7.7$ землетрясения² и результаты проведенных комплексных широкомасштабных исследований территории Корякии (Викулин, 1998). В результате метод ДССП так и не смог реально доказать на практике свои возможности, и не была реализована потенциальная возможность прогноза *на Камчатке*, а не на Средних Курилах, где никто не живет, Олюторского 21.4.2006, $M = 7.8$, 9–10-балльного разрушительного землетрясения (Викулин, Мелекесцев, 2006). Отметим, что затраты на ликвидацию последствий Олюторского землетрясения были гигантскими. Только строительство нового районного центра п. Тилички обошлось около 10 млрд. руб. Любой прогноз, в том числе и ДССП, должен быть нацеленным, в первую очередь, на уменьшение возможных потерь, а не на доказательство своей эффективности.

к карте ОСР-1997 (Уломов, Шумилина, 1998; Gusev et al., 1997). ДССП, не способный пока «в реальном времени» предсказывать время землетрясения или давать оценку вероятности места возможного расположения его очага, своими заключениями никак не может *реально* влиять на сам процесс уменьшения такой опасности, но, конечно, лишний раз может напомнить чиновникам разного ранга о необходимости принятия соответствующих мер, что и было, фактически, продемонстрировано на примере Олюторского землетрясения 2006 г.

«Примечательной чертой деятельности по прогнозированию землетрясений является ее двуплановость: с одной стороны, это научная дисциплина, связанная с природой землетрясений, с другой стороны, часть практической работы по уменьшению катастрофических последствий сейсмических событий» (Казахара, 1985, с. 239). К сожалению, разрабатываемые учеными прогнозы пока не содержат в себе «в реальном времени и с точностью, достаточной для практических целей» времена будущих толчков (Соболев, 1993, с. 287), что и было продемонстрировано в этой публикации на примере долгосрочного прогноза С.А. Федотова (Соломатин, 2014; Федотов, 2005; Федотов и др., 2008). По этой причине Япония, людские и материальные потери при землетрясениях для которой на многие порядки по величине превышают такие же для Камчатки, и пошла *именно по «практическому»* пути уменьшения сейсмической опасности. Японские чиновники, возможно, и прислушиваются к разрабатываемым учеными прогнозам времени, места и магнитуды сейсмических толчков, но в своих практических действиях они, «впитавшие с молоком матери» все последствия трясения земли, включая и их ложные предсказания, руководствуются, в основном, теми возможными людскими потерями и материальным ущербом, которыми такие толчки могут определяться соответствующими им страховыми выплатами.

Причины для выбора пути уменьшения сейсмической опасности, опирающиеся, в основном, именно на практический опыт, в настоящее время весьма серьезные.

Действительно, «не оправдавшиеся прогнозы такой катастрофы, как землетрясение, могут принести большой вред» (Соболев, 1993, с. 295), социально-экономические и политические последствия которого до конца еще не изучены (Рикитакэ, 1979). В Италии, например, после разрушительных землетрясений возбуждались судебные процессы против авторов, неправильно, по мнению жителей, спрогнозовавших такие сейсмические толчки. Возникновение слухов о предстоящем на Камчатке

сильном землетрясении часто приводит к панике среди населения и стремлению покинуть место проживания (Викулин и др., 1997). Психологические исследования поведения жителей с целью количественного определения социального фактора, проведенные после 9–10-балльного Олюторского землетрясения 21.4.2006 в поселках Корф и Тилички, расположенных на Севере Камчатского края, позволили сделать вывод, что под воздействием землетрясения «происходит трансформация содержательных и структурных компонентов человеческой психики», и у людей изменяются «их представления о мире» (Весна, Кулик, 2010, с. 111). Масштаб разрушений при катастрофическом землетрясении 31.5.1970 «поверг правительство Перу в состояние шока. Оно оказалось не способным ни координировать работу спасательных служб, ни разрешать вопросы распределения поступившей помощи» (Сто ..., 2007, с. 94–95).

Более того, согласно (Завьялов, 2006, с. 4, 7): «стихийные явления, и землетрясения в том числе, неизбежны. ... Несмотря на огромное количество предвестников, ни один из них не дает точных указаний на время, место и силу грядущего землетрясения»; поэтому землетрясения «нельзя предотвратить (и, очевидно, пока предсказать — АВ), но уменьшить их разрушительное влияние можно и нужно».

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

1. Сейсмология на момент появления ДССП С.А. Федотова в 1960-х гг. Выявление сейсмических поясов и первые исследования закономерностей протекающих в их пределах процессов уже в начале второй половины XX в. привело М. Бата к выводу о существовании между землетрясениями крупномасштабной связи, исследование которой следует проводить с использованием процесса миграции очагов землетрясений в масштабе всей планеты (Bath, 1966). Эффекты группирования и миграции землетрясений позволили крупномасштабную взаимосвязь между ними сформулировать в рамках физических представлений о взаимодействии сейсмических очагов между собой (Кузнецова, 1974). Невозможность в то время экспериментально в лабораторных условиях объяснить малые значения скоростей миграции очагов землетрясений вдоль сейсмических поясов привело к забвению как физически очевидных гипотез М. Бата (Bath, 1966) и К.И. Кузнецовой (1974), так и процесса миграции очагов землетрясений, являющегося результатом их взаимодействия между собой. Следствием такого забвения явилось дальнейшее развитие, по сути, локальных, основанных на принципе упругой отдачи (Reid, 1910), теорий

