ВУЛКАНОЛОГИЯ И СЕЙСМОЛОГИЯ, 2025, № 2, с. 99–102

УДК 550.34

КОММЕНТАРИИ К СТАТЬЕ Г. Н. КОПЫЛОВОЙ, Ю. К. СЕРАФИМОВОЙ, В. А. КАСИМОВОЙ “О ПРОЯВЛЕНИИ ПРЕДВЕСТНИКОВ СИЛЬНЫХ ($M_W \geqslant 6.6$) ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КАМЧАТКИ”

© 2025 г. В. А. Салтыков

Камчатский филиал Федерального исследовательского центра “Единая геофизическая служба Российской академии наук”, бульвар Пийпа, 9, Петропавловск-Камчатский, 683006 Россия
e-mail: salt@emsd.ru

Поступила в редакцию 07.02.2025 г.
После доработки 17.02.2025 г.
Принята к публикации 18.02.2025 г.

Проблема комплексирования прогнозов, полученных по независимым методикам и различным входным данным, является актуальной для деятельности структур, занимающихся анализом прогнозов сильных землетрясений. Конечно, в идеальном варианте, когда мы рассматриваем некоторое множество прогнозов для одной пространственно-временной области, при этом эффективности используемых прогностических методик известны, решение задачи комплексирования прогнозов не составляет особого труда. В жизни, естественно, так не бывает. Поэтому сама по себе проблематика статьи очень интересна и важна.

Концепция комплексного предвестника, представленная в статье Г.Н. Копыловой с соавторами, не нова – авторы выдвинули ее более 10 лет назад. Эффект комплексного проявления предвестников (ЭКПП) представляется как увеличение числа предвестниковых аномалий по различным методикам. Предполагается, что этот эффект можно обнаружить в режиме реального времени. Ряд положений статьи вызывает возражения, которые оформлены в виде отдельных комментариев. Комментарии выстроены по ранжиру их важности с точки зрения комментатора.

КОММЕНТАРИЙ 1

Представляется, что авторы построили логику методики таким образом, что обязательным моментом возникновения ЭККП является проявление гидрогеологических предвестников в 2–4 скважинах Петропавловск-Камчатского полигона.

Логично, что зона проявления ЭКПП [Копылова и др., 2025, рис. 7] не может выходить за пределы зон проявления отдельных предвестников, ее образующих. То есть работает принцип “слабого звена”: зона ЭКПП – есть пересечение зон компонент. Поскольку зона проявления гидрогеологических предвестников (тонированный прямоугольник на рис. 7, см. работу [Копылова и др., 2025]) существенно меньше аналогичных зон других предвестников [Копылова и др., 2025, рис. 7], и, учитывая их относительно большой вклад (отмеченное авторами количество – 2–4) в необходимое общее число предвестников, наличие/отсутствие гидрогеологических предвестников является чувствительным для констатации самого факта появления ЭКПП. В противном случае зона ЭКПП не совпадала бы с зоной проявления гидрогеологических предвестников. И тогда необходимым условием поиска ЭКПП является наличие гидрогеологических предвестников, дополненное какими-нибудь еще до их

заданного суммарного числа. И здесь важным становится то, что в целях прогноза рассматривается пространственно-энергетическая область ожидаемого землетрясения, существенно меньшая, чем области, характерные для каждого из негидрогеологических предвестников, судя по тому же рис. 7 (см. [Копылова и др., 2025]). Неизбежным при этом является значительное снижение индивидуальной эффективности каждого из прогностических методов (кроме гидрогеологического), что приведет к большому числу пропусков цели. Это подтверждает пропорция между числом залитых и незалитых элементов на рис. 6 в статье [Копылова и др., 2025], который также приведен в данной работе (рис. 1б).

