

УДК 550.341

**МАКРОСЕЙСМИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ИТАЛИИ:
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ**

Т.Л. КРОНРОД, В.М. ПОДГАЕЦКАЯ

Международный институт теории прогноза землетрясений
и математической геофизики Российской академии наук, Москва

Проведен сравнительный анализ макросейсмических (МС) данных Италии, представленных базами данных CFTI2 (1997), DOM (1997) и CFTI3 (2000) и публикациями *Bolletino Macrosismico* (1985-1995). Показано, что в указанных источниках наблюдения подвергались разной степени обобщения, и поэтому данные из разных источников целесообразно использовать раздельно. Обнаружено, что при сборе МС-данных предпочтительно регистрируются сильные сотрясения. Сравнительный анализ дает представление о точности оценок балла и положения пункта наблюдений.

**THE MACROSEISMIC DATA ON ITALY:
COMPARATIVE ANALYSES**

T.L. KRONROD, V.M. PODGAETSKAYA

International Institute of Earthquake Prediction Theory
and Mathematical Geophysics, Russian Academy of Sciences, Moscow

Comparative analyses of the macroseismic (MC) data on Italy taken from the data bases CFTI2 (1997), DOM (1997) и CFTI3 (2000) and the issues of *Bolletino Macrosismico* (1985-1995) was made to determine the quality of these data. It is shown that in different sources the estimations of the intensity I differ systematically, and the data are generalized to various degrees. Thus, it is useful to use the data from various sources separately. It was found out that high intensities are registered preferably when data are being collected. The comparative analysis gives an idea of precision of the I estimations and disposition of the observation points.

Введение

Макросейсмические данные давно и широко используются при оценивании сейсмической опасности [1], для определения параметров сейсмического источника [2–4 и там же ссылки], при анализе локальных эффектов (“site effect”) (см., например, [5, 6]) и т.д. С развитием инструментальной сейсмологии интерес к макросейсмике не ослабел,

поскольку до сих пор доминирующая часть данных по сильным землетрясениям представлена интенсивностями, особенно в регионах с богатым сейсмическим прошлым (Италия, Греция, Китай и др.).

Сравнительно недавно стали доступны в электронной форме уникальные по объему Итальянские макросейсмические данные [4, 7, 8]. Дополнением к ним служат публикации [9]. Эти концептуально разные базы данных частично перекрываются и содержат для некоторых землетрясений разные версии карт интенсивности (*I*-карты). Эта неопределенность усложняет работу с макросейсмическими данными в приложениях. Авторы столкнулись с этой проблемой при анализе формы изосейст Итальянских землетрясений (см. [10–12]). Доступность альтернативных версий *I*-карт позволяет объективно оценить качество макросейсмических (МС) данных. Сопоставляя последовательно все элементы описания МС-данных (координаты, значения интенсивности, имена пунктов наблюдений), мы попытаемся ниже ответить на следующие вопросы:

- можно ли использовать данные из разных источников совместно;
- какого размера участки (“сайты”) можно принять за точку измерения интенсивности *I*;
- как отождествлять пункты наблюдений на разных *I*-картах;
- насколько представительны МС-данные в пространстве и изосейсты какого уровня они обеспечивают.

В настоящей работе использован формализованный метод построения изосейст [10], позволяющий одновременно оценить невязку δI (отклонение наблюдаемой интенсивности от сглаженного МС-поля) в каждом пункте наблюдений. Алгоритм метода кратко изложен в **Приложении 1**.

1. Исходные данные

Базы данных CFTI2 и DOM, появившиеся практически одновременно в 1997 году (первая – в марте, вторая – в апреле), были использованы с приоритетом {CFTI2, DOM} в работе [13]. Первая содержит более 31000 наблюдений для 460 землетрясений с 461 г. до Р.Х. и до 1990 г., вторая – более 37000 наблюдений для землетрясений с 950 г. и до 1980 г.

Новая версия базы CFTI, CFTI3 (2000), появившаяся три года спустя, содержит 33150 наблюдений для 605 землетрясений. Методика создания базы детально описана в [4]. В этой версии применено формализованное описание ущерба и автоматическое присвоение численного значения интенсивности с учетом статистического характера балла

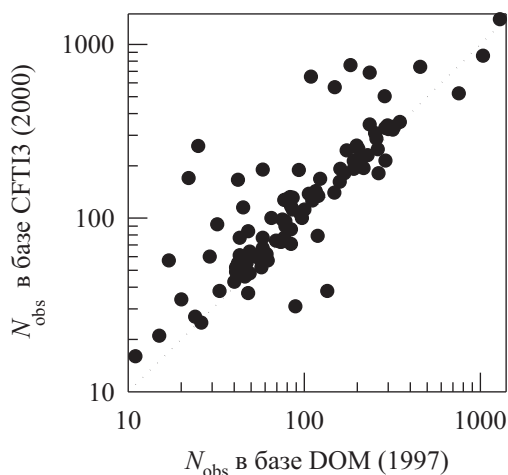


Рис. 1 Объем данных, N_{obs} в альтернативных версиях I -карт

[4, с.623]. Для отдельных землетрясений в базе CFTI3 данных, как правило, больше, чем в базе DOM (рис. 1).

Оперативные данные ВМС (Bolletino Macrosismico) – ежеквартальные публикации 1985–1995 гг. – составлены путем статистической обработки вопросников [14], при этом каждое значение интенсивности I сопровождается оценкой ошибки. Бюллетени ВМС содержат довольно много данных для слабых землетрясений и не пересекаются по событиям с базами CFTI и DOM.

Макросейсмические данные для отдельного землетрясения представлены набором наблюдений “пункт–интенсивность”, $\{g_k, I_k\}$ (далее “ I -карта”). В отдельном наблюдении (g_k, I_k) (далее IDP – Intensity Data Point) пункт g_k идентифицирован координатами и названием поселения. Пункты образуют нерегулярную и нестационарную систему точек.

При огромном объеме МС-данных в рассмотренных базах, в них поразительно мало количество неточностей (подробнее см. **Приложение 2**, 2.1–2.4). Несмотря на то, что авторами предприняты огромные усилия по сбору данных в сопредельных странах (см. карты изосейст в работе [11], preprint), в базах остались отдельные случаи известного “эффекта государственной границы”. Две такие I -карты с эпицентрами вблизи Итало-Французской границы приведены на рис. 2. В отличие от результатов специальных обследований, I -карты в данных ВМС ограничены не только государственными, но зачастую и административными границами.

В настоящей работе рассматривались I -карты с числом наблюдений $N_{\text{obs}} \geq 60$.

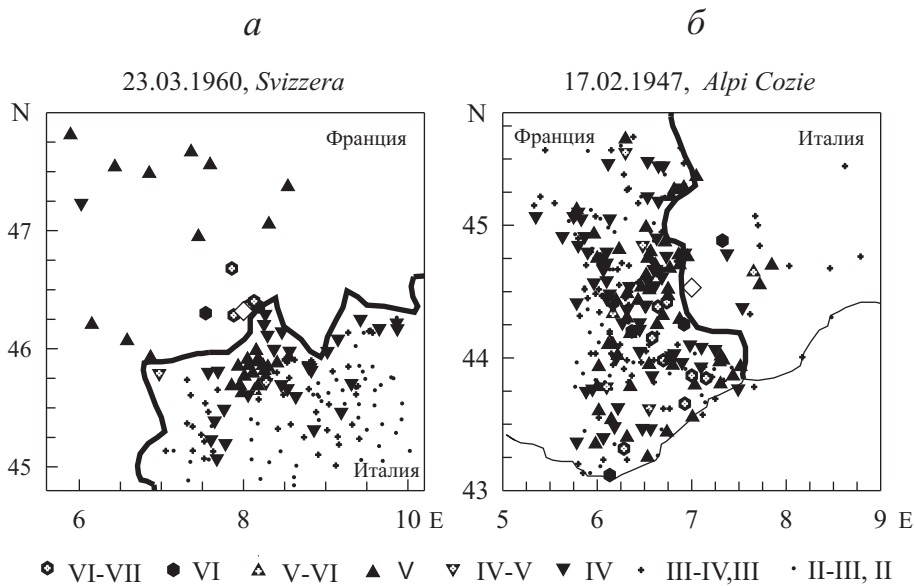


Рис. 2. “Эффект границы” в МС-данных из СFTIЗ – детальные наблюдения только в Италии (а) и только во Франции (б).

Обозначения: символы – интенсивность в пунктах наблюдения, жирная линия – государственная граница, ромбик – эпицентр

2. Мера интенсивности

Во всех рассмотренных источниках МС-данных использована шкала MCS (Mercalli–Cancani–Sieberg), наблюдаемые значения интенсивности I даны без поправки на грунты. Шаг шкалы Δ равен одному баллу. Согласно описанию шкалы (см. [4, с.708–709] и [9]) в частности, интенсивность $I = 1$ (“No felt”) регистрируется только сейсмографами; интенсивность $I = 2$ (“Very light”) ощущается только очень чувствительными субъектами и только на верхних этажах зданий.

Наблюдаемые значения интенсивности I представлены либо числовыми значениями от II до XII и обозначением NF для $I = 1$; либо полуцелыми числами (DOM); либо интервальными оценками, которые принято использовать как полуцелые значения I (СFTI); либо качественными оценками в виде символьных аббревиатур. Последним в описании базы СFTIЗ присвоены условные числовые значения, но их использование может привести в данные дополнительный шум (см. Приложение 3, 3.2).