очага землетрясения. Планетарный масштаб такого рода подходов к проблеме природы землетрясений обеспечивался таким, установленным в то же время многими исследователями (Моги, 1988; Федотов, 2005; Kelleher et al., 1973; Sykes, 1971 и др.) свойством сейсмических поясов, как seismic gaps — мест, в пределах которых землетрясения с достаточно большой магнитудой не происходили в течение многих десятков-сотен лет. Практическое использование такого локального и, по сути, статического, не учитывающего динамики сейсмического процесса свойства сейсмических поясов на примере Курило-Камчатской дуги и Северо-Восточной Японии и получило развитие в виде ДССП С.А. Федотова (Соломатин, 2014; Федотов, 2005; Федотов и др., 2008).

В основе методики ДССП заложены представления о сейсмическом цикле продолжительностью 140 ± 60 лет в очаге каждого сильнейшего с $M \geq 7.7$ землетрясения и его трех стадиях: афтершоков, стабилизации и форшоков, с продолжительностями 15, 110 и 15 лет, соответственно. Основные представления ДССП, были сформулированы в двух работах С.А. Федотова, опубликованных в 1965 и 1968 гг. (Федотов, 2005), и в дальнейшем им и его соавторами не пересматривались. Очевидно, что с позиции ДССП — с позиции некоего статистически обобщенного, но, тем не менее, отдельно взятого очага сильнейшего землетрясения, таких динамических явлений, как миграция очагов землетрясений и их взаимодействие между собой, не существует.

2. Опорных землетрясениях. Эффект парных землетрясений является еще одним явлением, которое, фактически, находится в прямом противоречии с основным положением ДССП — непересечением очагов сильнейших землетрясений в течение сейсмического цикла.

В классе сильнейших землетрясений выделяется класс событий, отличительной чертой которого является малый (много меньше и продолжительности сейсмического цикла, 100–300 лет (Викулин, 2003; Федотов, 2005), и их повторяемости в одном месте, 100–120 (± 50) лет (Викулин, 2003; Федотов и др., 2008)) интервал между ними. На такие парные события ранее обращали внимание многие исследователи, включая и С.А. Федотова (Федотов, 2005). Списки японских, курильских и камчатских землетрясений-дуплетов и землетрясений-пар приведены в табл. 2 и 3 соответственно. Такие события четко разделяются на две группы. К первой можно отнести землетрясения-дуплеты с близко (порядка размеров их очагов и меньше) расположенными очагами (табл. 2). Ко второй группе события, между очагами которых расстояние много больше размеров их очагов (табл. 3).

О ДОЛГОСРОЧНОМ СЕЙСМИЧЕСКОМ ПРОГНОЗЕ

Таблица 2. Список японских (1, 2, 6, 9), курильских (7, 11–14) и камчатских (3–5, 8, 10) с $M \geq 8$ толчков-дуплетов, очаги которых располагались в непосредственной близости друг от друга (Викулин, 2011, с упрощениями).

№ п/п	Дата	τ	$L_{1,2}$, км	L_0 , км	Δ , км	M	Регион
1	31.01.1605	~0	150	700	400	7.9	Нанкай
2	28.10.1707	~0	150–200	500	100–200	8.4	Нанкай
3	17.10.1737	(~0)	200–250	700	100–200	8.5–9.2	Камчатка
4	04.11.1737–17.12.1737	1,5 месяца	100–150 100–200	1100	800	7.8 8.0	Камчатка
5	22.08.1792	~0	200	800	400	8.4–8.8	Камчатка
6	23.12.1854–24.12.1854	1 день	100–200 250	600	100–150	8.4 8.4	Нанкай
7	07.09.1918–08.11.1918	2 месяца	250–300 100–150	400	~0	7.9–8.3 7.8–8.0	Южные Курилы
8	03.02.1923–24.02.1923	21 день	200 130	400	100	8.5–8.7 7.7	Камчатка
9	07.12.1944–21.12.1946	2 года	150 250	500	50–100	8.0 8.0	Нанкай
10	04.11.1952	5 с	200–250	600	150	8.5–9.0	Камчатка
11	13.10.1963	5 с	150	300	0	8.1	Южные Курилы
12	15.11.2006–13.01.2007	2 месяца	200–250 200–250	300	Параллельны	8.3 8.2	Средние Курилы
13	19.01.1780–26.06.1780	5 месяцев	100? 200?	300?	Параллельны?	7.0±1.0 7.5–8.5	Средние Курилы

Примечание. Символ τ — время между толчками-дуплетами; $L_{1,2}$ — размеры очагов в дуплете; L_0 — общая протяженность макросейсмической области, затронутой толчками-дуплетами; Δ — расстояние между очагами в дуплете.

Таблица 3. Список пар японских, курильских и камчатских землетрясений, произошедших через малые отрезки времени на больших эпицентральных расстояниях друг от друга (Викулин, 2011, с упрощениями).