КОММЕНТАРИЙ 2

Комментарий касается состава предвестников [Копылова и др., 2025, рис. 4] и в более широком смысле – случайности/неслучайности их появления и появления ЭКПП. Авторы работы [Копылова и др., 2025, рис. 4] отмечают продолжительность предвестников. Из-за названия рисунка “Состав предвестников и время их проявления...” и календарной маркировки оси у читателя легко может сложиться впечатление, что в течение 2 лет перед рассматриваемыми землетрясениями предвестники наблюдались лишь единожды, непосредственно перед землетрясением. Это не так.

Поскольку среди упомянутых авторами есть методика ВСШ [Салтыков, 2017], использующая эффект приливной модуляции высокочастотного сейсмического шума во время подготовки сильного землетрясения, удобно использовать именно ее в контексте комментария в качестве примера.

Согласно данным, приведенным в статье [Салтыков, 2017], с 28.02.2011 г. по 28.02.2013 г. (для интервала времени, относящегося к рис. 4а из работы [Копылова и др., 2025]) предвестник выявлен перед шестью землетрясениями, соответствующими ограничениям методики. При этом были и ложные тревоги, и пропуски цели (последние здесь не представляют интереса). Суммарное время тревоги в течение двух лет оценивается в среднем как $T_{\text{alarm}} = 160–220$ сут в зависимости от нижнего предела магнитуды прогнозируемого землетрясения. То есть в течение ~1/4 всего времени отмечается состояние тревоги. Похожая на качественном уровне ситуация, вероятно, наблюдается и для предвестников, определяемых по другим методикам.

И здесь возникает вопрос: а как часто рассмотренные авторами 14 типов предвестников формируют ЭКПП случайным образом? Пока не будет дана хоть какая-нибудь оценка суммарной длительности тревоги, на основании которой можно определить эффективность комплексного предвестника, результаты статьи не представляют интереса для внедрения.

КОММЕНТАРИЙ 3

На рис. 4 из работы [Копылова и др., 2025] (а значит, это используется при построении комплексного предвестника) авторы приводят не только краткосрочные предвестники с определенным соотношением магнитуда–расстояние, но и среднесрочные предвестники, связанные с сейсмическими затишьями, вариациями наклона графика повторяемости и др., которые представляются пятнами различных размеров и форм на карте. В радиусе $d = 200–400$ км (что соответствует, согласно выводам статьи, зоне подготовки землетрясения $M = 7.0–7.5$) вокруг г. Петропавловска-Камчатского всегда (или почти всегда) найдется несколько таких пространственно разнесенных среднесрочных аномалий с размером, существенно меньшим d. То есть в любой момент времени в переменном комплекте предвестников всегда есть несколько постоянных членов (разумеется, конкретные аномалии меняются, но наличие некоторых типов предвестников – постоянно). Дополнительно можно заметить, что пространственные пятна среднесрочных аномалий могут рассекаться границей рассматриваемой области. В статье ни слова не говорится о том, как технически такие предвестники должны учитываться в комплексном параметре. И это тоже обесценивает работу.

Разумеется, при ретроспективном анализе этой проблемы нет: к конкретному землетрясению аномалия привязывается однозначно

по положению очага (который, как правило, находится на ее краю).

КОММЕНТАРИЙ 4

Согласно статье, информативным параметром является само число предвестников, имеющихся в наличии. Надежность и эффективность отдельных типов предвестников существенно различаются. Но эта информация теряется при суммировании в штуках. Практически это означает, что авторы постулируют равенство эффективности[1] различных типов предвестников (что, наверно, естественно на начальном этапе разработки). Однако неясно, к каким искажениям результата приведет такое уравнивание.

КОММЕНТАРИЙ 5

Комментарий касается отдельных процедур и решений, принятых авторами в ходе работы. Они связаны с удалением из рассмотрения некоторых землетрясений, формально соответствующих условиям, и, напротив, включением в рассмотрение землетрясений, не соответствующих начальным условиям.