Формально макросейсмическая шкала содержит только целочисленные значения интенсивности, а полуцелыми значениями принято обозначать случаи, когда в пункте наблюдаются признаки, свойственные двум смежным градациям шкалы. В последние годы высказываются

предложения о переходе к более детальной шкале с шагом в полубалл [15]. Во многих I -картах из CFTI3 и DOM (кроме 40–60-х гг. XX века) интенсивность уже дискретизирована с шагом $\Delta = 0.5$ балла, т.е. целые и полуцелые значения I представлены примерно равномерно (см. на рис. 3, *a* данные DOM). К сожалению, дискретизация шкалы меняется от события к событию, причем независимо от периода наблюдений.

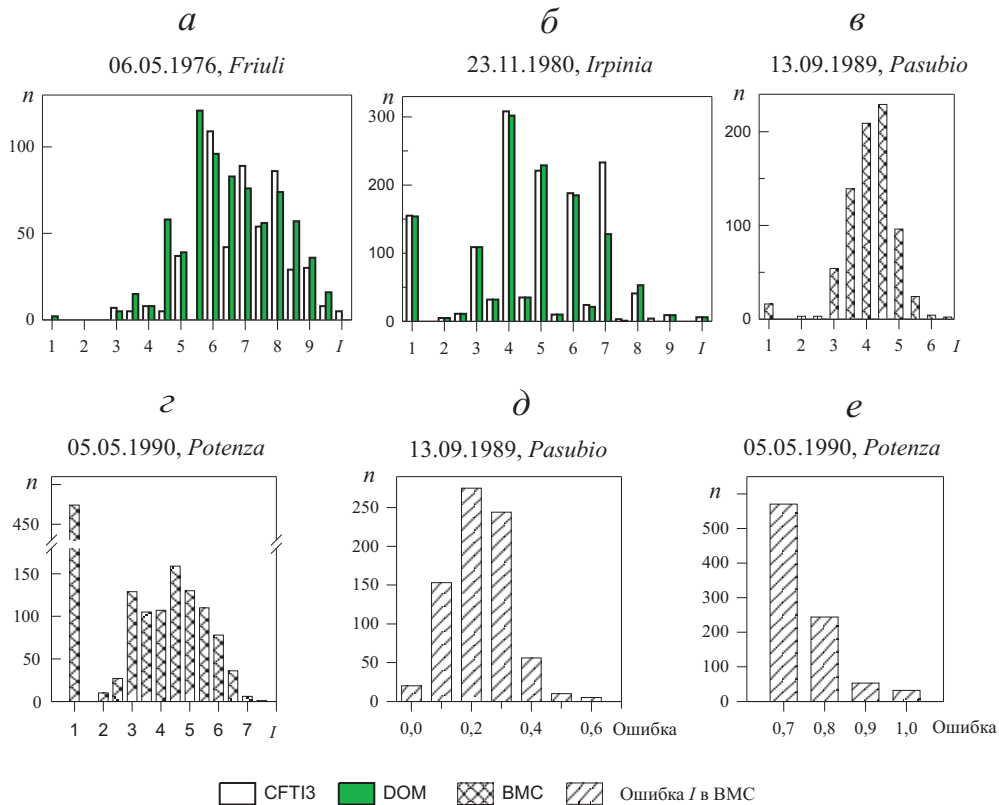


Рис. 3. Дискретизация шкалы интенсивности и точность оценок интенсивности I в разных источниках данных:

a–г – гистограммы интенсивности $n(I)$ в I -картах для отдельных событий: *a* – дискретизация интенсивности, допустимый шаг изосейст Δ и уровень младшей изосейсты \hat{I}_- зависят от источника данных (в базе CFTI3 доминируют целочисленные значения I , а в базе DOM целые и полуцелые значения I представлены равномерно); *б* – дискретизация интенсивности не зависит от источника данных (доминируют целочисленные значения I , $\Delta = 1$, $\hat{I}_- = V$); *в, г* – дискретизация интенсивности с шагом $\Delta = 0.5$ по данным BMC для двух событий (на рис. *г* формально обеспечены изосейсты $\hat{I}_- = III$, благодаря широкой регистрации $I = NF$, но надежность их невысока из-за отсутствия данных с $I = II$); *д, е* – точность определения интенсивности по данным BMC для тех же событий, что на рис. *в, г*, соответственно

Например, по данным ДОМ для близких по времени и очень хорошо обследованных событий *Friuli*, 1976 г. и *Irpinia*, 1980 г. в первом случае $\Delta = 0.5$, а во втором $\Delta = 1$ (ср. рис. 3, а, б). Зачастую для одного и того же события дискретизация шкалы различается в разных источниках данных (ср. данные ДОМ, $\Delta = 0.5$ и данные СФТИЗ, $\Delta = 1$ на рис. 3, а).

В данных ВМС интенсивность всегда дискретизирована с шагом $\Delta = 0.5$ (рис. 3, в, г), а значение интенсивности I сопровождается оценкой ошибки. Точность определения I меняется от события к событию и она тем ниже, чем меньше величина I . Величина ошибок показывает, что примерно с 1990 года методика сбора и/или обработки наблюдений в ВМС изменилась: вначале ошибки составляли $0.0 \div 2.1$ балла, а с 1990 года – $0.7 \div 1.0$ балла (ср. рис. 3, д, е).

Очевидно, что уровень надежной младшей изосейсты \hat{I}_- определяется достаточным количеством наблюдений интенсивности $I_- - \Delta$, т.е. когда $n(I_- - \Delta) \geq n(I_-)$. Разный шаг дискретизации шкалы определяет разный допустимый шаг изосейст, совпадающий с шагом шкалы Δ , и разный уровень надежной младшей изосейсты (см. примеры на рис. 3). Так, для события 06.05.1976, *Friuli* по данным СФТИЗ с шагом $\Delta = 1$ хорошо обеспечены только изосейсты с $\hat{I}_- = VII$; а по данным ДОМ (с $\Delta = 0.5$) $\hat{I}_- = VI$, благодаря большому количеству полуцелых значений $I = V-VI$ (см. рис. 3, а). Для события 13.09.1989, *Pasubio* по данным ВМС с $\Delta = 0.5$, при большом числе наблюдаемых $I = IV, IV-V, \hat{I}_- = IV 1/2$ (см. рис. 3, в). В то же время надежность изосейст зависит от представительности наблюдений разной интенсивности; отсутствие наблюдений некоторого балла снижает качество изосейст (см. $I = II$ на рис. 3, г). Отсюда следует, что

1) при разной дискретизации шкалы I -карта обеспечивает изосейсты с разным шагом (1 балл или 0.5 балла);

2) гистограммы $n(I)$ позволяют получить верхнюю оценку \hat{I}_- ;

3) из-за противоречия между непрерывностью волнового поля и дискретностью шкалы интенсивности невязки δI до полубалла естественны и уменьшаются при полубалльной дискретизации шкалы;

4) абсолютное значение невязок в пункте наблюдений – величина переменная, зависящая, при прочих равных условиях, от геометрии I -карты, а иногда и от источника данных.

Практика показала, что даже у опытных специалистов оценки интенсивности I могут различаться на один балл [15]. Показателем точности значения интенсивности может служить абсолютное различие dI значений интенсивности по разным источникам (подробности см. в **Приложении 3**, 3.1–3.4). Особенно велики расхождения dI по данным ДОМ и СФТИЗ для исторических событий (рис. 4).

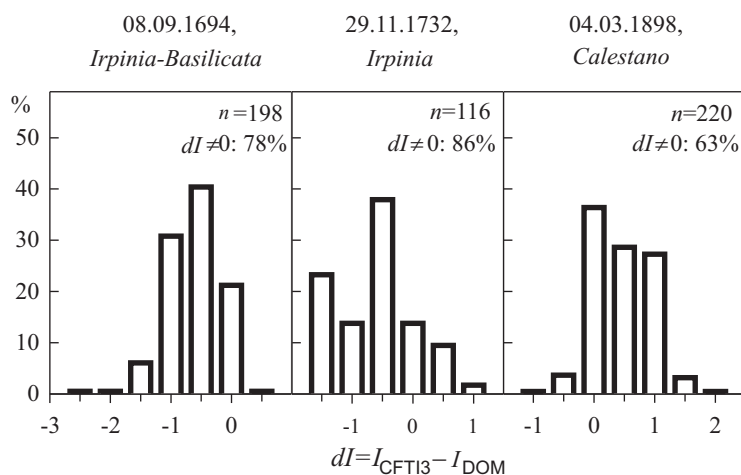


Рис. 4. Расхождение оценок интенсивности в альтернативных I -картах по данным DOM и CFTI3 для трех исторических событий.

Обозначения: n – количество общих пунктов наблюдений в паре I -карт, $dI \neq 0$ – доля различающихся значений I в общих пунктах

Отметим здесь несколько важных моментов:

- в обновленной версии базы CFTI, CFTI3, изменения в интенсивности относительно CFTI2 локализованы в пространстве (см. **Приложение 3, 3.2**), так как у авторов изменилась трактовка разрушений в некоторых районах Италии (см. [4, с.687–706]);

- значения интенсивности в базах CFTI3 и DOM различаются в 35% случаев и достигают 3.5 балла (см. **Приложение 3, 3.3**);

- расхождение оценок интенсивности в базах CFTI3 и DOM локализовано в пространстве: в центральной Италии интенсивность выше в базе DOM, а на севере и юге – в базе CFTI3 (рис. 5). В базе CFTI3 локально значительно повышено значение I на п-ве Гаргано и в нижнем течении реки Вольтурно.