№ п/п	Дата	τ_1 , месяцы	Регион	Δ_1 , км	M
1	04.11.1737–17.12.1737	1.5	Камчатка Северные Курилы	1000	7.8 7.5–8.0
2	01.05.1915–31.07.1915	3	Северные Курилы Камчатка	700	8.1 7.8
3	03.02.1923–01.09.1923	7	Камчатка Япония	2500	8.5 8.2
4	04.03.1952–04.11.1952	8	о. Хоккайдо Камчатка	1400	8.3 8.5
5	06.11.1958–04.05.1959	6	Южные Курилы Камчатка	1300	8.2 7.6–8.0
6	11.08.1969–22.11.1969	3.5	Южные Курилы Камчатка	1900	8.2 7.8

Примечание. Символ τ_1 — время между землетрясениями в паре; Δ_1 — расстояние между очагами в паре.

Анализ парных событий проведен в работе (Викулин, 2011). Было показано, что *каждому* из *всех* (N^*) 39 сильнейших ($M_0 \geq 7.5-7.9$) землетрясений, происшедших в пределах северо-западной окраины Тихого океана в 1899–1994 гг., оказалось возможным в пределах всей окраины Тихого океана найти второе сильнейшее землетрясение, которое произошло через небольшой интервал времени $\tau_1 = 3 \pm 2$ мес., $\tau_{1,\min} = 0$, $\tau_{1,\max} = 8.3$ мес. при среднем интервале в выборке

$\Delta T = (1994-1899)/39 \approx 3$ года. Данные обо всех таких событиях северо-западной части Тихого океана приведены в работе (Викулин, 1996б). Например, в один день 17.8.1906 на расстоянии 15540 км друг от друга произошли два землетрясения с очагами в центральной части Алеутской дуги, $M = 8.0$ и в Чили, $M = 8.6$ (расстояния определялись вдоль окраины Тихого океана). Максимумы чисел пар землетрясений, на которые приходится около 80% всех (N^*) данных,

можно описать как убывающую функцию расстояния между их очагами в паре. При этом максимумы чисел пар землетрясений приходятся на следующие достаточно «узкие» интервалы: 0–2, 4–5, 8–9, 12–13, 16–17, 19–20 и 22–23 тыс. км. Как видим, расстояния l между очагами в парах оказались распределенными вполне закономерным образом:

$$l_i (\pm 500 \text{ км}) = l_0 + i l_1, \quad i = 0, 1, \dots, 6, \quad (1)$$

где $l_0 \approx 200$ км ($i = 0$) — расстояния между очагами в дуплетах (табл. 1), $l_1 = 3000$ – 4000 км, $l_{\text{max}} = l_6 \approx 23000$ км ($i = 6$) составляет примерно половину протяженности всей окраины Тихого океана.

Таким образом, все парные землетрясения и землетрясения-дуплеты, в совокупности, включая и те, что представлены в табл. 2 и 3, являются *одной группой событий*, отражающей *общую для всей окраины Тихого океана* закономерность (1), которая, очевидно, может быть интерпретирована как «мгновенный портрет» сейсмического процесса, протекающего в пределах *всего сейсмотектонического пояса* в виде совокупности стоячих волн с длинами l_i , $i = 0, 1, \dots, 6$ (Викулин, 2011).

Как видим, методика ДССП является внутренне противоречивой. Действительно, с одной стороны, все землетрясения, относимые этой методикой к классу сильнейших ($M \geq 7.7$) событий, должны соответствовать фундаментальному свойству геосреды — ее блоковому строению, и определять циклические свойства сейсмического процесса. С другой — не все сильнейшие землетрясения в соответствии с методикой ДССП удовлетворяют таким свойствам. К числу таких, не удовлетворяющих свойству непересечения, очагов сильнейших землетрясений, в первую очередь, следует отнести Средне-Курильские землетрясения 2006 и 2007 гг., очаги которых перекрывают друг друга на 80–90% (табл. 2, № 12). Такие же, аналогичные Средне-Курильским землетрясениям 2006–2007 гг., события с сильно перекрывающимися друг друга очагами, как уже отмечалось, на Курилах происходили и раньше (табл. 2, № 6, 13). К парным землетрясениям, видимо, следует отнести и сильнейшие землетрясения 7 сентября 1918 г., $M = 8.2$ и 8 ноября 1918 г., $M = 7.9$ с очагами на Южных Курилах (табл. 2, № 7). На это может указывать анализ, проведенный в работе (Федотов и др., 2008). Действительно, сами авторы этой работы отмечают: парные события 1918 г. «напоминают» пару Средне-Курильских землетрясений 2006–2007 гг., на что указывает положение эпицентров афтершоков землетрясения 7.9.1918. Поэтому и очаги пар сильнейших землетрясений 1918 г. скорее всего, в значительной степени могли перекрывать друг друга. К таким же событиям можно

отнести и пары землетрясений в других регионах Тихого океана, например, пару землетрясений в 1929 г., $M \approx 8$ с очагами на Алеутских островах (Викулин, 1990).

