

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/288301083>

Designing an optimal regional seismograph network using Armenia as an example

Article in *Journal of Volcanology and Seismology* · January 2001

CITATIONS

0

READS

22

3 authors, including:



V. Yu. Burmin

Russian Academy of Sciences

86 PUBLICATIONS 200 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



seismic information, earthquake, seismicity, data processing [View project](#)



earthquakes, focal mechanisms, nodal planes, block structure [View project](#)

УДК 550.344

ПЛАНИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ РЕГИОНАЛЬНОЙ СЕТИ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ АРМЕНИИ

© 2000 г. В. Ю. Бурмин, Нгуен Ван Фонг, А. М. Аветисян

Институт физики Земли РАН, Москва, 123810

Поступила в редакцию 25.05.98 г.

Рассмотрен вопрос численного построения оптимальной региональной сейсмологической сети на примере Армении. Проведен анализ геометрии современной сети сейсмических наблюдений Армении. Сделан вывод о том, что существующая сеть наблюдений не является оптимальной, что не позволяет эффективно решать многие задачи, стоящие перед современной сейсмологией, в частности задачи оценки сейсмической опасности, сейсмического риска, задачи структурной сейсмологии и ряд других прикладных задач, актуальных для республики. На основе нестатистического подхода к планированию физического эксперимента рассмотрена задача построения оптимальной сети сейсмологических станций на территории Армении. Под оптимальной сетью мы понимаем в данном случае сеть, которая регистрирует без пропуска слабые ($K = 8$) землетрясения при наилучшем определении параметров их гипоцентров.

Основа для детального и всестороннего изучения сейсмичности – совокупность надежных данных о параметрах гипоцентров землетрясений, произошедших в изучаемой области. Точность определения параметров гипоцентров землетрясений в значительной степени зависит от взаимного расположения сейсмических станций и их положения относительно гипоцентральной области [4]. Точность определения положения гипоцентров землетрясений имеет большое значение при решении ряда задач теоретической и экспериментальной сейсмологии.

Повышения точности определения координат гипоцентров можно добиться двумя путями. Первый – применение оптимальных алгоритмов определения координат гипоцентров землетрясений. Второй – построение оптимальной сети наблюдений, которая обеспечивала бы минимальные ошибки при определении параметров гипоцентров при заданном числе точек наблюдений.

Как показывает практика, чтобы эффективно решать многие задачи сейсмологии, такие, как задачи определения скоростного строения по сейсмическим волнам от землетрясений, задачи детального сейсмораионирования и др., необходимо регистрировать достаточно слабые землетрясения, ~8-го класса.

В настоящей работе проведен анализ существующей сейсмологической сети Республики Армения и построения оптимальной сети, которая бы позволила улучшить определение гипоцентров землетрясений и увеличить ее представительность.

Такая задача в настоящее время актуальна потому, что, во-первых, система наблюдений Республики Армения уже оснащается новыми сейсмическими станциями и, во-вторых, позволяет определить места установки новых станций в ближайшем будущем и тем самым целенаправленно развивать сеть наблюдений.

Для сейсмической сети Республики Армения задача построения оптимальной сети рассмотрена в работе [1], где с помощью численного моделирования, путем оценки погрешностей в определении гипоцентров находят оптимальную систему наблюдений.

Задачи планирования оптимальных сейсмологических систем наблюдений более или менее успешно решались и другими авторами в работах [2, 4, 8–11, 13, 14], в которых использовались различные подходы к оптимизации сейсмических сетей в Индии, Югославии, Румынии, Вьетнаме и СССР. В общем случае задача определения оптимального положения m дополнительных сейсмических станций при существовании n станций на изучаемой территории решается численными методами путем минимизации некоторого функционала от так называемой целевой функции, которая характеризует качество системы наблюдений [4].