Рассматриваемое землетрясение 06.10.1987 г. имеет моментную магнитуду $M_w = 6.5$ (см. табл. 3, 4 из работы [Копылова и др., 2025]), хотя упомянуто, что рассматриваются землетрясения с $M_w \geqslant 6.6$. Причем землетрясение 16.07.2016 г. $M_w = 6.5$ было исключено из рассмотрения именно из-за коррекции магнитуды в каталоге. Очевидно, что подобная исключительность далеко не безобидна. Особенно критичной ситуация станет при необходимости расчета эффективности комплексного предвестника.

Неубедительной представляется причина удаления из рассмотрения (см. рис. 5 из работы [Копылова и др., 2025]) Парамуширского землетрясения 25.03.2020 г. $M_w = 7.4$, на том основании, что оно является внутриплитовым (эпицентр – за желобом). Последнее, конечно, верно, но, во-первых, это землетрясение произошло в непосредственной близости к зоне субдукции Курило-Камчатской дуги, оно связывается с искривлением погружающейся Тихоокеанской плиты, и его взбросовый механизм соответствует механизму большинства сильных землетрясений зоны субдукции; во-вторых, не исключенное из рассмотрения Землетрясение Углового Поднятия 20.12.2018 г. ($M_w = 7.3$) также произошло за желобом – на внешней океанической стороне Камчатского и Алеутского желобов в районе их сочленения, а это нечастая трещина растяжения; в-третьих, оставшиеся межплитовые землетрясения отличаются большим разнообразием: приуроченность к совершенно разным тектоническим структурам (зона субдукции на различных глубинах до 180 км, граница малых литосферных плит: Охотской и Берингии, граница Командорской микроплиты и Берингии), весь спектр механизмов очага (см. рис. 2, литературу, указанную в табл. 2 из работы [Копылова и др., 2025]). На этом фоне исключение землетрясения выглядит как проявление волюнтаризма.

КОММЕНТАРИЙ 6

Вызывает недоумение раздел статьи, посвященный изучению взаимосвязи двух параметров – d/L и $M/\lg d$ (см. рис. 6 из работы [Копылова и др., 2025] и рис. 1 в данной работе). По сути, каждый из них есть комбинация расстояния d и магнитуды M, с учетом заложенного соотношения размера очага L и магнитуды M: $\lg L = 0.43M - 1.27$. Но тогда связь $d/L = Y$ и $M/\lg d = X$ – функциональная, но никак не статистическая, и методы выявления этой связи должны выбираться соответствующими. Учитывая, что X и Y определяются двумя параметрами, то, в общем случае, связь X и Y должна включать еще один параметр, например M. На рис. 1а представлено семейство функций для набора магнитуд M от 6.5 до 7.7 в диапазоне значений X и Y, соответствующем рис. 6 из работы [Копылова и др., 2025]. Кажущийся “статистический” разброс точек на рис. 6 из работы [Копылова и др., 2025] обусловлен только лишь их нахождением на различных кривых (см. рис. 1) в соответствии с их магнитудой.

Здесь же следует заметить, что линейная регрессия (см. рис. 6 из работы [Копылова и др.,

[1] Подразумевается эффективность по Гусеву [Гусев, 1974]. Но при равных эффективностях по Гусеву надежность предвестника (отношение числа землетрясений с предвестником к общему числу землетрясений) и достоверность предвестника (отношение числа реализованных аномалий к общему числу аномалий) могут существенно различаться. Это отражается, в частности, на числе ложных тревог и пропусков цели. На диаграммах Молчана [Molchan, 1990] это хорошо демонстрируется положением предвестника.

