

1. Безуглая Л. С., Максудов С. Х., Сквородкин Ю. П. Вязкое намагничивание горных пород под давлением.—Изв. АН СССР, Физика Земли, 1973, № 4, с. 110—113.
2. Сквородкин Ю. П., Безуглая Л. С., Нагапетян В. В. Образование вязкой остаточной намагниченности в присутствии механических напряжений.—Изв. АН СССР, Физика Земли, 1975, № 7, с. 112—125.
3. Сквородкин Ю. П., Бураков К. С., Безуглая Л. С. Установка для исследования магнитных свойств образцов горных пород при различных давлениях и температурах.—В кн.: Мат. VIII конф. Магнетизм горных пород и палеомагнетизм, ч. II. М.: 1970, с. 14—17.
4. Сквородкин Ю. П., Нагапетян В. В., Безуглая Л. С. Магнитное диффузионное последствие в горных породах в поле напряжений и температур.—В кн.: Мат. X съезда. Главное геомагнитное поле и проблемы палеомагнетизма, ч. II, М.: 1976, с. 90.

Известия АН АрмССР, Науки о Земле, XL, № 1, 71—75, 1987

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК: 550.34.05

А. М. АВЕТИСЯН, Н. В. ОГАНЕСЯН

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ
МОДЕЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ПРИ РУЧНОЙ И МАШИННОЙ
МЕТОДАХ ОБРАБОТКИ

В последние годы в связи с изысканием методов прогноза землетрясений большое внимание уделяется изучению сейсмичности отдельных районов и выявлению связей между особенностями строения земной коры и методами обработки сейсмологической информации с целью повышения их точности.

В работах Нерсесова И. Л. и др. [6, 7, 10] было выявлено, что перед сильными землетрясениями наблюдается изменение отношения скоростей продольных и поперечных волн, а возможность выделения таких временных вариаций зависит от точности определения координат землетрясений. Поэтому повышение точности определения координат землетрясений приобретает важное практическое значение, и результат обработки будет информативнее, если погрешность не превосходит величину аномалий; в противном случае данный предвестник не может использоваться.

В настоящее время предложено много методов или способов для ручной обработки, как и алгоритмов для ЭВМ. Однако, несмотря на это, у интерпретатора, по существу, нет единой методки и правил при выборе конкретных алгоритмов для разных регионов [3, 4].

Для отдельных районов разработка алгоритмов обусловлена прежде всего тем, что они имеют разное строение земной коры, геометрию сети, а также разные погрешности станций. Поэтому разработка эффективных алгоритмов определения координат землетрясений для отдельных регионов является сложной задачей. При ее решении необходимо учитывать как накопленный в данной области опыт, так и проведение теоретических исследований недостаточно разработанных вопросов. Теоретический анализ этих вопросов в настоящее время является достаточно трудной задачей из-за сложного, а в отдельных районах неопределенного строения земной коры. Поэтому существующие методы определения координат землетрясений на данном этапе базируются на том предположении, что строение земной коры, в которой распространяются сейсмические волны, трансверсально-однородно и изотропно, и для определения координат

очага используют времена вступления продольных (или поперечных) сейсмических волн с дополнительной априорной информацией [9].

Следовательно, вопрос разработки надежных алгоритмов и оценка погрешностей определений координат землетрясений с учетом региональных особенностей и геометрии сети, а также составление рекомендаций по наилучшему использованию разработанных алгоритмов в тех или иных условиях, с повышением их точности является актуальным вопросом сейсмологии и требует нового рассмотрения.

Однако, трудность осуществления этих вопросов заключается в отсутствии точных решений, и поэтому получают оценки, в которых учитываются случайные и систематические ошибки, присущие данному району. Для другого района применение этой оценки уже ставится под вопрос и нуждается в доказательстве.

В настоящей работе выбор оптимальных методов определения координат землетрясений осуществляется с помощью моделирования [1] и с учетом строения земной коры рассматриваемого района. Данная статья является продолжением работ авторов [2] и работы Н. В. Кондорской [5], где для заранее заданных очагов с помощью ЭВМ определены координаты землетрясений, и эти результаты сравнены с данными, которые получены с помощью ручной обработки.

