

К вопросу об оценке результативности прогнозов

Салтыков В.А.

On the assessment of the effectiveness of forecasts

Saltykov V.A.

Камчатский филиал ФИЦ «Единая геофизическая служба Российской академии наук»,

г. Петропавловск-Камчатский

e-mail: salt@emsd.ru

Одной из основных задач Камчатского филиала Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений (КФ РЭС) является оценка подаваемых прогнозов сильных землетрясений. Описаны подходы к первичной оценке работоспособности прогностической методики в условиях отсутствия статистики ее использования. Представлены примеры такого анализа.

Одной из основных задач Камчатского филиала Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений и оценке сейсмического риска (КФ РЭС) является оценка подаваемых прогнозов сильных землетрясений [2]. И если оценка реализации прогноза не вызывает сложностей: в первом приближении прогноз считается оправдавшимся в случае полного соответствия всех параметров прогнозируемого землетрясения параметрам реально произошедшего события, то предварительная, на время подачи прогноза, оценка качества прогноза в каком-либо виде часто бывает затруднительна. Особенно это касается новых или недавно представляемых прогностических методик, то есть методик «без истории» в КФ РЭС.

Исходя из опыта работы КФ РЭС в течение 25 лет, следует разделять некоторые типичные ситуации, связываемые с подачей прогностических заключений, их экспертизой и оценкой их реализации:

1. Впервые подаваемый прогноз. Формулировка прогноза соответствует требованиям КФ РЭС.

2. Относительно новая методика прогнозирования. Статистика результативности методики отсутствует.

3. Имеющиеся в КФ РЭС материалы (представление или опубликование авторами собственного ретроспективного анализа) поведения предвестника в течение длительного времени с указанием интервалов тревог, ложных тревог, пропуска цели.

4. Достаточно продолжительная история подачи прогностических заключений по определенной методике. Наличие статистики реализации прогнозов.

Очевидно, что все эти ситуации различны и поэтому требуют разных методических подходов к их анализу, позволяющих сформировать некую оценку качества прогнозов. Ситуации перечислены в хронологическом порядке их возникновения, что соответствует увеличению их желательности и корректности для экспертизы. В данной работе автор ограничился ситуациями 1 и 2.

Ниже показаны подходы, используемые в КФ РЭС при анализе качества поступающих прогнозных заключений и, соответственно, используемых прогностических методик. Для демонстрации применения этих подходов приведены модельные прогнозы, основанные на реальных прогнозах и полностью им соответствующие на качественном уровне. Во избежание конфликта интересов и нарушения авторских прав в статье не приводятся имена авторов неопубликованных прогнозов и не указаны методики, по которым они составлялись.

Ситуация 1. Оценка прогноза. Впервые подаваемый прогноз

Задача КФ РЭС – 1) оценить вероятность случайного возникновения события с прогнозируемыми параметрами, 2) оценить условия применимости предлагаемой формулировки прогноза. Используемая схема оценки иллюстрируется двумя примерами с соответствующими пояснениями.

Прогноз 1. Формулировка: «В течение 50 дней (даты указаны) ожидается землетрясение с магнитудой $M \geq 5.5$ в круговой области радиусом $R=400$ км (координаты центра указаны)».