Землетрясения-дуплеты с удаленными друг от друга очагами, например, японские 1605 и 1707 гг. и камчатские 1737 и 1952 гг. землетрясения (табл. 2, № 1–3, 10), в соответствии с отмеченными волновыми свойствами сейсмического процесса, по-видимому, могут являться отражением свойства миграции очагов землетрясений вдоль сейсмофокальной зоны. Тогда землетрясения-дуплеты с близко расположенными сильно перекрывающимися друг друга очагами, например, Средне-Курильские землетрясения 2006–2007 гг. (табл. 2, № 12), скорее всего, могут являться отражением свойства миграции очагов землетрясений вкост сейсмофокальной зоны. Анализ продольной (вдоль дуги) и поперечной (вкост дуги) миграции сильнейших ($M \geq 7.6$), происшедших в XVIII–XX вв., камчатских землетрясений, очаги которых удовлетворяют правилу непересечения в течение сейсмического цикла, проводился в работах (Викулин, 1992а, 1992б, 1996а, 1996б).

Кроме того, неучет эффекта землетрясений-дуплетов в методике ДССП приводит к значительному искажению получаемой в ее рамках прогнозной карты расположения очагов будущих сильнейших землетрясений за счет объединения в один очаг и обоих очагов-дуплетов, и значительного по протяженности участка сейсмофокальной зоны между ними. Так, например, очаг сильнейшего камчатского землетрясения 1904 г. (табл. 1, № 1), вполне мог располагаться между очагами-дуплетами Большого камчатского землетрясения 1952 г. (табл. 1, № 7; табл. 2, № 10) и, не нарушая правила непересечения, вполне соответствовать ДССП.

3. О трилемме: двойной толчок (дуплет), «главный форшок-главный толчок» или «главный толчок-главный афтершок». Возможно, к классу парных событий можно отнести и пару землетрясений с $M = 7.7$, происшедших с интервалом в 6 часов у берегов Южной Камчатки 25.6.1904 (табл. 1), макросейсмический эффект каждого из которых в Петропавловске-Камчатском был примерно одинаковым, 8 баллов (Новый ..., 1977). Тогда, используя и отмеченные волновые свойства сейсмического процесса, присущие группе парных сильнейших землетрясений, и представления о миграции очагов землетрясений, в рамках динамических моделей геодинамического процесса можно будет, в принципе, разрешить следующую трилемму: какую последовательность может представлять собой пара сильнейших землетрясений: либо главный форшок — главное событие, либо главное

событие — главный афтершок, либо пара сильнейших землетрясений, очаг каждого из которых должен соответствовать правилу непересечения. Решение этой трилеммы, вероятно, позволит ближе подойти и к определению природы форшоков.

4. Форшоки и краевая сейсмичность. Трудности общего плана, стоящие перед проблемой форшоков: их выявление, идентификация и физическая природа, кратко сформулированы в начале статьи. Конкретные же трудности выделения и анализа именно форшоковой активности в цепочке очагов рядом расположенных южно-курильских сильнейших землетрясений (табл. 1), происшедших в 1952 (6), 1958 (8), 1963 (9), 1969 (10), 1973 (12) и 1978 гг. (13), очевидны. В работе (Лобковский, 1988, с. 159) отмечено, что «при продолжительности сейсмического цикла 100–200 лет и повторяемости сильнейших землетрясений, одно событие примерно раз в пять лет, изучение особенностей пространственно-временного распределения форшоков крайне затруднено». Далее в этой же работе на основании анализа большого объема сейсмологического материала отмечается (Лобковский, 1988, с. 160–161), «что в течение достаточно продолжительного времени до и после основного толчка имеет место специфический эффект усиления сейсмической активности на краях очага. По-видимому, этот эффект является общим свойством сейсмического режима и должен быть справедлив для всех очагов сильнейших землетрясений зон субдукции. ... Усиление сейсмической активности на краях очагов сильнейших землетрясений до и после основного толчка ранее отмечалось рядом авторов» (выделено — АВ), включая и (Федотов и др., 1969) — работу автора ДССП. И действительно, часто вспышки сейсмичности случаются именно на краях очагов сильнейших землетрясений, проявляясь как краевая (Викулин, 2003) или кольцевая сейсмичность брешей второго рода (Моги, 1988).

Представляется, что именно «наведенной» сейсмической активностью, являющейся, по сути, «краевой» (Викулин, 2003, с. 24–25; Викулин и др., 1997, с. 87) и/или «кольцевой» (Моги, 1988, с. 110–118) сейсмичностью, фактически, отражающей особенности взаимодействия сейсмических брешей (очагов сильнейших землетрясений) между собой (Викулин, 2003; Лобковский, 1988), и можно объяснить наблюдаемые на рисунках *a, б* высокие значения активности на заключительной стадии сейсмического цикла, которые авторами ДССП (Соломатин, 2014; Федотов, 2005; Федотов и др., 2008) ошибочно интерпретируются как форшоковая активность.

Изучение и анализ сейсмичности в очагах сильнейших японских, курильских и камчат-

ских землетрясений авторами ДССП проводился без учета особенностей краевой и/или кольцевой сейсмичности, достаточно полно, с конкретными примерами, описанной в работах (Викулин, 2003, 2011; Лобковский, 1988; Моги, 1988). Эффекты удаленных форшоков и афтершоков (Прозоров, 1978) авторами ДССП также никак не принимались во внимание. Не учет таких «краевых» и «удаленных» явлений и исключение из анализа процесса «наведенной» афтершоками рядом расположенных и несколько удаленных друг от друга очагов активности приводит как к несоответствию методики ДССП имеющимся сейсмическим и геофизическим (геодинамическим) данным, так и к завышению статистической значимости так называемой стадии повышенной «форшоковой активности» на заключительной стадии сейсмического цикла.