При ручной обработке использован метод засечек, а метод машинных алгоритмов осуществлен по следующей схеме.

Задаются координаты очага (φ, λ, h) и сейсмических станций (φ_i, λ_i) и по формуле:

$$li(\varphi_i, \lambda_i) = 2R \arcsin \frac{1}{2} \sqrt{2 \sin^2 \frac{\Delta\varphi}{2} + 2 \cos(\varphi_1 + \varphi_2) \sin^2 \frac{\Delta\lambda}{2} + \sin^2 \frac{\Delta\lambda - \Delta\lambda}{2} + \sin^2 \frac{\Delta\varphi}{2}},$$

где R — радиус Земли, Δ — разность соответствующих координат, рассматривается эпицентральное расстояние от очага до станций.

По формуле

$$ti(li, h) = \frac{1}{2} \operatorname{arch} \frac{a^2 li^2 + b^2 + (b + ah)^2}{2b(b + ah)}$$

вычисляется время пробега сейсмических волн от очага до i -ой станции и для полученного t , если имеет место соотношение $e^{at} > 1 + \frac{a}{b}h$, то луч выходит на поверхность, и по формуле

$$\Delta i(t, h) = \frac{b}{a} \sqrt{2 \left(1 + \frac{a}{b}h \right) \operatorname{ch} at - \left(1 + \left(1 + \frac{a}{b}h \right)^2 \right)}$$

вычисляется расстояние от очага до i -ой станции.

Значение координат землетрясений определяется с помощью минимизаций следующего функционала:

$$u(\varphi', \lambda') = \sum_{i=1}^N (li - \Delta i)^2, \quad (1)$$

где N — число сейсмических станций. Сущность численного метода отыскания минимума состоит в построении последовательности двумерных векторов $\{x^k\}$, удовлетворяющих условию:

$$u(x^{(0)}) > u(x^{(1)}) > u(x^{(2)}) > \dots > u(x^{(n)}). \quad (2)$$

Элементы последовательности (2) вычисляются по формуле:

$$x^{(k+1)} = x^k + \alpha_k P^{(k)}, \quad k = 0, 1, 2, \dots,$$

где $P^{(k)}$ — направление спуска, α_k — длина шага в этом направлении.

Выбирая антиградиент в качестве направления спуска, получается итерационный процесс вида:

$$x^{(k+1)} = x^{(k)} - \alpha_k u'(x^{(k)}),$$

где

$$u'(x^{(k)}) = \text{grad} u(x)|_{x=x^{(k)}},$$

который известен как метод градиентного спуска [8], величина α_k определяется из следующего условия: сначала для произвольного значения α вычисляется значение функций

$$u(x^k - \alpha u'(x^k)) = \min_{\alpha \geq 0} u(x^k - \alpha u'(x^k)),$$

то есть на каждом шаге решается одномерная задача минимизации.

а) Если выполняется условие монотонности $u(x^{(k+1)}) < u(x^{(k)})$, (4) то значение α берем в качестве искомого $\alpha = \alpha_k$.

б) Если α_k заранее фиксирован, то при нарушении условия (4) необходимо изменить α_k . Производится изменение α_k путем умножения на $\mu < 1$ до тех пор, пока неравенство (4) окажется справедливым и итерация прекращается, если $\|\text{grad} u(x^{(k+1)})\| < \varepsilon$, и в этом случае получаем, что $X_{\min} = X^{(k+1)}$.