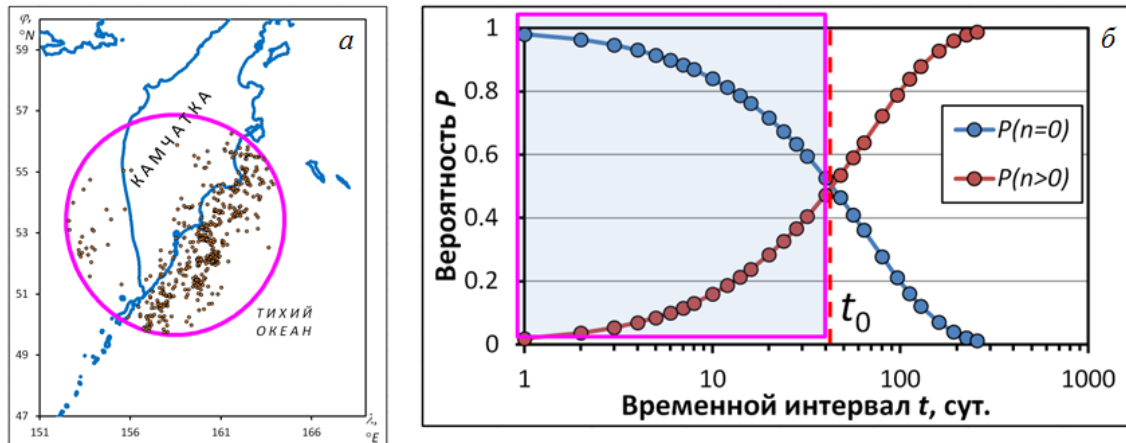


Рис. 1. а) Схема Камчатки. Окружностью ограничена территория Прогноза 1. Точками обозначены эпицентры землетрясений с магнитудой $M \geq 5.5$ за время детальных сейсмологических наблюдений на Камчатке (по данным каталога 1962-2024 гг.). б) Вероятность случайного возникновения/отсутствия землетрясения, соответствующего Прогнозу 1 в течение временного интервала t . Пунктир, соответствующий временному интервалу t_0 , отмечает совпадение двух вероятностей. Тонированный прямоугольник отмечает область, представляющую интерес при прогнозировании землетрясений, указанных в Прогнозе.

Анализ:

1. Из каталога Камчатского филиала Единой геофизической службы РАН (КФ ЕГС РАН) за все время детальных сейсмологических наблюдений (1962-2024 гг.) [1] сделана выборка всех землетрясений, соответствующих классу прогнозируемых по месту и магнитуде (рис. 1а).

2. Определена доля временных интервалов шириной t от 1 сут. до 64 сут., в которых отсутствуют землетрясения прогнозируемого класса, которую рассматриваем как оценку вероятности отсутствия землетрясений в течение времени $t - P(n=0)$ (рис. 1б).

3. Доля интервалов с землетрясениями, соответствующая оценке вероятности появления хотя бы одного землетрясения за время t , равна $P(n>0) = 1 - P(n=0)$ (рис. 1б). Считается, что попадание в один тревожный интервал нескольких землетрясений не означает несколько успешных реализаций одного прогноза, поэтому важен лишь факт «непустого» интервала, без детализации числа землетрясений в нем.

4. Подчеркнем, что $P(n>0)$ и $P(n=0)$ являются оценками вероятности «случайного» появления/отсутствия землетрясений за время t и к рассматриваемому Прогнозу прямого отношения не имеют. Очевидно, что если $P(n>0) > P(n=0)$ для некоего t^* (то есть вероятность случайного возникновения землетрясения больше вероятности его отсутствия), то необходимость в прогнозе землетрясения для временного интервала t^* отсутствует.

5. Точка пересечения зависимостей $P(n=0)$ и $P(n>0)$, то есть время t_0 , когда $P(n=0) = P(n>0) = 0.5$, определяет интервал состоятельности прогноза и временной масштаб прогнозирования. В данном случае $t_0 \approx 40$ сут. (рис. 1б). Соответственно, рассматриваемый Прогноз относится к классу краткосрочных [2].

6. Отмечается, что заявленное авторами время тревоги t_{alarm} на 25 % превышает экспертную оценку состоятельности Прогноза 1 – $t_0 \approx 40$ сут., то есть во временных рамках, определенных авторами, вероятность случайного возникновения землетрясения превышает вероятность его отсутствия, что в целом лишает Прогноз смысла. Однако, при возникновении землетрясения в первые 40 суток действия Прогноза 1, он будет

признан оправдавшимся. В отсутствие ожидаемого землетрясения, по прошествии времени $t_0=40$ сут. Прогноз 1 будет рассматриваться как неоправдавшийся, хотя срок, определенный авторами, еще не закончится.