Основные положения. Остановимся на основных этапах решения задачи. Поскольку основная цель сейсмологической сети на территории Армении – регистрация близких землетрясений, то считаем, что при определении координат гипоцентров поверхность земли является плоской и, следовательно, исходная система уравнений, связывающих координаты очага землетрясения

и координаты регистрирующих станций имеет вид

$$(X - x_i)^2 + (Y - y_i)^2 + H^2 = v_i^2(t_i - t_0)^2, \quad (1)$$

где X, Y, H и t_0 – координаты гипоцентра и время возникновения землетрясения (время в очаге) соответственно; x_i, y_i, t_i – соответственно координаты сейсмических станций, зарегистрировавших землетрясение, и времена прихода сейсмических волн на эти станции ($i = \overline{1, n}$); v_i – эффективные скорости распространения сейсмических волн, численно равные отношению расстояния по прямой от i -й станции до гипоцентра ко времени пробега сейсмической волны по лучу.

Система (1) с помощью группирования переменных легко сводится к системе линейных уравнений [4]:

$$Xx_i + Yy_i + t_0 v_i^2 t_i - 0.5\eta = f_i, \quad (2)$$

где $i = 1, 2, \dots, n \geq 4$; $f_i = 0.5(x_i^2 + y_i^2 - v_i^2 t_i^2)$;

$$\eta = X^2 + Y^2 + H^2 - v^2 t_0^2.$$

Глубина H гипоцентра землетрясения не определяется непосредственно решением системы (2), но может быть определена из соотношения

$$H^2 = \eta - X^2 - Y^2 + v^2 t_0^2. \quad (3)$$

Уравнения (2) и (3) определяют координаты гипоцентра X, Y, H и t_0 при условии, что скорость распространения сейсмических волн постоянна. Чтобы учесть истинное распределение скорости, рассмотрим следующую итерационную процедуру. Пусть заданы v_i . Тогда систему нелинейных уравнений (1) можно преобразовать к виду

$$Xx_i + Yy_i - T_0 t_i^2 v_i - 0.5\xi = f_i, \quad (4)$$

где $i = 1, 2, \dots, n$; $\xi = X^2 + Y^2 + H^2$;

$$f_i = 0.5[x_i^2 + y_i^2 - v_i^2(t_i^2 + t_0^2)].$$

Чтобы решить систему (4), необходимо задать в правой части выражения (4) значение t_0 . Первоначальное значение t_0 можно получить, решая систему (2). Полученное значение t_0 подставим в правую часть соотношения (4) и решим систему. Значение t_0 , полученное в результате решения системы (4), опять подставим в правую часть выражения (4) и снова решим систему. И так далее. Если итерационный процесс сходится, то рассмотренная процедура дает решение задачи определения координат гипоцентров для неоднородных сред. При этом погрешности искомым параметров будут определяться только

свойствами матрицы системы и ошибками исходных данных. Следует заметить, что матрицы систем (2) и (4) различаются только значениями множителей v и v_i .

Запишем системы линейных уравнений, связывающих координаты гипоцентра землетрясения, скорость распространения сейсмических волн и время в очаге в матричном виде:

$$Kp = f, \quad (5)$$

где $K = \{k_{ij}\}$ – матрица системы, представляющая собой математическую модель изучаемой зависимости; $p^T = \{p_j\}$ – вектор-столбец искомых параметров; $f^T = \{f_i\}$ – вектор-столбец наблюдаемых величин; $i = 1, 2, \dots, n$; $j = 1, 2, \dots, m$; $n \geq m$.

Решение уравнения (5) находится методом наименьших квадратов и дается формулой

$$p = K^+ f,$$

где K^+ – обобщенная обратная матрица, равная в данном случае

$$K^+ = (K^T K)^{-1} K^T.$$

Для погрешности полного вектора неизвестных параметров системы справедлива оценка [4]

$$\|\Delta p\| = \left\{ \sum_{i=1}^n |\Delta \rho_i|^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \leq \|\tilde{K}^+\| \|\mathbf{R} v p\| |\Delta t|, \quad (6)$$

где $\|\mathbf{R} v p\| = \left\{ \sum_{i=1}^n |\mathbf{R}_i v_i \rho_i|^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$; $p = \{X, Y, T_0, \xi\}$ – вектор