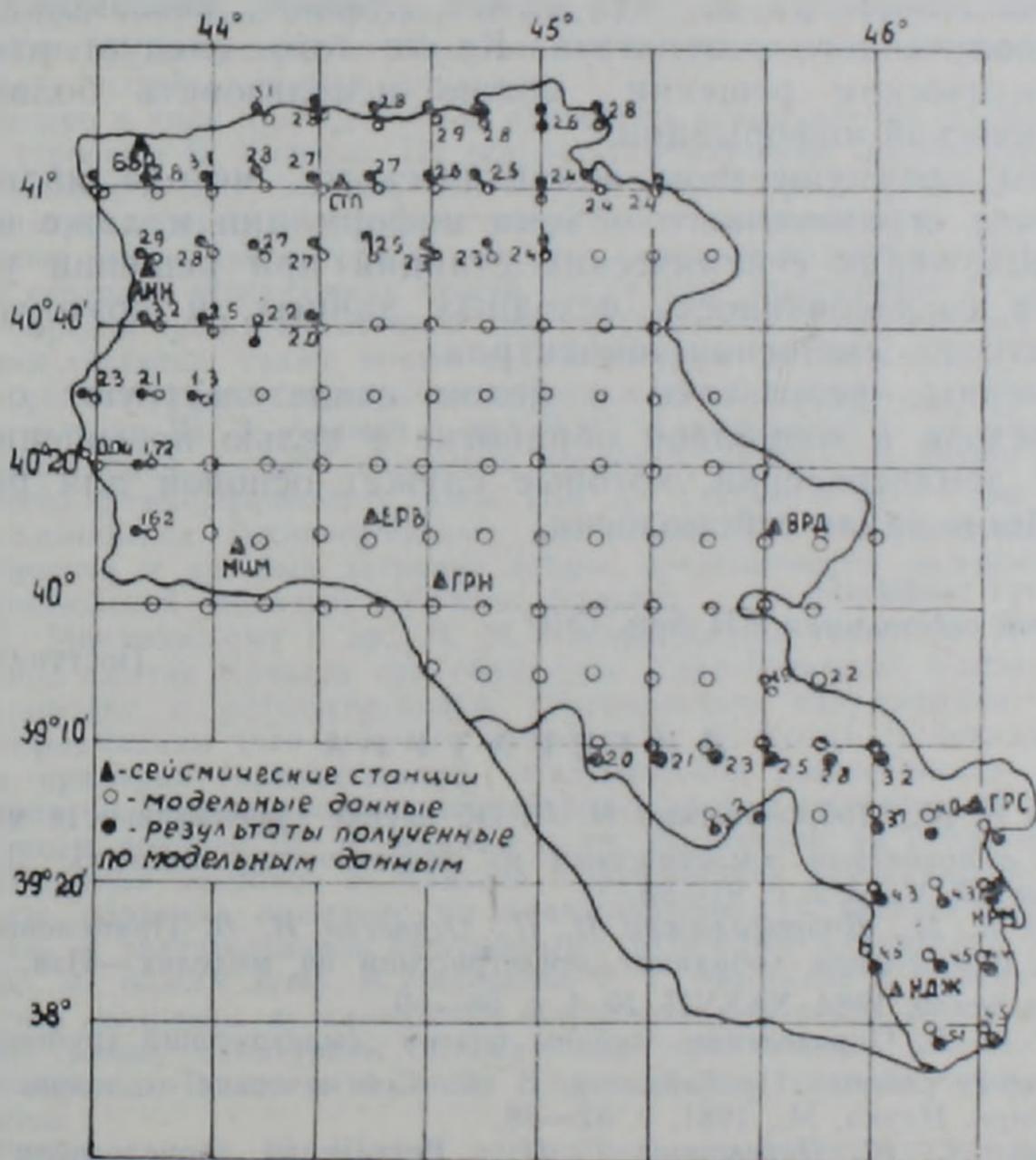


Рис. 1. Карта точности определения координат землетрясения с помощью всех станций АрмССР на ЭВМ (волны p).

Как начальное значение $X_{ii}^{(0)}$ мы берем координаты той сейсмической станции, которая находится на самом близком расстоянии от очага, это легко устанавливается из анализа первых вступлений сейсмических волн, предполагая, что Земля трансверсально-однородна и изотропна.

Описанный алгоритм реализован на ЭВМ «Минск-22», а результаты минимизации функционала приводятся на рис. 1.

Из сравнения результатов машинной и ручной обработки, приведенного в работе [1], видно, что в основном смещение эпицентров совпадает, т. е. в тех областях, где получены большие погрешности при ручной обработке, машинная обработка также дала большие погрешности. Следовательно, при ручной и машинной обработках большое значение имеет оптимальность сети наблюдений.

При сравнении результатов ручной и машинной обработок заметно повышение класса точности при машинной обработке, где максимальное смещение не превосходит 5 км, а при ручной обработке смещение в среднем 20 км (при ручной обработке максимальное смещение 33 км, а при машинной—5,3 км, но эти значения не характерны).