Прогноз 2. Формулировка: «В течение двух недель (даты указаны) ожидается землетрясение с магнитудой M на гипоцентральной расстоянии R от точки (координаты указаны), связанными соотношением $M \geq 0.84 + 2.27 \cdot \lg R$ ».

Предложенная авторами формулировка зависимости M - R устанавливает минимальную магнитуду $M_{\min}$ землетрясения, ожидаемого на расстоянии R , и максимальное расстояние $R_{\max}$, на котором ожидается землетрясение с магнитудой M . Такая неопределенность территории прогноза является кажущейся и не противоречит требованиям КФ РЭС к формулировкам прогноза. Схема анализа – прежняя.

Точка пересечения зависимостей $P(n=0)$ и $P(n>0)$, для условий Прогноза 2 – $t_0 \approx 220$ сут. (рис. 2б). В этом случае рассматриваемый Прогноз относится к классу среднесрочных [2]. Учитывая заданное время тревоги $t_{\text{alarm}} = 2$ недели, вероятность случайного возникновения землетрясения крайне мала: $P(n>0) \approx 0.04$, что в случае успеха предполагает высокую эффективность.

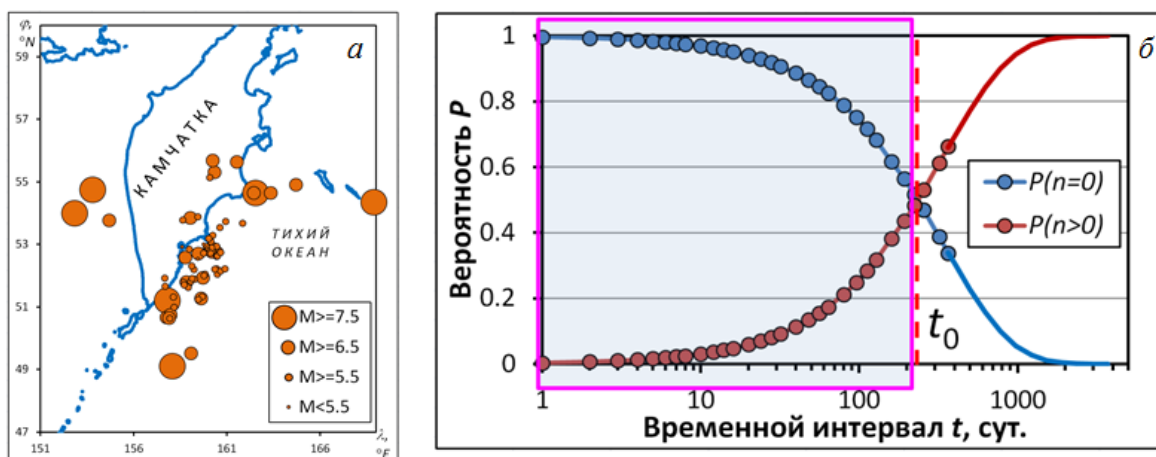


Рис. 2. а) Схема Камчатки. Территория Прогноза 2 определена соотношением «Магнитуда–Расстояние». Точками обозначены эпицентры землетрясений за время детальных сейсмологических наблюдений на Камчатке (по данным каталога 1962-2024 гг.), соответствующие этому соотношению. б) Вероятность случайного возникновения/отсутствия землетрясения, соответствующего Прогнозу 2 в течение временного интервала t . Все элементы графика аналогичны рис. 1б. Точки определены по реальному каталогу, сплошная линия является экстраполяцией.