5. О классе сильнейших землетрясений. Значение магнитуды M_0 , ограничивающее снизу класс сильнейших Курило-Камчатских землетрясений и землетрясений северо-восточной части Японии, авторами ДССП было выбрано достаточно произвольно без какого-либо анализа и для всего региона принято равным $M_0 = 7.7$. В то время как в диапазоне $M \geq 7$ анализом магнитудного (энергетического, графика повторяемости), временного и пространственного распределения землетрясений XX века и их очагов в пределах сейсмофокальной зоны северо-западной окраины Тихого океана протяженностью около 10 тыс. км было показано, что граничные значения магнитуд класса сильнейших землетрясений для разных участков зоны различные. Они оказались равными $M_0 = 7.9$ для Алеутских островов, $M_0 = 7.6$ для Камчатки, $M_0 = 7.9$ для Курил и $M_0 = 7.5$ для Японии, в среднем для всей северо-западной окраины $M_0 = 7.7 \pm 0.2$. Продолжительность сейсмического цикла, в течение которого очаги сильнейших землетрясений имеют тенденцию не перекрывать друг друга в пределах северо-западной окраины Тихого океана, составила ~200 лет (Викулин, 1990, 2011). Не учет таких особенностей привел авторов ДССП к исключению из анализа двух камчатских землетрясений: 24.2.1923, $M = 7.7$ в Камчатском заливе и 4.5.1959, $M = 7.6$ в Кроноцком заливе (табл. 3) с очагами, как показано в работе (Викулин, 2011), удовлетворяющими правилу их непересечения.

6. О прогнозе времени землетрясений. Использовать эффекты миграции очагов землетрясений и их повторяемости для прогноза как времени землетрясений, так и мест расположения их очагов, в рамках гипотезы М. Бата (Bath, 1966), по-видимому, впервые было предложено в работе (Kisslinger, 1974). К настоящему времени достаточно убедительно доказано существование волн миграции очагов землетрясений и исследованы

их свойства (Быков, 2005; Викулин, 1990; 1992а; 2003; Vikulin et al., 2012), что и позволило самым естественным образом ввести в методику долгосрочного прогноза, по сути близкую ДССП, предсказание времени будущего сильнейшего землетрясения (Викулин, 1992б; 1996а; 2011). При этом прогнозировать времена будущих сильнейших землетрясений оказывается возможным с достаточно «грубой» точностью до 10–20 лет с вероятностью около 70% и до 15–30 лет с вероятностью до 95% (Викулин, 2011), что, очевидно, не позволяет пока результаты такого долгосрочного прогноза использовать в практических целях. Для прогнозирования землетрясений с большей точностью необходимы другие принципиально отличающиеся от концепции ДССП модели сейсмического (геодинамического) процесса, учитывающих его динамику.

7. О непересечении очагов сильнейших землетрясений в течение сейсмического цикла как главном правиле ДССП. Это правило, во-первых, фактически, является отражением одного из основных законов сейсмологии, геофизики и геодинамики. Оно, по сути, отражает важнейшее свойство геосреды — ее блоковое строение, и впервые было сформулировано С.А. Федотовым (Федотов, 2005). Ранее представления о блоковом строении геологической среды развивались А.В. Пейве (1961). Впоследствии представления о «кусковатом» строении геофизической среды, как ее фундаментальном свойстве, были развиты М.А. Садовским (1979).

Во-вторых, одновременно с этим фундаментальным правилом непересечения очагов сильнейших землетрясений в статье 1965 г. С.А. Федотовым «предполагалось», что вероятность построенного с учетом этого правила «прогноза 0.8–0.9» (Федотов и др., 2008). Как показывает анализ всех последующих работ авторов методики ДССП, именно это второе правило и служило ориентиром ее дальнейшего совершенствования, что в результате неучета новых, в том числе, и приведенных выше данных о сейсмичности региона, фактически, осуществлялось за счет пренебрежения первым фундаментальным правилом. Именно в этом, на взгляд автора этих строк, и заключается основная причина низкой оправдываемости ДССП, значение которой, как уже отмечалось, в самом благоприятном случае не превышает 0.5–0.7.

Как видим, методика ДССП, в которой в качестве основы заложено только правило непересечения очагов сильнейших землетрясений в течение сейсмического цикла, имеет низкую оправдываемость при определении вероятных мест расположения очагов будущих сильнейших землетрясений, расчет же других параметров не имеет практического смысла.

Миграция сейсмичности и пары сильнейших землетрясений отражают особенности взаимодействия их очагов (блоков геосреды) между собой, чего нет в методике ДССП. Она статична, в ней никак не учитывается динамика сейсмического (геодинамического) процесса. Для решения проблемы практически эффективного прогноза землетрясений необходимо переходить на качественно новые модели геодинамического процесса, которые, в отличие от ДССП, могли бы учитывать его динамику. Разработкой таких моделей занимается много исследователей:, включая и автора этих строк.