Если при ручной обработке класс точности «б» достигается только в определенных областях, при машинной обработке почти всегда имеет класс точности «а», (т. е. смещение до 5 км). Все это можно объяснить тем, что при ручной обработке нельзя учитывать сферичность Земли, установить ошибки от неточности планшета и, кроме того, при ручной обработке используются графические методы (построение на планшете), которые не гарантированы от технических погрешностей и окончательное положение эпицентров определяется визуально. Разные интерпретаторы могут по-разному определять координаты эпицентра и, что самое главное, невозможно оценить точность полученного результата. Кроме того, следует отметить, что при аналитическом решении можно использовать большой объем сейсмологической информации.

Другим преимуществом аналитического метода является и то, что в случае ограниченного объема информации и даже неоптимального расположения сейсмических станций при решении учитывается внутренняя согласованность исходных данных, и поэтому уменьшается вероятность смещения эпицентров.

Полученные результаты в целом свидетельствуют о необходимости перехода к машинной обработке с целью повышения точности координат землетрясений, которые служат основой для решения ряда важнейших задач сейсмологии.

Институт геофизики
и инженерной сейсмологии АН Арм. ССР

Поступила 27.V. 1986.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Аветисян А. М., Добровольский Н. П. Об оценке эффективности методов определения гипоцентров землетрясений на теоретических моделях. ДАН АрмССР, 1982, том XXIV, № 2, с. 91—93.
2. Аветисян А. М., Добровольский Н. П., Огинясян Н. В. Применение конкретных методов определения координат землетрясений на моделях.—Изв. АН АрмССР, Наука о Земле, 1984, XXXVII, № 4, с. 66—69.
3. Вертлюб М. Б. Определение глубины очагов землетрясений групповым способом в некоторых районах Прибайкалья. В сб.: Сейсмические исследования в Восточной Сибири. Наука, М., 1981, с. 82—88.
4. Голеницкий С. Н., Первалова Г. И. Результаты определения гипоцентров землетрясений Байкальской зоны на ЭВМ и проблема оценки погрешностей. В сб.: Сейсмо тектоника и сейсмичность района строительства БАМ. М., Наука, 1980, с. 101—112.
5. Кондорская Н. В. Исследование основных параметров очагов землетрясений. Диссертация на соискание уч. степени доктора физико-математических наук АН СССР, Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта, М., 1970.
6. Кондратенко А. М., Нерсесов И. Л. Некоторые результаты изучения изменения скоростей продольных и поперечных волн в очаговой зоне.—В сб.: Физика землетрясений и сейсмика взрыва. Труды ИФЗ, № 25 (192), Изд. АН СССР, М., 1952, с. 130—150.
7. Нерсесов И. Л., Семенов А. Н., Симбирева. Пространственно-временное распределение отношения времен пробега продольных и поперечных волн в Гарском районе.—В сб.: Экспериментальная сейсмология. М., Наука, 1971, с. 334—345.

8. Пшеничный Б. Н., Дамилин Ю. М. Численные методы в экстремальных задачах. М., Наука, 1975, с. 51—58.
9. Поплавский А. А., Тотак А. Г. Метод геометрических средних линий для оценки положения эпицентра землетрясений—ДАН СССР, 1981, том 261, № 5, с. 1095—1098.
10. Richards P. J. Aggarwal—Temporal Fluctuations of P and S velocities in an Earthquake Source Region (abstract) EOS Trans. AGU v. 54, 1134, 1973.

Известия АН АрмССР, Науки о Земле, XL, № 1, 75—76, 1987

НАУЧНАЯ ХРОНИКА

УДК: 551.2 (063)

III СЕМИНАР-ШКОЛА ПО ГЕОДИНАМИКЕ КАВКАЗА

6—10 октября 1986 г. в Севанском районе Армянской ССР был проведен III семинар-школа по проблемам геодинамики Кавказа, организованный по предложению Междуведомственного тектонического комитета АН СССР и Кавказской его секции Институтом геологических наук АН АрмССР и Армянским геологическим обществом. В семинаре участвовали специалисты из 24 различных учреждений Москвы, Ленинграда, Тбилиси, Баку, Железноводска, Краснодара, Еревана и Ленинакана (120 участников). В программе совещания обсуждались вопросы геодинамики, генезиса офиолитов и закономерностей размещения полезных ископаемых, сейсмотектоники, неотектоники. Зам. академика-секретаря отделения химических и геологических наук АН АрмССР А. А. Габриелян и член бюро Междуведомственного тектонического комитета АН СССР доктор геол.-мин. наук А. А. Белов, открывая семинар, остановились на задачах геодинамических исследований в свете достижений региональной геологии, геофизики и сейсмологических исследований.