Ситуация 2. Оценка реализации прогноза. Относительно новая методика прогнозирования. Статистика результативности мала либо отсутствует

Задача КФ РЭС – оценить не столько факт соответствия произошедшего землетрясения прогнозному заключению (что тривиально), сколько подтвердить неслучайность этого соответствия. Частым случаем является пролонгирование авторами прогноза. Очевидно, что оценка реализации такого прогноза не может быть дана лишь на основе последнего по времени заключения, так как по сути (но не по форме) серия последовательных прогностических заключений, реализованная одним землетрясением, является единым прогнозом. Подходы КФ РЭС демонстрируются на примере.

Реализация 1.

Во время действия Прогноза 1 (на 26 день от подачи заключения), рассмотренного выше, произошло землетрясение с магнитудой $M=6.3$ (рис. 3) в пределах обозначенной в Прогнозе круговой области (рис. 1а).

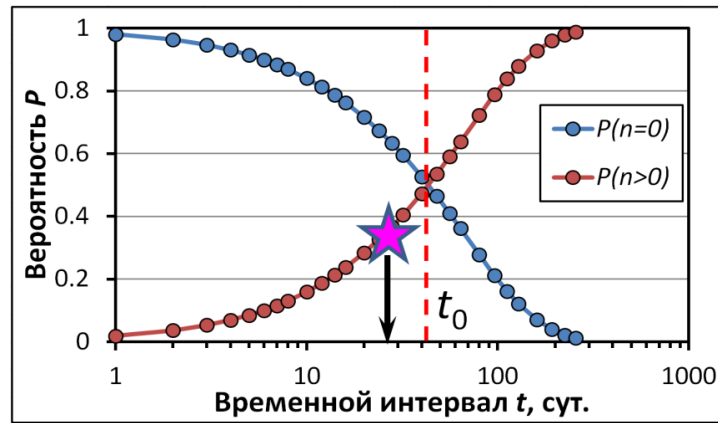


Рис. 3. Вероятность случайного возникновения/отсутствия землетрясения, соответствующего Прогнозу 2. Звездочка соответствует значению $P(n>0)$ для времени возникновения прогнозируемого землетрясения.

1. Землетрясение соответствует всем параметрам, указанным авторами в прогнозном заключении.

2. Выше указывалось, что длительность ожидания $t_{\text{alarm}} = 50$ сут., согласно Прогнозу 1, превышает время состоятельности этого Прогноза $t_0 = 40$ сут. Однако, для времени реальной тревоги $t_{\text{real}} = 26$ сут. $P(n=0) > P(n>0)$, поэтому Прогноз 1 считается оправдавшимся.

3. Для оценки качества оправдавшегося прогноза введена оценка «статистическая мощность прогноза» $N_t = P(n=0)/P(n>0)$ на момент спрогнозированного землетрясения. Для Реализации 1: $N_t = 1.8$ при $t = t_{\text{real}} = 26$ сут. Нижним пределом возможных значений при условии состоятельности прогноза является $N_t = 1$.

Вместо заключения

Авторы часто продлевают нереализованные прогнозы. Обычно это относится к методикам, для которых время тревоги согласно заключению $t_{\text{alarm}} \ll t_0$. Такие серии заключений подаются, как правило, регулярно по завершению предыдущего интервала ожидания. Методика анализа в этом случае не меняется. При этом наличие единичных пропусков в подаче прогнозов также не требует изменения методики анализа. Более того, методика анализа не изменится даже при изменении авторских формулировок во время такой «серии» (разумеется с коррекцией вероятностей).

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00604-25) и с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира».

Список литературы

1. Каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов (1962 г. – наст. вр.). [Электронный ресурс] // Единая информационная система сейсмологических данных КФ ФИЦ ЕГС РАН. URL: <http://sdis.emsd.ru/info/earthquakes/catalogue.php>
2. Чебров В.Н., Салтыков В.А., Серафимова Ю.К. Прогнозирование землетрясений на Камчатке. По материалам работы Камчатского филиала Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений, оценке сейсмической опасности и риска в 1998-2009 гг. М.: Светоч Плюс, 2011. 304 с.