8. Ротационная модель геодинамического процесса. Опираясь на результаты анализа энергетического (магнитудного), пространственного и временного распределений землетрясений XX в. в пределах северо-западной окраины Тихого океана (Викулин, 1990) была построена ротационная модель движения блоковой геосреды. В рамках такой модели нашли свое объяснение как волновые свойства геодинамической (сейсмической + вулканической + тектонической) активности и процесса миграции очагов землетрясений, так и геологические свойства геосреды: энергонасыщенность, реидность и способность образовывать вихревые геологические структуры, которые, как было показано, отражают ее нелинейные свойства (Викулин и др., 2016).

Исследование процесса миграции очагов землетрясений и извержений вулканов, проведенное на материале трех самых активных поясов Земли: Тихоокеанского, Альпийско-Гималайского и Срединно-Атлантического, подтвердило наличие взаимосвязи между сейсмическим и вулканическим процессами (Долгая, 2017; Vikulin et al., 2012). Таким образом, в рамках ротационных представлений, учитывающих направление развития сейсмического процесса, физическим аналогом пары землетрясений может являться процесс «расщепления» обычного состояния — одного очага сильнейшего землетрясения, на два — пару очагов таких землетрясений. По нашему мнению, построение прогнозных сценариев в рамках динамических моделей сейсмического и геодинамического процессов, описывающих их развитие во времени, может значительно повысить оправдываемость и/или эффективность таких сценариев.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный С.А. Федотовым в 1960-х гг. ДССП, несомненно, был прорывом, который выводил сейсмологию, геофизику и геодинамику на принципиально новый уровень исследований. Первые успехи прогнозов, эффективность

которых приближалась к теоретически ожидаемой автором оценке 0.8–0.9, могут быть объяснены двумя причинами. Во-первых, С.А. Федотов один из первых включил в практику геофизических исследований фундаментальное свойство геосреды — ее блоковое строение. Это свойство геосреды им было сформулировано в виде концепции сейсмического цикла, в течение которого очаги сильнейших землетрясений имеют тенденцию не перекрывать друг друга. Во-вторых, к 1960–1970 гг. имелось достаточно мало инструментальных данных как о сильнейших землетрясениях, так и об их форшоках и афтершоках, которые бы позволили с достаточной точностью определять и места расположения их очагов, и проводить их границы.

Со временем число инструментальных данных и о сильнейших землетрясениях, и об их форшоках и афтершоках увеличивалось, и появлялись непонятные для авторов ДССП закономерности сейсмического процесса, протекающего в исследуемом регионе. И вместо того, чтобы усовершенствовать методику ДССП с учетом исследования особенностей таких новых закономерностей сейсмичности, ее авторы пошли по другому пути, по пути ее совершенствования в ущерб основы методики — правилу непересечения очагов сильнейших землетрясений. Стремление удержать высокое значение эффективности ДССП вынудило его авторов сначала исключить некоторые события из класса сильнейших землетрясений, а потом приступить к «слиянию» двух сильнейших событий-пар в одно сильнейшее землетрясение. В результате, методика ДССП оказалась внутренне противоречивой, по сути, не отвечающей фундаментальному свойству геосреды — ее блоковому строению. Построенные в рамках ДССП карты искажают истинное расположение очагов сильнейших землетрясений в течение сейсмического цикла.

Подвести итог таким действиям авторов ДССП можно словами, сказанными 20 лет назад (Викунин и др., 1997, с. 87): «Методика прогноза «застыла» на уровне тридцатилетней давности: она была «революционной» в 60-е гг., когда появилась, удовлетворительной — в 70–80-е гг. и уже устаревшей в 90-е гг., по сути, компрометирующей саму идею возможности прогноза землетрясений». Проведенный анализ полностью подтверждает такой вывод 20-летней давности и дополняет его: в последние десятилетия получены новые, никак не использованные авторами ДССП, данные, как о сейсмичности (краевой и/или кольцевой и «удаленной») очагов землетрясений, так и о закономерностях их размещения (сейсмические бреши 1 и 2-го родов, землетрясения-дуплеты и мультиплеты, пары землетрясений).

Изменяется и сам подход к прогнозированию катастроф. Возникли новые дисциплины — медицинская геология (Вольфсон и др., 2011) и медицинская география (Медико-географические ..., 1987), разработана концепция геосоциального процесса, которые, рассматриваемые в совокупности, с одной стороны, указывают на взаимосвязь между природными катастрофами, в том числе и землетрясениями и извержениями вулканов, и социальными явлениями (войнами, эпидемиями и др.). С другой — новые подходы позволяют на принципиально новом уровне подходить к разработке сценариев уменьшения величины геосоциального (и геологического — в результате природных, включая и землетрясения, катастроф, и социального — в результате войн, эпидемий и др. явлений) риска (Викунин и др., 2015). В частности, при построении возможных сценариев геосоциального риска необходимо учитывать, в том числе, и взаимосвязь между сейсмическими и вулканическими процессами, которая по данным И.В. Мелекесцева проявилась на Камчатке в 1737–1742 гг. как «природная катастрофа» (Новейший ..., 2005, с. 553–568). Модель ДССП (Соломатин, 2014; Федотов, 2005), никак не учитывающая все приведенные выше новые данные, направления и концепции, фактически, действительно «застыла» на уровне полувекковой давности.