Выводы:

- точность величины интенсивности ниже одного балла;
- данные из разных источников различаются систематически;
- большие невязки в пункте наблюдений возникают не только от естественных причин – таких, как сочетание рельефа с направлением подхода волны, переменная степень обводненности и т.п., – но и от низкой точности оценки интенсивности I , что усложняет анализ локального эффекта.

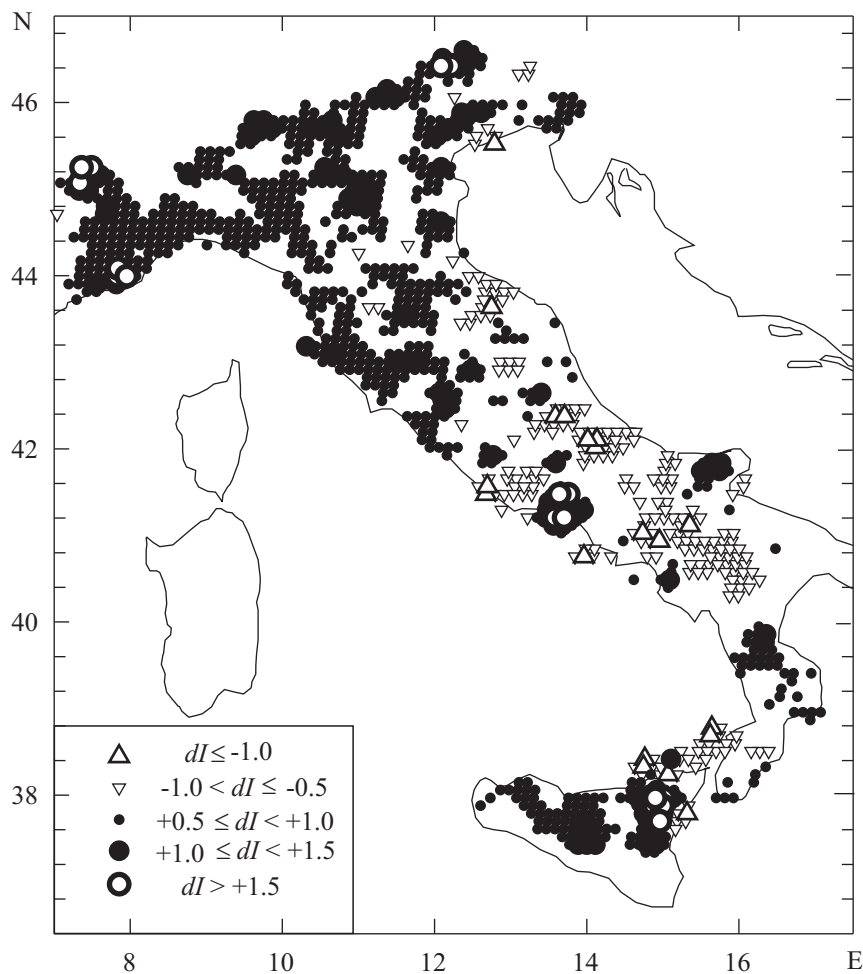


Рис. 5. Карта сглаженных расхождений интенсивности dI между данными CFTI3 и DOM, $dI = I_{\text{CFTI3}} - I_{\text{DOM}}$ (символы)

3. Координаты пунктов наблюдений

Во всех использованных источниках данных координаты приведены с точностью 0.001° . Для выявления реальной точности координат проведено сопоставление пунктов наблюдения в альтернативных версиях I -карт (рис.6; см. подробности в **Приложении 3**). На основании этого сравнения можно считать положение пункта наблюдений неопределенным в круге радиуса до 2 км (рис.6,а, в), а из рис.6,б следует, что при обработке можно исключать из рассмотрения далеко “отскочившие” IDP как вероятные грубые ошибки или опечатки.

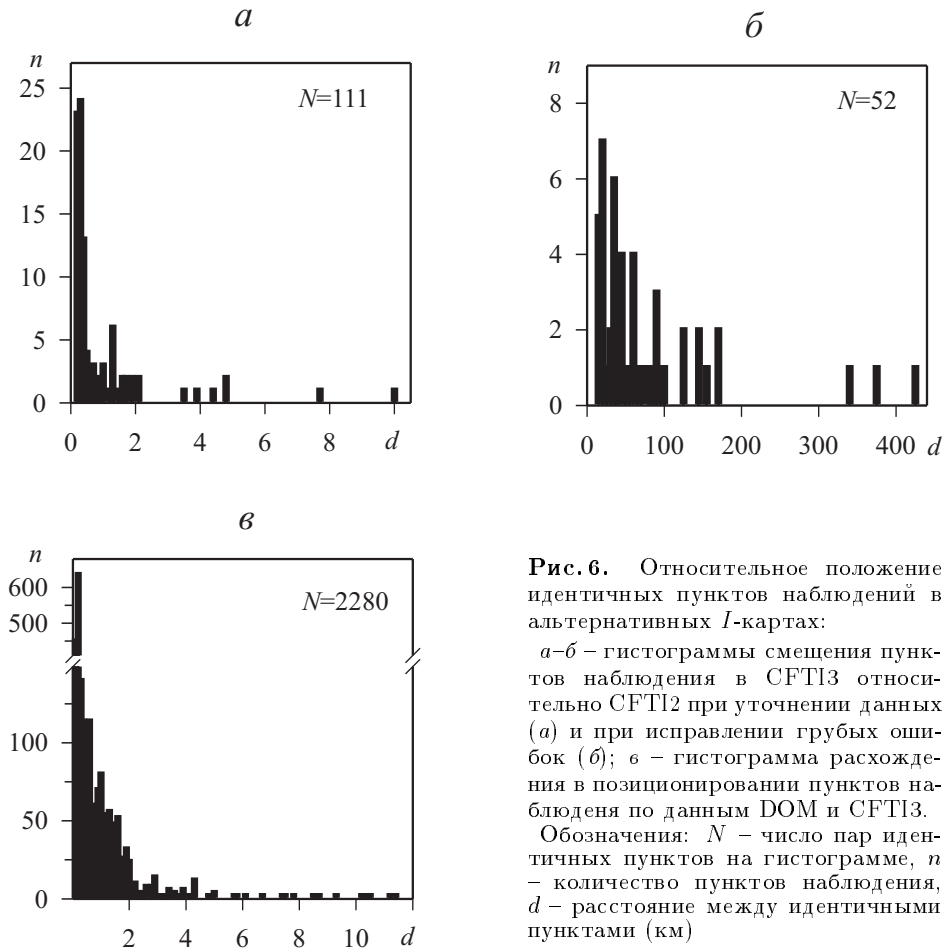


Рис. 6. Относительное положение идентичных пунктов наблюдений в альтернативных I -картах:

a – $б$ – гистограммы смещения пунктов наблюдения в CFTI3 относительно CFTI2 при уточнении данных (a) и при исправлении грубых ошибок ($б$); $в$ – гистограмма расхождения в позиционировании пунктов наблюдения по данным DOM и CFTI3.

Обозначения: N – число пар идентичных пунктов на гистограмме, n – количество пунктов наблюдения, d – расстояние между идентичными пунктами (км)

В данных по отдельному землетрясению иногда встречаются IDP с одинаковыми координатами, т.е. расположенные на расстоянии не более 100 м, расхождение значений I в которых обычно равно 0.5 и нередко достигает единицы (см. **Приложение 3**). Это может означать: (1) в базе приведены детальные наблюдения без статистической обработки; (2) при обследовании были обнаружены и сознательно внесены в базу резкие изменения I на очень малой базе – IDP в таком случае имеют разные и сугубо локальные имена (пример из CFTI3: событие 29.06.1919, пункт (43°.741 N, 11°.704 E), $I = VI - Castel$ (замок) *San Niccol'*, $I = V - Strada$ (дорога)); (3) возможна техническая ошибка, когда в окончательной I -карте остаются две версии оценки интенсивности.

Отсюда следует, что использованию I -карт должен предшествовать индивидуальный анализ нетипичных наблюдений.

4. Имена пунктов наблюдений

Для выбора размера “точки наблюдений” проведено сопоставление координат с именами пунктов наблюдения по данным из всех источников (см. Приложение 2, 2.5 и Приложение 3, 3.4). Суммируем результаты сопоставления.

1. Одноименные пункты позиционированы в разных I -картах на расстояниях до 3 км (рис. 7, а), т.е. точка наблюдений “размыта”, а точность ее координат – не лучше 1.5 км. В близких пунктах с расширенными именами (рис. 7, б) обычно один пункт (*основной*) резко доминирует по числу наблюдений над другим (*близким*). В малой окрестности ($\cong 1.5$ км) *размытые* и *близкие* пункты пространственно перекрываются.