На семинаре было заслушано 75 докладов, в том числе 40 стендовых. К началу семинара были изданы тезисы докладов.

На семинаре в ряде докладов были приведены новые данные по покровному геологическому строению Б. Кавказа. По результатам изучения дизской серии Б. Кавказа (В. Г. Казьмин и др.) доказан верхнетриасовый возраст верхней части разреза серии, пересмотрен вопрос о предполагаемой ранес непрерывности разреза серии от среднего девона до верхнего триаса; впервые доказано надвигово-чешуйчатое строение свиты и северная вергентность чешуй, тогда как залегающая с конгломератами в основании юрская толща имеет иной тип складчатости и направление вергентности. В. Г. Казьмин сообщил также новые палеомагнитные расчеты (А. Смит) и палинспастические реконструкции палеозойского Тетиса малой ширины.

В представлении Ш. А. Адамия и др., И. П. Гамкрелидзе, С. И. Дотдусева структура Б. Кавказа представляет сочленение покровов, включая покровы пород фундамента, гранитно-метаморфического слоя (Ш. А. Адамия и др.) при существенной роли позднеальпийских южновергентных дислокаций (С. И. Дотдусев). В докладе Н. И. Абрамовича и др. был затронут вопрос приложимости шоловой тектоники к области кайнозойской коллизии Малого Кавказа.

По Е. Е. Милановскому и др., Л. М. Расцветаеву, а также М. Л. Коппу, близмеридиональное сжатие Кавказа при сближении Евро-Азиатской плиты с Аравийско-Иранской приводит к результирующим диагональным напряжениям, в частности, сдвиговым деформациям (что отмечает также и М. Л. Копп). В докладе И. П. Гамкрелидзе на примерах горизонтальной тектонической расслоенности земной коры Кавказа, Карпат и Балкан рассмотрен компрессионный и поддвиговый механизм расслоения. В своем докладе Ш. А. Адамия и др. настаивали на субдукционном механизме возникновения покровов Б. Кавказа и фундамента Закавказской плиты. М. Б. Лордкипанидзе обратила внимание на квазисинхронность тектонических фаз Тетиса и их связь с значительными переломными рубежами кинематики главных плит Тетиса I (155, 80, 65 млн лет). В сообщении Р. Г. Магакяна в строении синалической окраины Тетиса выделены вулканические комплексы рифтового внутриплитного и островодужного типов, околонуены относительно примитивные участки мезозойской синалической окраины Тетиса и намечена сопряженность островодужного и рифтогенного процессов.

Е. А. Рогожин и В. И. Шолпо рассмотрели морфологическую неоднородность голоморфной складчатости Б. Кавказа: фокусирование интенсивной складчатости в осевых частях крупных антиклинорий и омоложение возраста «главной» складчатости с севера на юг, что связывается с направленной инверсией Кавказской геосинклинали. Б. В. Григорьянц настаивал на энергетической обеспеченности складчатости Южно-Каспийской и Куринской впадин за счет автономных гидродинамических сил, без привлечения внешнего сжатия. Эти вопросы стали затем предметом дискуссии (Ш. А. Адамия, А. А. Белов и др.).

Не меньший интерес вызвало обсуждение геодинамики, глубинного геологического строения и сейсмичности Малого Кавказа. По исследованиям вулканических пород офиолитовой ассоциации (О. П. Цамерян) выясняется их полисерийность (неходные составы близки к бонинитам, $ТОР_{1,0}$ и базальтам типа внутрикратонной активизации). Значение поднятой проблемы в том, что соположение этих продуктов вулканизма в едином сложно построенном разрезе не может рассматриваться как тек-