Заниматься прогнозом землетрясений, как и извержений вулканов и других природных процессов, представляющих опасность для населения, необходимо, это ясно. Но методики, используемые при построении прогнозных схем землетрясений, должны соответствовать всем современным данным сейсмологии, геофизики и геодинамики и должны быть ориентированы не на обоснование своей эффективности, а на реальное уменьшение ущерба. Практически эффективное решение проблемы прогноза землетрясений в настоящее время видится только в рамках динамических моделей геодинамического процесса, протекающего в пределах островных дуг и активных поясов Земли. Такие модели должны быть способными объяснять как взаимодействие блоков геосреды (очагов сильнейших землетрясений) между собой и особенности такого взаимодействия: миграцию, краевую сейсмичность, пары землетрясений, землетрясения-дуплеты, так и взаимосвязь между сейсмическим и вулканическим процессами.

Список литературы

Быков В.Г. Деформационные волны Земли: концепция, наблюдения и модели // Геология и геофизика. 2005. Т. 46. № 11. С. 1176–1190.

- Весна Е.Б., Кулик А.А.* Картина мира лиц, переживших землетрясение. Петропавловск-Камчатский: КамГУ им. Витуса Беринга, 2010. 179 с.
- Викулин А.В.* Феноменологическая волновая модель сейсмического процесса // ДАН. 1990. Т. 310. № 4. С. 821–824.
- Викулин А.В.* Физика волнового сейсмического процесса // Природа. 1992а. № 7. С. 11–19.
- Викулин А.В.* Прогноз времени сильнейших землетрясений у берегов Камчатки и Северных Курил // Вулканология и сейсмология. 1992б. № 1. С. 62–69.
- Викулин А.В.* Южно-Курильское землетрясение 4 октября 1994 г. как предвестник сильнейшего землетрясения на юге Камчатки // Вулканология и сейсмология. 1996а. № 5. С. 106–112.
- Викулин А.В.* Долгосрочный прогноз, миграция и пары землетрясений. Препринт № 1. Петропавловск-Камчатский: КОМСП ГС РАН, 1996б. 31 с.
- Викулин А.В.* Природный риск Северной Камчатки // Тихоокеанская геология. 1998. Т. 17. № 2. С. 85–92.
- Викулин А.В.* Роль и значение долгосрочного прогноза // Опыт прогнозирования сейсмической опасности на Камчатке в 1995–1996 гг. Петропавловск-Камчатский: КОМСП ГС РАН, 1999. С. 25–31.
- Викулин А.В.* Физика волнового сейсмического процесса. Петропавловск-Камчатский: КамГУ им. Витуса Беринга, 2003. 151 с.
- Викулин А.В.* Физика Земли и геодинамика: Учебное пособие. Петропавловск-Камчатский: КамГУ им. Витуса Беринга, 2009. 368 с.
- Викулин А.В.* Сейсмичность. Вулканизм. Геодинамика: избранные труды. Петропавловск-Камчатский: КамГУ им. Витуса Беринга, 2011. 407 с.
- Викулин А.В.* Рецензия на статью 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. Науки о Земле» (2016. № 4. Вып. 32. С. 106–114) // Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле. 2017а. № 1. Вып. 33. С. 96–98.
- Викулин А.В.* Геодинамика: тектоника плит и ротоника — ротационная тектоника. Плюсы и минусы // Система «планета Земля». М.: ЛЕНАНД, 2017б. С. 76–115.
- Викулин А.В., Вольфсон И.Ф., Грачев Л.А. и др.* Геология, медицина и социум // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2015. № 1. Вып. № 25. С. 41–55.
- Викулин А.В., Дроздюк В.Н., Семенец Н.В. и др.* К землетрясению без риска. Петропавловск-Камчатский: СЭТО—СТ, 1997. 120 с.
- Викулин А.В., Махмудов Х.Ф., Иванчин А.Г. и др.* О волновых и реидных свойствах земной коры // Физика твердого тела. 2016. Т. 58. № 3. С. 547–557.
- Викулин А.В., Мелекесцев И.В.* Уроки Хаилинского 1991, М = 7.0 и Олюторского 2006, М = 7.8 землетрясений // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2006. Вып. 7. С. 36–49.
- Вольфсон И.Ф., Фаррахов Е.Г., Милетенко Н.В. и др.* Медицинская геология: пять лет в странах СНГ // Горный журнал. 2011. Т. 3. № 12. С. 75–79.
- Долгая А.А.* Моделирование пространственных и временных закономерностей геодинамического процесса: Автореф. дисс. канд. физ.-мат. наук. Петропавловск-Камчатский, 2017. 24 с.
- Завьялов А.Д.* Среднесрочный прогноз землетрясений: основы, методика, реализация. М.: Наука, 2006. 254 с.
- Касахара К.* Механика землетрясений. М.: Мир, 1985. 264 с.
- Кузнецова К.И.* Особенности графика повторяемости землетрясений и поведение горных масс // Региональные исследования сейсмического режима. Кишинев: Штинница, 1974. С. 100–108.
- Новейший и современный вулканизм на территории России / Отв. ред. Лаверов Н.П. М.: Наука, 2005. 604 с.
- Лобковский Л.И.* Геодинамика зон спрединга, субдукции и двухъярусная тектоника плит. М.: Наука, 1988. 251 с.
- Медико-географические аспекты изучения здоровья населения Дальнего Востока. Владивосток: ДВО АН СССР, 1987. 188 с.
- Моги К.* Предсказание землетрясений. М.: Мир, 1988. 382 с.
- Новый каталог сильнейших землетрясений на территории СССР. М.: Наука, 1977. 536 с.
- Пейве А.В.* Тектоника и магматизм // Изв АН СССР. Сер. геол. 1961. № 3. С. 36–54.
- Прозоров А.Г.* О пониженной вероятности сильных толчков в некоторой пространственно-временной окрестности сильных землетрясений мира // Вопросы прогноза землетрясений и строения Земли. Вычислительная сейсмология. Вып. 11. М.: Наука, 1978. С. 35–47.
- Рикитакэ Т.* Предсказание землетрясений. М.: Мир, 1979. 390 с.
- Родкин М.В.* Сейсмический режим в обобщенной окрестности сильного землетрясения // Вулканология и сейсмология. 2008. № 6. С. 66–77.
- Садовский М.А.* Естественная кусковатость горной породы // ДАН. 1979. Т. 247. № 4. С. 829–832.