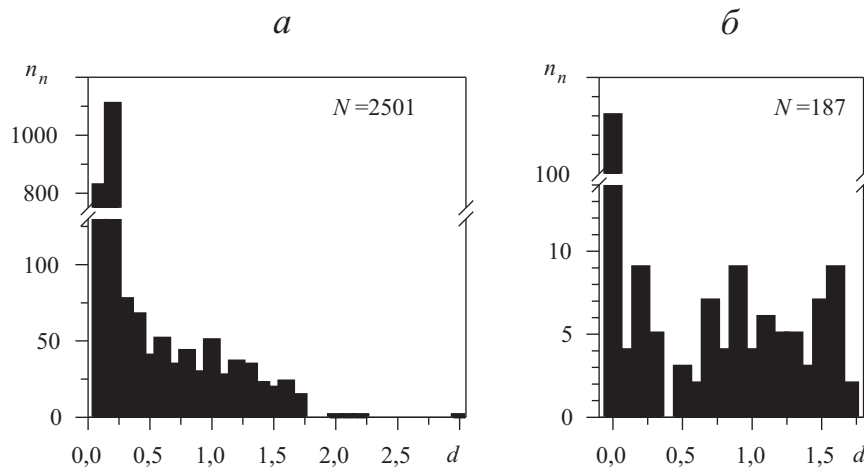


Рис. 7. Расположение *близких* пунктов наблюдений относительно *основного* пункта:

а – одноименные пункты, *б* – пункты с расширенными именами.

Обозначения: N – число пунктов на гистограмме, n_n – количество групп близких пунктов, d – расстояние до основного пункта (км)

Можно сделать заключение, что при разных событиях данные подвергались разной степени обобщения. Участок наблюдений (“сайт”) неоднозначно определен именем и координатами, его можно считать кругом с радиусом до 1.5 км, центрированным в *основном* пункте.

2. Для сопоставления наблюдений в *близком* и *основном* пунктах нужны либо большая статистика наблюдений в каждом из пунктов – чего нет, либо некоторое количество землетрясений, одновременно зарегистрированных с обоих пунктах. Анализ данных для надежных I -карт позволил выявить всего 53 пары близких пунктов, в которых получены невязки одновременно при четырех и более землетрясениях.

3. При идентификации близких пунктов наблюдений одних координат недостаточно, необходимо использовать имена. Имя пункта определено неточно из-за опечаток и различий в разноязычных транскрипциях. При идентификации имен следует использовать их сходство, а не точное совпадение. Как правило, имя пункта может служить идентификатором “сайта” только в небольшой окрестности.

5. Плотность и структура наблюдений

Плотность наблюдений зависит от детальности обследования, силы сотрясений, заселенности и доступности территории для наблюдателей. Как правило, плотность наблюдений наибольшая в эпицентральной зоне. Даже для наилучших *I*-карт XX века плотность наблюдений резко падает с расстоянием и на эпицентральной расстоянии 100–150 км уменьшается на порядок (рис. 8). Следовательно, чем выше ранг изосейсты, тем ниже точность ее картирования.

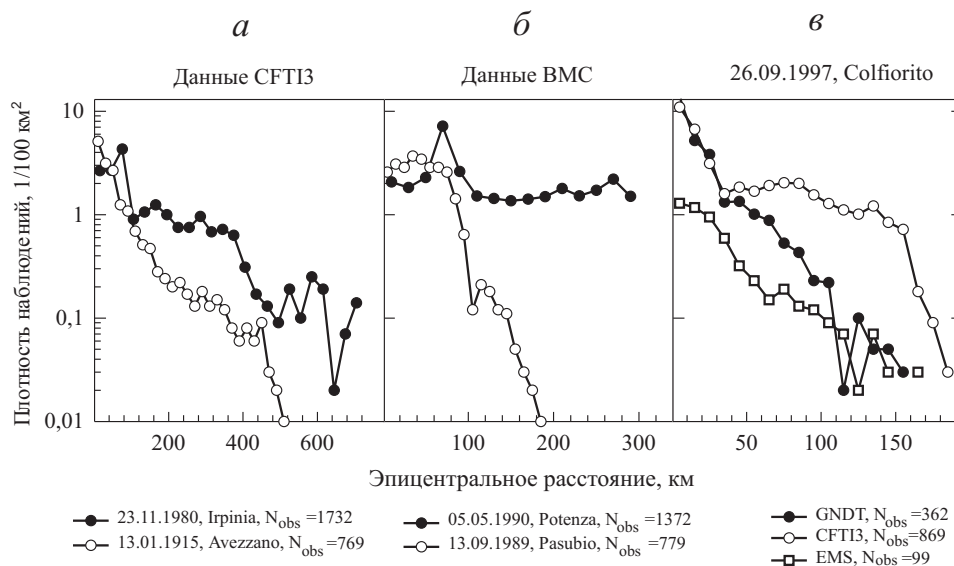


Рис. 8. Плотность наблюдений на отдельных *I*-картах:
а – данные CFTI3, *б* – данные ВМС по двум землетрясениям, *в* – данные для землетрясения 26.09.1997, *Colfiorito*, по трем источникам

Счастливым исключением составляет одна из самых плотных современных *I*-карт для землетрясения 05.05.1990, *Potenza* (ВМС): плотность наблюдения составляет 1.5–2 наблюдения на 100 км² до эпицентрального расстояния 300 км (рис. 8, *б*), однако точность определения *I* довольно низкая (см. рис. 3, *е*). Можно предположить, что в этом случае данные

обобщались на очень малой площади и/или по малому числу первичных наблюдений.

Казалось бы, при профессиональном обследовании сотрясения разной интенсивности в зоне наблюдений имеют одинаковые шансы попасть в I -карту. Для проверки этого предположения рассмотрим структуру наблюдений для нескольких событий – на рис.9 (см. вклейку) структура данных показана в виде относительного количества разных значений I и числа наблюдений n на эпицентральных расстояниях d , км.

Для землетрясения 26.09.1997, *Colfiorito* (Umbria-Marche) имеются данные из трех источников (см. рис.8,в и 9,а-в). В первой I -карте (рис.9,а) область наблюдений ограничена зоной регистрации $I = V$, так что обеспечены изосейсты интенсивности не ниже $I = VI$, регистрируются преимущественно сильные сотрясения $I \geq V$. Вторая I -карта (рис.9,б) получена преимущественно по единичным наблюдениям (82%), точность присвоения балла оценена авторами как $0.7 \div 1.0$; падение интенсивности с расстоянием выражено слабо, а низкая плотность наблюдений обеспечивает только единственную изосейсту $I = VII$ [13, с.193]. И в этой карте предпочтение отдано регистрации относительно сильных сотрясений (см. локальные максимумы $I(d)$, отмеченные на рисунке стрелками). Наконец, только в третьей I -карте (рис.9,в) со значительно увеличенным объемом данных (см. рис.8,в) и формализованной процедурой статистической обработки наблюдений, видно закономерное уменьшение интенсивности с расстоянием, а сравнение ее с двумя первыми картами подтверждает вывод, что при их создании преимущественно регистрировались относительно сильные сотрясения.

Для большинства I -карт характерны следующие особенности распределения наблюдений по баллам (см. примеры для трех недавних землетрясений на рис.9,г-е).

- Наиболее редко регистрируется $I = II$, причем $n(I = II) \ll n(I = NF)$. Типичный пример распределения наблюдений по интенсивности дает I -карта из ВМС для землетрясения 10.06.1995, *Roma*:

I	NF	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5
n	25	1	2	17	12	23	22	23	7

Зачастую регистрация интенсивности $I = II$ завершается на расстояниях, на которых еще наблюдаются $I = IV$ и $I = III$. Отсюда следует, что изосейста $I = III$ обычно ненадежна, так как поддерживается снаружи преимущественно наблюдениями $I = NF$.

- В ближней зоне с максимальной плотностью наблюдений часто регистрируются нетипичные слабые сотрясения, что дает очень большие перепады интенсивности на малых базах (см. на рис.9,д,е значения