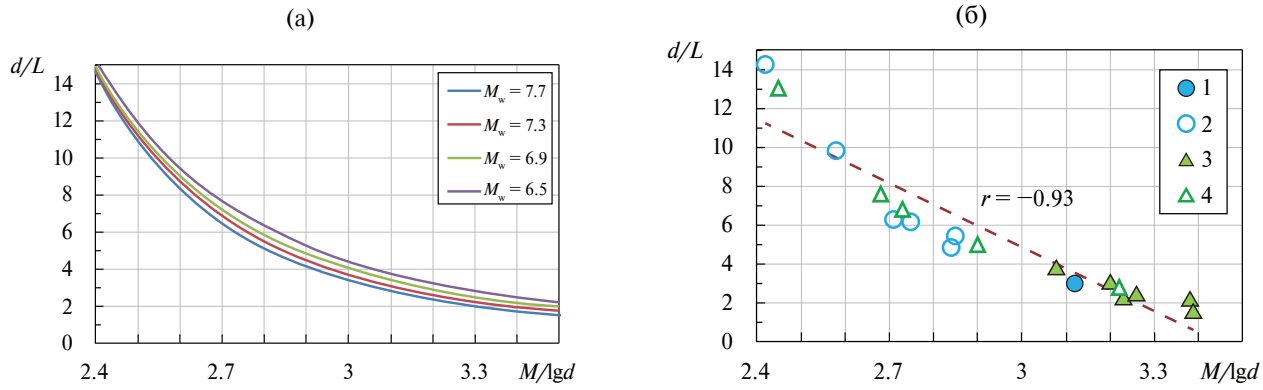

Рис. 1. Соотношение между параметрами землетрясений M/lg$d$ и d/L.
(а) – функциональная зависимость d/L от M/lg$d$ для набора магнитуд; (б) – реконструкция рис. 6 из статьи [Копылова и др., 2025] в соответствии с приведенными в ней (табл. 2, 3) данными. Элементы с заливкой соответствуют землетрясениям с ЭКПП, без заливки – без ЭКПП.

2025]), очевидно, неприменима для этого случая: различие знаков ошибки аппроксимации на краях диапазона и в центре говорит о нелинейной связи и необходимости нелинейной аппроксимации. Причем высокая значимость отрицательной корреляции, на что указывают авторы, предопределена самими параметрами X и Y: с увеличением магнитуды M (а значит, и размера очага L) и с уменьшением гипоцентрального расстояния d параметр X монотонно растет, а параметр Y так же монотонно убывает.

РЕЗЮМЕ

Следует признать, что авторы не привели в статье убедительных доказательств работоспособности методики ЭКПП: 1) не показана эффективность нового предвестника; 2) из самого построения комплексного предвестника следует уменьшение эффективности входящих в него компонент за счет уменьшенной зоны проявления ЭКПП по сравнению с зонами отдельных предвестников, что с неизбежностью ведет к увеличению пропусков цели; 3) неясен алгоритм использования в реальном времени.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075–00604–25, НИР № 122041500003–8 “Комплексное исследование предвестников сильных землетрясений и развитие методик прогнозирования сейсмической обстановки на Камчатке”).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Гусев А.А. Прогноз землетрясений по статистике сейсмичности // Сейсмичность и сейсмический прогноз, свойства верхней мантии и их связь с вулканизмом на Камчатке. Новосибирск: Наука, 1974. С. 109–119.

Копылова Г.Н., Серафимова Ю.К., Касимова В.А. О проявлении предвестников сильных ($M_w \geqslant 6.6$) землетрясений Камчатки // Вулканология и сейсмология. 2025. № 2. С.

Салтыков В.А. О возможности использования приливной модуляции сейсмических шумов в целях прогноза землетрясений // Физика Земли. 2017. № 2. С. 84–96. https://doi.org/10.7868/S0002333717010124

Molchan G.M. Strategies in strong earthquake prediction // Phys. Earth and Planet. Inter. 1990. V. 61. P. 84–98.

COMMENTS ON THE ARTICLE BY G. N. KOPYLOVA, YU. K. SERAFIMOVA, V. A. KASIMOVA “ON THE MANIFESTATION OF PRECURSORS OF STRONG ($M_W \geqslant 6.6$) EARTHQUAKES IN KAMCHATKA”

V. A. Saltykov

Kamchatka Branch of the Federal Research Center United Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences, bulvar Piipa, 9, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006 Russia
e-mail: salt@emsd.ru