- Сидорин А.Я.* Предвестники землетрясений. М.: Наука, 1992. 192 с.
- Соболев Г.А.* Основы прогноза землетрясений. М.: Наука, 1993. 313 с.
- Соломатин А.В.* Развитие теории и методологии долгосрочного сейсмического прогноза для Курило-Камчатской дуги (С.А. Федотова). Автореф. дисс. канд. физ.-мат. наук. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2014. 19 с.
- Сто величайших катастроф мира. М.: ООО «Издательский мир книги», 2007. 208 с.
- Уломов В.И., Шумилина Л.С.* Комплект новых карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации // Сейсмостойкое строительство. 1998. № 4. С. 30-34.
- Федотов С.А.* Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги. М.: Наука, 2005. 302 с.
- Федотов С.А., Багдасарова А.М., Кузин И.П. и др.* Землетрясения и глубинное строение юга Курильской островной дуги. М.: Наука, 1969. 212 с.
- 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., Чернышев С.Д.* Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги: достоверность в 1986–2000 гг., развитие метода и прогноз на 2001–2005 гг. // Вулканология и сейсмология. 2002. № 6. С. 3–24.
- Федотов С.А., Чернышев С.Д., Чернышева Г.В. и др.* 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.
- Фирстов П.П., Копылова Г.Н., Соломатин А.В., Серафимова Ю.К.* О прогнозировании сильного землетрясения в районе полуострова Камчатка // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2016. № 4. Вып. 32. С. 106–114.
- Фирстов П.П., Копылова Г.Н., Соломатин А.В., Серафимова Ю.К.* 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. Науки о Земле» (2016. № 4. Вып. 32. С. 106–114) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2017. № 1. Вып. 33. С. 99–102.
- Bath M.* Earthquake prediction // Scientia. 1966. V. 101. № 6. P. 234–243.
- Earthquake prediction. An International review // Amer. Geophys. Union, Manrice Ewing Series. V. 4. Washington. 1981. 680 p.
- Gusev A.A., Gordeev E.I., Guseva E.M. et al.* The first version of the $A_{\max}(M_w, R)$ relationship for Kamchatka // Pure and applied geophysics. 1997. V. 149. P. 299–312.
- Jones L.M., Molnar P.* Some characteristics of foreshocks and their possible relationship to earthquake prediction and premonitory slip on faults // JGR. 1979. V. 84. № B7. P. 3596–3608.
- Kelleher S., Sykes L., Oliver J.* Possible criteria for predicting earthquake locations and their application to major plate boundaries of the Pacific and Caribbean // JGR. 1973. V. 78. № 14. P. 2547–2585.
- Kisslinger C.* Earthquake prediction // Physics Today. 1974. V. 27. № 3. P. 36–42.
- Proceeding of conference VI: Methodology for identifying seismic gaps and soon-to-break gaps. California, 1978. 924 p.
- Reid H.F.* The California earthquake of April 18.1906. V. 2. The mechanics of the earthquake. Washington: The Carnegie Inst. 1910. P. 413–444.
- Sykes L.R.* Aftershock zones of great earthquakes, seismicity gaps and earthquake prediction for Alaska and Aleutians // JGR. 1971. V. 76. № 2. P. 8021–8041.
- Vikulin A.V., Akmanova D.R., Vikulina S.A. et al.* Migration of seismic and volcanic activity as display of wave geodynamic process // Geodynamics and Tectonophysics. 2012. V. 3. № 1. P. 1–18.

ВИКУЛИН
THE LONG-TERM SEISMIC PREDICTION BY S.A. FEDOTOV

A.V. Vikulin

Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006

The paper analyzes the technique of long-term seismic prediction (LTSP) developed by S.A. Fedotov in 1960s for the Kuril-Kamchatka arc and north-eastern Japan. It is shown that the foreshock stage is statistically insignificant and geodynamically (both seismologically and geophysically) unjustified. Within the framework of the LTSP it is impossible to predict either the times of the future strongest earthquakes or the «level of seismic hazard of possible places of strong earthquakes». More or less effective solution to the problem of earthquake prediction is only possible within the framework of dynamic models of the geodynamic process that take into account the interaction of the strongest earthquakes foci (blocks of the geomedium) between each other and its features.

Keywords: seismic activity, seismic cycle, foreshocks, geodynamic process, earthquake prediction.