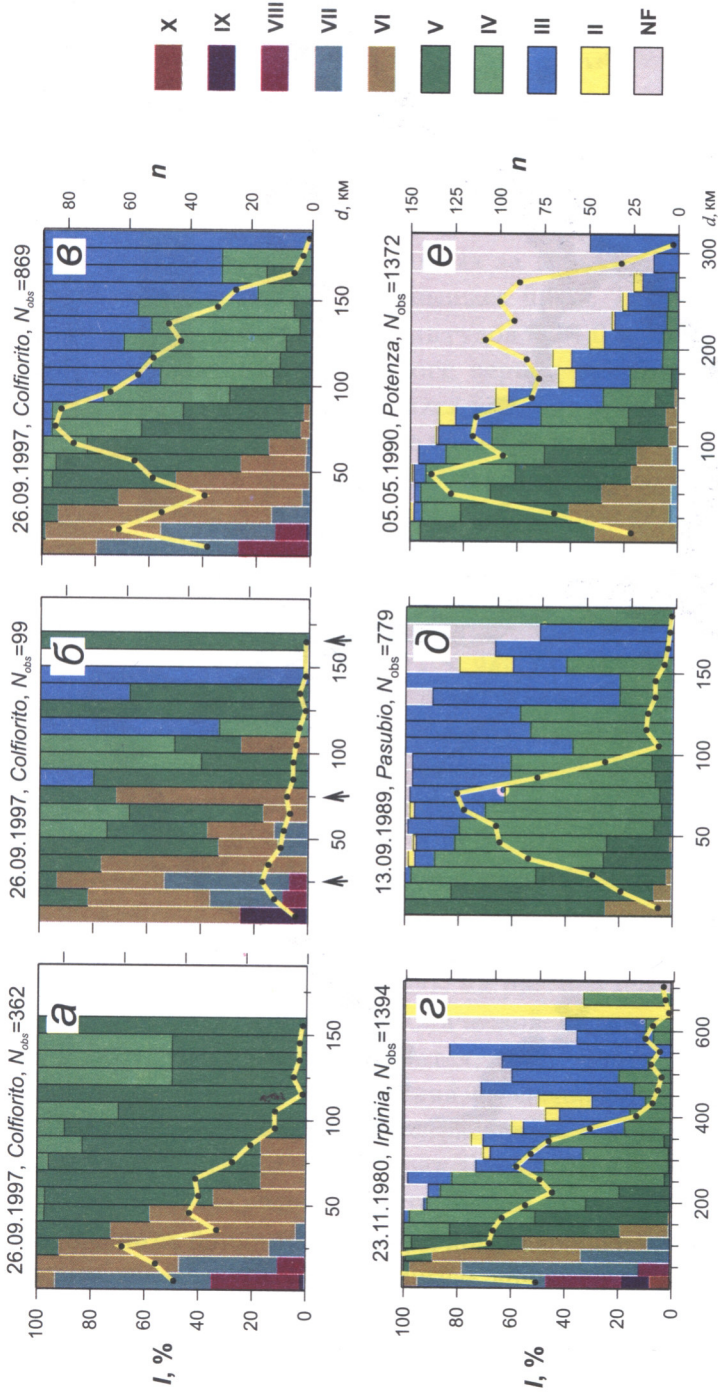


Рис. 9. Структура I-карт: а-в - структура альтернативных I-карт для события 26.09.1997, Colfiorito, по данным полевых наблюдений группы исследователей GNDT на 20 октября 1997 года [16] (а), по данным независимой группы исследователей, шкала EMS [16] (б), по данным CFT3 [4] (в); г-е - структура трех современных I-карт для событий 23.11.1980, Irpinia [4] (г), 13.09.1989, Pasubio [9] (д) и 05.05.1990, Potenza [9] (е).
 Обозначения: заливка - доля разных I (в %) на фиксированном эпицентрального расстоянии d (шкала слева); желтая кривая - число наблюдений n как функция эпицентрального расстояния d (шкала справа).

$I = \text{NF}, \text{II}, \text{III}$ на расстояниях до 100 км). Видимо, в близкой зоне осреднение данных часто проводится на относительно малой базе.

- На периферии I -карт регистрируются преимущественно относительно сильные сотрясения. Так, во всех случаях (см. рис. 9) на максимальном расстоянии доля сильных сотрясений выше, чем на меньшем удалении от эпицентра. Для землетрясения 13.09.1989, *Pasubio* (рис. 9, д) относительно малое количество данных о слабых сотрясениях, $I \leq \text{III}$, можно объяснить тем, что изометричная область наблюдений ограничена по $I = \text{IV}$ и изосейста $I = \text{IV}$ снаружи данными обеспечена плохо (см. карту изосейст в [11, с.306]. Относительное количество значений $I = \text{IV}$ убывает примерно одинаково с $I = \text{III}$, т.е. чем выше значение интенсивности I , тем больше шансов у него быть зарегистрированным.

Следовательно, на периферии I -карт наблюдения не всегда составляют представительную выборку. Аналогичная ситуация отмечена Аптикаевым [15] при анализе корреляции инструментальных и макросейсмических наблюдений: в обработку попадают преимущественно инструментальные записи с наибольшим уровнем амплитуды, и в результате оценки уровня колебаний для $I < \text{VI}$ оказываются завышенными. Из-за преимущественной регистрации сильных сотрясений на периферии I -карты могут появляться “острова” не односвязных старших изосейст и фиктивные отрицательные невязки.

Отсюда следует *вывод*: более вероятно обнаружить положительный локальный эффект, чем отрицательный.

Совместное влияние геометрии I -карты и отдельных ошибок в данных. Характерная для I -карт неравномерность расположения наблюдений в пространстве и ошибки в данных могут вызвать появление фиктивных или ненадежных не односвязных изосейст. Один пример был рассмотрен в работе [12] для землетрясения 18.10.1936, *Alpago*. Более яркий пример дает землетрясение 26.09.1933, *Maiella* (Marche). На карте изосейст по данным CFTIЗ вблизи эпицентра имеется “впадина” в изосейсте $I = \text{VII}$ с отрицательным “островом” в середине (рис. 10, а, б), по данным же DOM – изосейста $I = \text{VII}$ выпуклая (рис. 10, в). Осложнение на первой карте вызвано двумя обстоятельствами (рис. 10, б): (1) вблизи эпицентра есть участок без наблюдений размером примерно 15×25 км, (2) на границе этого участка среди поля наблюденных $I = \text{VII}$ есть пункты *Fonte Arcione* и *Crognaleto* с $I = \text{IV}$. Пункта *Fonte Arcione* для этого события нет в базе DOM и встречается он по всем источникам только в этом единственном случае. Вместо пункта *Crognaleto* с координатами ($42^\circ.22$ N, $14^\circ.49$ E) одноименный пункт присутствует в базе DOM также с $I = \text{IV}$, но смещенный на 65 км (рис. 10, а, в), причем пункт *Crognaleto* во всех остальных 11 случаях по данным CFTIЗ,

CFTI2, DOM и ВМС имеет такие же координаты ($42^{\circ}.59\text{ N}$, $13^{\circ}.49\text{ E}$), как в базе DOM для этого события. При использовании отредактированных CFTI3-данных, в которых поселение *Crognaleto* смещено, а пункт *Fonte Arcione* исключен, аномалия изосейсты пропадает и уменьшаются величины невязок вблизи эпицентра (рис.10,з).

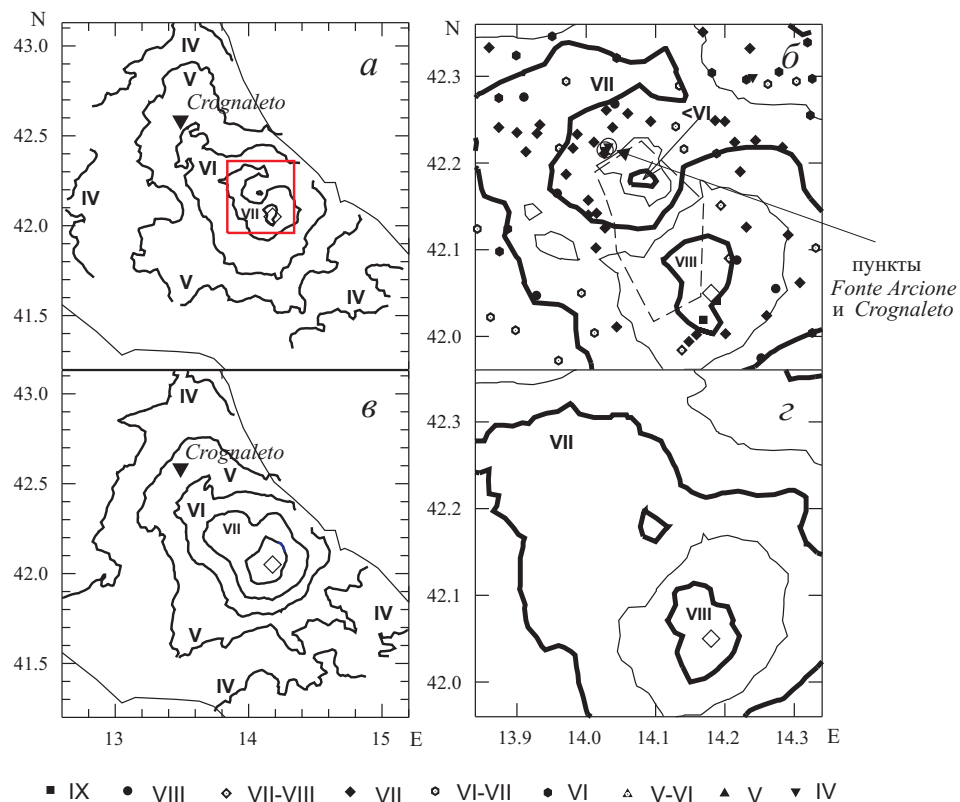


Рис.10. Пример совместного влияния ошибки данных и геометрии пунктов наблюдения: событие 26.09.1933, *Maiella*:

a – карта изосейст по данным CFTI3, *б* – ее центральная часть (выделена на рис. *a*), *в* – карта изосейст по данным DOM, *з* – центральная часть карты изосейст после редактирования данных CFTI3 (ср. с рис. *б*).

Обозначения: ромбик – эпицентр, пунктиром на рис. *б* показан участок без наблюдений

Из этого примера следует, что большие по абсолютной величине невязки и связанные с ними неоднородные изосейсты требуют специального анализа, при этом полезно сопоставление данных из разных источников.

6. Степень обобщенности исходных данных

В трех источниках СФТИЗ, ДОМ и ВМС данные, видимо, подвергались разной степени обобщения, вследствие чего дисперсия данных относительно сглаженного поля, абсолютные значения невязок и сложность рисунка изосейст зависят от источника данных. Для наглядного представления соотношения между данными из разных источников рассмотрим большие невязки, а именно – сравним 5%-е квантили Q_5 максимальных по абсолютной величине невязок δI .

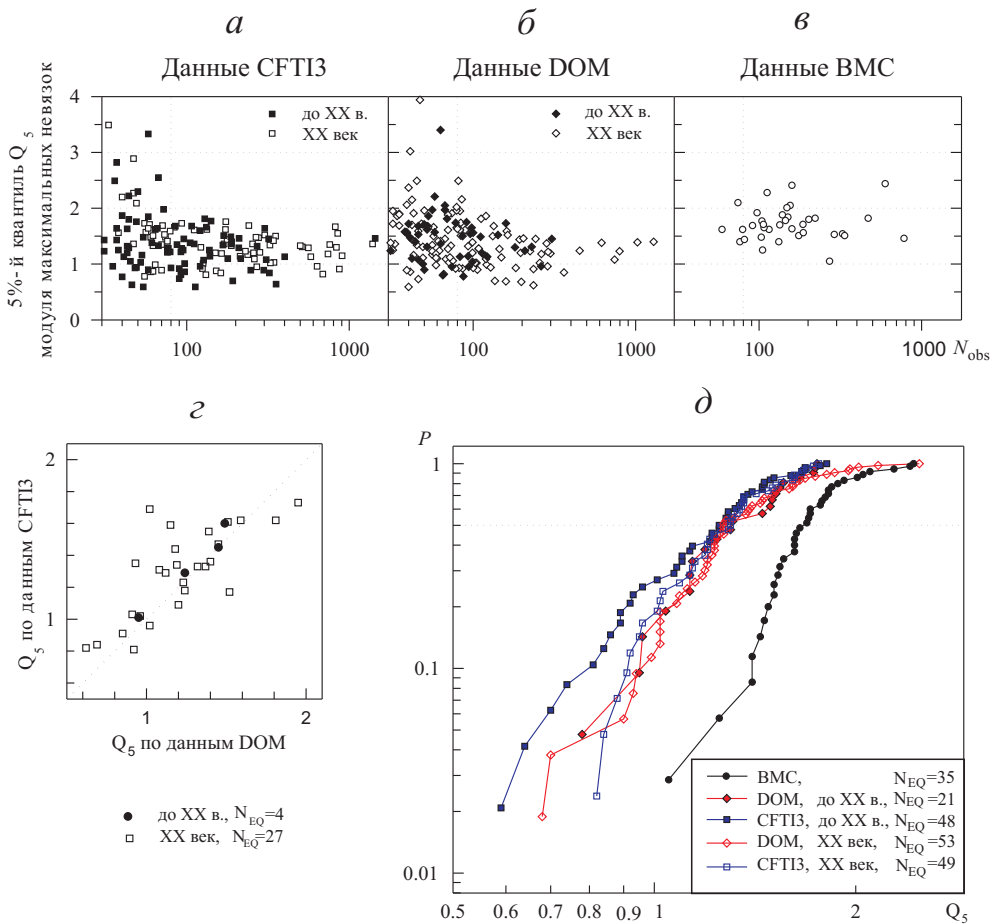


Рис. 11. Сопоставление невязок по данным из разных источников:

a–c – 5%-й квантиль Q_5 модуля максимальных невязок по данным из разных источников, вертикальная пунктирная линия $N_{obs} = 80$; *e* – сравнение Q_5 по альтернативным I -картам из ДОМ и СФТИЗ; *d* – функции распределения Q_5 для I -карт из разных источников, $N_{obs} > 80$.

Обозначения: N_{obs} – объем I -карты; N_{EQ} – число землетрясений

Квантиль Q_5 убывает с ростом числа наблюдений N_{obs} и в целом несколько выше по данным ВМС (рис. 11, а-в), при $N_{\text{obs}} > 80$ величина Q_5 слабо зависит от объема I -карты. Даже при большом объеме данных для наблюдений характерны большие невязки $\delta I = 1-1.8$ балла. При малом объеме I -карты для ряда событий характерны очень большие невязки – до 4 баллов (рис. 11, а, б), поэтому использовать такие I -карты следует с осторожностью, особенно это относится к пунктам на периферии области наблюдений.

При больших $N_{\text{obs}} > 300$ квантиль Q_5 по данным СФТИЗ несколько выше, чем по данным ДОМ (рис. 11, а, б). Для альтернативных I -карт с $N_{\text{obs}} > 80$ в общем Q_5 также выше по данным СФТИЗ, чем по данным ДОМ (рис. 11, з), т.е. данные СФТИЗ менее сглажены. В пользу этого вывода говорит и большее количество очень близких пунктов наблюдений в базе СФТИЗ (см. Приложение 2). Это различие выражается также в форме изосейст: при одинаковых параметрах сглаживания изолинии по I -картам из СФТИЗ более сложные (большая извилистость и количество “островов”), чем по I -картам из ДОМ.

Функции распределения Q_5 (рис. 11, д) по всем событиям с $N_{\text{obs}} > 80$ показывают, что в среднем по данным СФТИЗ и ДОМ для исторических и современных данных квантили невязок близки, среднее $Q_5 \cong 1.3$ балла. Более низкие невязки по историческим данным СФТИЗ (при $p < 0.3$) объяснить трудно, заметим только, что они не связаны с объемом данных (см. рис. 11, а). Скорее всего, это обусловлено применением формализованного метода анализа первичных данных и детальным учетом социо-инженерных особенностей исторических наблюдений в работе [4].

Наиболее существенно отличаются большим разбросом данные ВМС (рис. 11, в, д): значения Q_5 по этим данным примерно на 0.5 балла выше. По этим же данным наиболее сложны карты изосейст: очень извилистые и часто неоднозначные изолинии. Кроме того, десятки пунктов, которые содержатся в I -картах из ВМС, не встречаются в остальных источниках данных. Можно сделать вывод, что обобщение первичных наблюдений в данных ВМС проведено на очень малой базе.

Таким образом, наиболее обобщены данные в базе ДОМ, а ближе всего к первичным наблюдениям данные ВМС.

Заключение

Суммируем выводы, отвечая на вопросы, поставленные во Введении.

- I -карты из разных источников следует использовать отдельно из-за систематических различий в оценках интенсивности и разной сте-

пени обобщения наблюдений. При выборе версии *I*-карты нужно иметь в виду, что наиболее обобщены данные в базе ДОМ, а ближе всего к первичным наблюдениям современные данные ВМС. В сомнительных случаях полезно, если возможно, использовать данные из разных источников одновременно и независимо. При разных событиях данные подвергались разной степени обобщения даже в одном источнике данных.

- Точка измерения интенсивности (“сайт”) часто “размыта”, т.е. неоднозначно определена именем и координатами, ее можно определить как круг с радиусом $1 \div 1.5$ км, центрированный в пункте с максимальным числом наблюдений. В отдельных случаях данные дают возможность рассматривать вариации локального эффекта на малой базе (порядка 1 км), что требует дополнительного анализа состава наблюдений на элементарном участке.

- Допустимо использовать только числовые значения интенсивности и обозначение NF. Точность определения *I* довольно низкая. В данных возможны грубые ошибки, что (а) дает основание исключать при обработке аномальные оценки *I* и (б) требует индивидуального анализа больших невязок и неоднозначных изосейст перед их использованием.

- При идентификации пунктов наблюдений полезно использовать не только координаты, но и имена. При идентификации имен следует использовать их сходство, а не совпадение.

- При макросейсмических наблюдениях предпочтение обычно отдается регистрации относительно более сильных сотрясений. Отсюда следует, что (а) положительный локальный эффект обнаружить более вероятно, чем отрицательный и (б) из-за неполноты регистрации слабых сотрясений на периферии *I*-карты могут появляться фиктивные отрицательные невязки и неоднозначные изосейсты. Наихудшим образом представлена в данных интенсивность $I = II$, вследствие этого изосейста интенсивности $I = III$ наименее надежна. Допустимый шаг изосейст Δ (1 или 0.5) определяется в каждом конкретном случае характером дискретизации шкалы интенсивности, т.е. Δ меняется от события к событию и может зависеть от источника данных.

Указанные особенности МС-наблюдений требуют тщательного отбора надежных данных при использовании макросейсмологии в прикладных задачах. Особенно осторожно нужно относиться к наблюдениям на периферии *I*-карт.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Модифицированный метод полиномиальной фильтрации

Модифицированный метод полиномиальной фильтрации (МРФ-метод) предложен в работе [10] и ориентирован на анализ формы изосейстовых областей. Этот метод направлен главным образом на уменьшение шумовой компоненты в данных и автоматически адаптируется к пространственному расположению пунктов наблюдений. Метод чувствителен к плотности наблюдений и степени предварительной обработки данных.

В точке g_0 регулярной решетки строится круг $B_R(g_0)$ радиуса R (параметр сглаживания). Выбирается такой наименьший радиус, при котором в круг попадает не менее n_p точек (g_k, I_k) . Методом наименьших квадратов данные в круге приближаются поверхностью второго порядка $P_2(g_0)$, а значение P_2 в центре круга g_0 принимается за оценку $\hat{I}(g_0)$ поля I в точке g_0 . Невязка есть отклонение наблюдаемого значения интенсивности $I(g_k)$ от сглаженного поля: $\delta I(g_k) = I(g_k) - \hat{I}(g_k)$. При расчетах принято, как и в работе [10], $R_{\max} = \min(70 \text{ км}, D/4)$, где D – диаметр совокупности точек $\{g_k\}$. Чем больше параметр n_p , тем меньше влияние отдельного наблюдения на сглаженное поле, в расчетах принято большое значение параметра: $n_p = 24$. Для получения устойчивого результата использован малый шаг решетки $\delta = 2$ км, в отдельных случаях $\delta = 3-4$ км. Во избежание необоснованной экстраполяции I -поле на периферии оценивается в некоторой точке g_0 , если угол зрения из центра g_0 на попавшие в круг $B_R(g_0)$ точки не меньше заданного порога φ (принято $\varphi > 200^\circ$). Для полученного сглаженного поля $\hat{I}(g_0)$ область с $\hat{I}(g_0) > I - \Delta/2$ (Δ – шаг шкалы I) принимается за изосейстовую зону уровня I . Никаких ограничений на форму изосейст, в том числе на их связность, не накладывается.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Результаты формального анализа данных

Пунктом назовем точку наблюдений с фиксированными координатами (с точностью 0.001° по каждой координате). Для наблюдений на расстоянии до 100 м идентификатором служит только имя поселения. Ниже приведены результаты анализа индивидуальных I -карт.

2.1. База данных ДОМ. Рассмотрено 167 I -карт. Для близких (на расстоянии до 10 км) пунктов наблюдения имена можно считать оригинальными, только в 10 случаях близкие пункты имеют одинако-

вые имена в пределах одной I -карты. В одном случае на I -карте присутствует полный дубликат IDP (05.11.1659, *Vallelonga*, $I = 8.5$), по-видимому, это техническая ошибка.

Обнаружено 13 повторений координат в пределах одной I -карты, причем в пяти случаях значения I не совпадают. Четыре из повторяющихся пунктов одноименные, расхождение значений I достигает 1 балла или качественно различается (например, 4.0 и F, 5.5 и F), в этих случаях, вероятно, в базе сохранилось по две версии IDP.

2.2. База данных CFTI2. Рассмотрено 102 I -карты. Обнаружено всего пять случаев совпадения имен близких пунктов наблюдений. Из них вызывают сомнение два пункта с именем *Gradisca* на расстоянии 1.5 км (событие 06.05.1976) и два пункта с именем *Lipari* на расстоянии 1.5 км (событие 15.04.1978). Название *Villa* для двух пунктов на расстоянии 260 м явно недостаточно детально (событие 16.08.1916). В двух случаях пункт содержится в I -карте дважды с разными именами (14.04.1672: $I = 7.5$, *Cat Ghigi* и *Cat Cianci*; 29.04.1984: $I = 6.5$, *San Vitale* и $I = 6.0$, *Viola*). Исключение составляет землетрясение 20.04.1929, *Bologna*, для которого база содержит результаты детального обследования: из 607 наблюдений в эпицентральной зоне радиуса примерно 10 км их сосредоточено около 500.

2.3. База данных CFTI3. Рассмотрено 170 I -карт. Обнаружено 10 формальных нарушений формата в указании страны (квадратные скобки без аббревиатуры государства). Выявлен всего один случай совпадения имен близких пунктов: 15.04.1978, *Lipari*, расстояние 3.05 км; в предыдущей версии (см. выше) расстояние было 1.5 км.

Выявлено 27 случаев повторения разноименных пунктов в пределах одной I -карты (без учета детальных наблюдений события 20.04.1929, *Bologna*), из них в 16 случаях значения I совпадают. Расхождения значений I в точках с одинаковыми координатами в трех случаях достигают 1 балла или различаются качественно:

Событие	Координаты		I_1	I_2	Имя ₁	Имя ₂
04.07.1880	46°126 N	8°199 E	F	3.0	San Lorenzo	Bognanco
10.07.1908	46°406 N	13°196 E	7.0	6.0	Moggio Udinese	Moggio Di Sotto
10.11.1918	43°741 N	11°704 E	6.0	5.0	Castel San Niccolm	Strada

2.4. Публикации ВМС. Рассмотрена 41 I -карта. Выявлено четыре случая повторения в I -картах разноименных пунктов с различием интенсивности до 1.5 баллов. Показателен случай различия в 1.5 балла: для пункта *Cecina* (43°311 N, 10°517 E) имеется по всем источникам 15 наблюдений, но только при одном событии в этом пункте приведено два наблюдения: *Cecina*, $I = 2.5$ и *Cecina Marina*, $I = NF$. Для события

12.06.1995, *Roma*, шесть пунктов на расстояниях 4–6 км имеют одинаковое имя с различными индексами (*Castelportizano 1, 2, ..., 6*).

2.5. Анализ имен пунктов наблюдений. Всего рассмотрена 591 *I*-карта из разных источников, содержащих 90578 наблюдений в 16948 пунктах.

1) В данных имеется 1511 пунктов (9%), имеющих более одного имени (из них 90 – по 3 имени, 7 – по 4 имени), среди них:

– 339 различаются по представлению специальных символов (например, <'>, <`> или <'>), особенно в итальянских названиях (*нет соглашения об обозначениях*);

– 72 различаются одной буквой или в именах использованы разные сокращения (*разногласия в синтаксисе и опечатки*);

– 187 имеют имя короткое и такое же имя (имена) с расширением или общее имя с разными расширениями (*детальные наблюдения*);

– 1018 имеют два разных имени.

В первых двух случаях можно считать пункты одноименными.

2) На расстояниях больше 6–7 км имена пунктов наблюдения не уникальны, особенно начинающиеся с *San, Santa, Casa, Castel ...*. В *I*-картах из баз СФТИ их идентификация часто облегчается указанием в данных административной принадлежности поселения.

3) Одноименные пункты позиционированы в разных *I*-картах на расстояниях до 3 км (см. рис. 7,а), причем имеют до трех разных пространственных положений, т.е. пункт наблюдений “размыт”. Такие одноименные пункты можно считать идентичными. Подчеркнем, что эта неопределенность не связана с большими городами. Каждый такой пункт уникален в пределах отдельной *I*-карты. Систематически отличается на 1–2 единицы последний (третий) десятичный знак в данных ВМС.

4) В 187 случаях имеется два близких пункта с расширенными именами (см. рис. 7,б). Обычно расширение детально позиционирует место наблюдений, например *Superiore* и *Inferiore* (верхний и нижний). Назовем такие пункты *основным* (пункт с максимальным числом наблюдений n_{obs}) и *близким*. Как правило, в *близком* пункте наблюдений немного и они составляют 10–40% от объема данных в *основном* пункте. В целом случаи систематических наблюдений в обоих пунктах довольно редки (таких пунктов значительно меньше 1%). Часто наблюдения приурочены то к одному пункту, то к другому, то к обобщенному пункту без дополнительной спецификации (например, *Conflenti* – при 2 событиях, *Conflenti superiore* – при 1, *Conflenti inferiori* – при 1, *Conflenti superiore* и *Conflenti inferiori* – при 2). В малой окрестности ($\cong 1.5$ км) *размытые* и *близкие* пункты пространственно перекрываются. Отсюда следует, что

при разных событиях данные подвергались разной степени обобщения и такие *близкие* пункты полезно использовать совместно.

5) Число *близких* разноименных пунктов в окрестности *основного* пункта, естественно, растет с расстоянием. Около 20% кругов с радиусом 0.01° содержит более одного пункта наблюдений. В большинстве случаев число наблюдений в *близких* разноименных пунктах мало и составляет 10–30% от числа наблюдений в *основном* пункте.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Сравнение отдельных I -карт по разным источникам данных

3.1. Сравнение баз данных CFTI2 [7] и DOM [8]. Рассмотрена 71 пара I -карт с общим числом наблюдений 13119 в базе CFTI2 и 10276 в базе DOM. Данные различаются для всех событий. Для общих пунктов значения I различаются в 30% случаев (2663 из 8729). Гистограмма $dI = I_{\text{CFTI2}} - I_{\text{DOM}}$ практически симметрична, в 92% случаев (2453 значения) различия не превышают 1 балла. Пункты наблюдений с несовпадающими значениями I покрывают весь регион без видимых закономерностей. Сглаженное поле значений $dI \neq 0$ выявляет региональные различия значений I , которые мы рассмотрим ниже. В целом при создании Атласа [3] мы предпочли CFTI2 по следующим причинам:

- большее количество наблюдений,
- богатый справочный аппарат в компьютерной версии и опубликованное подробное описание,
- относительно повышенное значение I .

3.2. Сравнение версий базы данных Boschi et al.: CFTI2 (1997) и CFTI3 (2000). Приведенное в [4, с.724–727] сравнение пересмотренных оценок I с экспертными для события 07.09.1920, *Garfagnana* дает *среднее* абсолютное расхождение интенсивности $dI \cong 0.5$. Практически для этого события по сравнению с предыдущей версией (в базе CFTI2) различаются 34% значений интенсивности, в 10% случаев $dI > 0.5$ и достигает $dI = 3.5$ балла.

Поэтому рассмотрим расхождения между версиями более детально. Из 102 пар I -карт, достаточно хорошо представленных в CFTI2 или использованных в работе [3], в последней версии данные изменены для 46 событий, которые мы далее и рассматриваем.

- Объем данных увеличился примерно на 7%, добавлено 972 IDP с $I = [1.0, 10.0]$.

- Координаты изменились незначительно (в пределах 0.1°) у 111 IDP со смещением в пространстве до 9 км. Наиболее существенное измене-

ние притерпела I -карта для события 04.04.1781: изменены координаты у 30% “сайтов”, смещение достигает 3.5 км.

- Исключено 111 IDP с $I = [1.0, 9.5]$. Иногда вместо исключенного пункта появился новый (т.е. с другими координатами), одноименный или с похожим именем и близким значением I . Вероятно, такие случаи ($n = 52$) можно рассматривать как исправление грубых ошибок и опечаток; их распределение по расстояниям см. на рис. 6, б. Наличие авторских исправлений таких ошибок дает основание исключать при обработке далеко “отскочившие” IDP.

- В событиях с пересмотренными I значения интенсивности изменены у 777 IDP (10%) – поправки достигают 3.5 баллов, не считая исправленных опечаток. Основная масса пунктов с измененными I сосредоточена в Северных Апеннинах, районе Ирпиния, на п-ве Гаргано, а также в Арреппино abruzzo и локально в Южной Калабрии. Такие авторские изменения демонстрируют низкую точность определения балла. Выделяются три момента:

а) на п-ве Гаргано интенсивность возросла, причем увеличение I достигло 2 баллов;

б) на французской территории Лигурийских Альп изменения I преимущественно отрицательные;

в) в районе Арреппино abruzzo большие изменения I разного знака разделены в пространстве: отрицательные – на севере и положительные – на юге.

Повидимому, у авторов изменилась трактовка разрушений на этих участках, хотя в описании новых подходов Италия делится на север и юг без детализации [4, с.687–720].

Кроме изменения численных значений I , в семи случаях численное значение было заменено аббревиатурой, а в 51 случае аббревиатура заменена на число. В описании CFTI3 указано, что символьные значения I присвоены единичным или ненадежным наблюдениям. Сравнение данных CFTI3 с CFTI2 показывает большой разброс значений, соответствующих одной аббревиатуре, и приводит к решению не использовать символьные значения I . Так, символьному значению “F” (в базе CFTI2) с условным числовым значением 4.6 соответствуют следующие значения интенсивности в обновленной базе CFTI3:

I	NF	2	3	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	8
n	2	6	8	2	1	3	1	9	2	1	1

3.3. Сравнение баз данных CFTI3 [4] и DOM [8] . Выше мы сравнивали предыдущую версию базы Boschi et al. (1997) с базой DOM. Посмотрим коротко, как изменилось соотношение данных после появления существенно пересмотренной версии CFTI3 (2000).

Рассмотрено 99 пар IDP-карт. Всего для этих событий в DOM содержится 16241 наблюдений, а в CFТІЗ – 18673, т.е. объем данных выше на 15% (общих IDP – 12950). Но это увеличение не отражает полностью существа дела.

Данные различаются для всех событий. В базе CFТІЗ, как правило, данных больше (см. рис. 1). Поэтому использование базы CFТІЗ предпочтительно. Координаты различаются примерно у 18% общих пунктов наблюдений, пространственное смещение пунктов достигает 11.2 км, большинство различий – в пределах 2 км (см. рис. 6, 6). Наиболее существенно различие координат в *I*-картах для исторических землетрясений: 04.04.1781 – 48%; 06.06.1781 – 43%; 02.04.1808 – 41%; 29.12.1854 – 38%. Для событий XX века наибольшие расхождения координат в *I*-картах двух землетрясений: 15.10.1911 – 30% и 08.05.1914 – 29.8%.

Интенсивность различается у 35% общих пунктов наблюдений, различие достигает 3.5 баллов и практически не зависит от даты события. Сглаженное поле различий $dI = I_{CFТІЗ} - I_{DOM}$ при $dI \neq 0$ выявляет региональные разногласия у авторов при оценке ущерба (см. рис. 5):

- в Альпах, Паданском бассейне, Тоскане и Северных Аппенинах интенсивность по CFТІЗ преимущественно выше;
- в регионах Умбрия и Марке и в районе Ирпиния интенсивность по CFТІЗ ниже в центральной, горной части области и выше на периферии;
- на п-ве Гаргано и на большей части Сицилии – интенсивность выше в CFТІЗ;
- в низовьях реки Вольтурно интенсивность значительно выше по CFТІЗ.

Таким образом, в двух базах данных систематически различается оценка разрушений в некоторых регионах Италии. Отсюда следует, что данные этих баз в указанных районах можно использовать только порознь.

3.4. Алгоритм сравнения *I*-карт. Назовем две *I*-карты для некоторого события новой M_N и старой M_O версиями, содержащими соответственно новые S_N и старые S_O наблюдения. Сначала просматриваются наблюдения S_N новой версии и для каждого ищется прототип S_O . При поиске прототипа рассматриваются две окрестности: малая B_- с радиусом $R_- = 0^\circ.01$ и небольшая B_+ с радиусом $R_+ = 0^\circ.10$.

1. Если в двух точках наблюдения (новом S_N и старом S_O), у которых совпадают координаты и близки имена, имеется по одному значению I , то S_O объявляется прототипом для S_N .

2. Если прототип не найден, наблюдение S_N считается добавленным, если в версии M_O ближайшее к нему наблюдение S_O в круге B_- является прототипом для другого наблюдения новой версии.

3. Если наблюдение S_N не признано добавленным, его прототип S_O (в версии M_O) ищется в круге B_+ . Кандидатами на S_O считаются $\{S_O\}$, отсутствующие в новой версии, расположенные в круге B_- или имеющие сходное имя. Наблюдение S_O из списка кандидатов объявляется прототипом для S_N , если его имя достаточно похоже на имя S_N . Если такого не находится, в качестве S_O выбирается ближайший к S_N в окрестности R_- . Если прототипа для S_N не обнаружено, наблюдение S_N считается добавленным.

4. После просмотра всех наблюдений из версии M_N , просматриваются оставшиеся наблюдения S_O из версии M_O (не определенные как прототипы). При сравнении данных разных авторов, все такие “сайты” объявляются исключенными.

5. При сравнении двух версий тех же авторов (CFTI3 и CFTI2) проводится дополнительный поиск исправленных “грубых ошибок”. Для каждой из оставшихся наблюдений S_O из версии M_O просматриваются все $\{S_N\}$, ранее объявленные добавленными. Среди них находится ближайший “сайт” S_N с достаточно похожим именем. S_O считается прототипом для S_N , если $I(S_N) = I(S_O)$ (исправлены координаты) и расстояние между ними не превышает 100 км. Если для S_O не найдено вероятной новой версии S_N , он объявляется исключенным.

У наблюдения S_N и его прототипа S_O сравниваются интенсивности, координаты, имена и коды (административные или государственные).

ЛИТЕРАТУРА

1. The global seismic hazard assessment program (GSHAP). Summary volume / Ed. D.Giardini // Ann. di Geofis. 1999. Vol.42, N 6. P.957–1228.
2. Gasperini P., Bernardini F., Valensise G., Boschi E. Defining seismogenic sources from historical earthquake felt reports // Bull. Seismol. Soc. Amer. 1999. Vol.89, N 1. P.94–110.
3. Database of potential sources for earthquakes larger than $M < 5.5$ in Itali / Eds. G.Valensise and D.Pantosti // Ann. di Geofis. 2001. Vol.44, N 4. P.797–964.
4. Boschi E., Guidoboni E., Ferrari G., Margotti D., Valensise G., Gasperini P. Catalogue of strong Italian earthquakes from 461 B.C. to 1997. Introductory texts and CD ROM // Ann. di Geofis. 2000. Vol.43, N 4. P.609–868 and CD ROM.
5. Tertulliani A., Maramai A. Macroseismic evidence and site effects for the Lunigiana (Italy) 1995 earthquake // J. Seismol. 1998. Vol.2. P.209–222.
6. Gaffet S., Cultrera G., Deitrich M. A site effect study in the Verchiano valley during the 1997 Umbria-Marche (Central Italy) earthquakes // J. Seismol. 2000. Vol.4, N 4. P.525–541.
7. Boschi E., Guidoboni E., Ferrari G., Valensise G., Gasperini P. Catalogo dei Forti Terremoti in Italia dal 461 B.C. al 1990. ING-SGA, 1997. 644 p. and CD ROM. Bologna.

8. *Monachesi G., Stucchi M.* DOM 4.1, an intensity data base of damaging earthquakes in the Italian area // GNDT. 1997. Web site: emidius.itim.mi.cnr.it/DOM/home.html.
9. Bolletino Macrosismico; 1985–1995. Istituto di Geofisica, Unita Operativa Geodinamica. Roma.
10. *Молчан Г.М., Кронрод Т.Л., Панца Д.* Можно ли увидеть форму изосейсты? // Проблемы динамики и сейсмичности Земли. М.: Наука, 2000. С.221–241. (Вычисл. сейсмология; Вып. 31).
11. *Kronrod T.L., Molchan G.M., Podgaetskaya V.M., Panza G.F.* Formalized representation of isoseismal uncertainty for Italian earthquakes // Bull. Geophysica Theorica and Applicata. 2002. Vol.41. P.243–313. (See also expanded version: ICTP preprint: IC/IR/2000/21, 2000, Trieste).
12. *Molchan G.M., Kronrod T.L., Panza G.F.* Shape analysis of isoseismals based on empirical and synthetic data // PAGEOPH. 2002. Vol.159, N 6. P.1230–1251. (See also ICTP, IC/2000/2, Trieste).
13. *Kronrod T.L., Molchan G.M., Panza G.F.* Atlas of isoseismal maps for Italian earthquakes 1400–1997. The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, IC/IR/99/15. Trieste, 1999. 193 p.
14. *De Rubeis V., Gasparini C., Tosi P.* Determination of the macroseismic field by means of trend and multivariate analysis of questionnaire data // Bull. Seismol. Soc. Amer. 1992. Vol.82. P.1206–1222.
15. *Антикаев Ф.Ф.* Сильные движения грунта при землетрясении: Дисс. ... докт. физ.-мат. наук. М.: ОИФЗ РАН, 2001.
16. Earthquakes of September and October 1997 in Umbria-Marche (Central Italy), 1997. Web site: emidius.itim.mi.cnr.it/GNDT/T19970926-eng/home.html.