искомых параметров; ρ_i – весовой множитель, характеризует качество измерений на i -й станции; \mathbf{R} – вектор, компонентами которого являются соответствующие гипоцентральные расстояния; $|\Delta t|$ – абсолютное значение погрешности в определении времени прихода сейсмических волн на станции. Характер этих погрешностей может быть различным. Погрешности могут быть как случайные, так и систематические, обусловленные, например, отклонением значения эффективной скорости v_i сейсмической волны, принимаемой при расчетах, от реального значения. Функционал $J_0 = \|\tilde{K}^+\| \|\mathbf{R} v p\|$ определяет точность параметров гипоцентров землетрясений, т.е. по сути дела характеризует качество системы наблюдений. Величина J_0 представляет собой погрешность полного вектора ошибки при $|\Delta t| = 1$ с. Задавая различные положения сейсмических станций и вычисляя соответствующие значения функции J_0 , можно показать, какая система

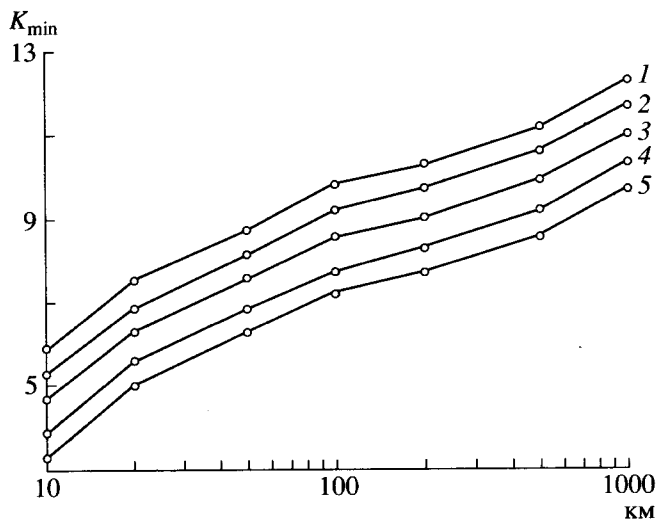


Рис. 1. Кривые зависимости минимальных классов от эпицентральных расстояний для сейсмических станций с увеличением 5, 10, 20, 50 и 100 тыс. (1-5 – соответственно).

обеспечивает наиболее высокую точность локализации землетрясений.

Очевидно, что эффективность сети наблюдений зависит не только от числа станций и взаимного расположения станций и всей сети относительно гипоцентра, но и от силы землетрясения. Этот вопрос рассматривался в работах З.И. Арановича и др. [2, 3].

В сейсмологической практике сила землетрясения выражается через магнитуды или классы. Магнитуда землетрясения вычисляется по формуле (6)

$$M = \lg(A/T) + \delta(\Delta, h, s(T, \omega)) - \Delta M,$$

где A – максимальная амплитуда смещения грунта на данной станции в микронах для рассматриваемого типа сейсмической волны; T – соответствующий этой амплитуде период волны; $\delta(\Delta, h, s(T, \omega))$ – так называемая калибровочная кривая (функция) для данного региона; ΔM – величина, характеризующая систематическое отклонение в оценке магнитуд для данной станции. Если параметры оцениваются по первым вступлениям, то все обозначенные выше величины относятся к P -волнам.

Классы землетрясений связываются с магнитудами с помощью формул, которые для различных регионов несколько различаются, так как связь между этими двумя величинами устанавливается эмпирическим путем. В частности, для Кавказа для расчетов может быть принята зависимость $M = 0.63 K - 2.83$ из работы [7].

Если магнитуда или класс землетрясения малы, то удаленные сейсмические станции или

станции с малым увеличением не регистрируют его. В результате параметры гипоцентра будут определяться по данным станций не всей сети, а лишь ее части. Чтобы учесть при вычислении целевой функции те станции, которые не регистрируют слабые сигналы, необходимо иметь критерии, которые позволят исключать из расчетов такие станции. В частности, для дальнейших расчетов на основе амплитудной номограммы для Кавказа [5], рассчитаны зависимости значений минимальных классов от эпицентральных расстояний для станции с увеличением 5, 10, 20, 50 и 100 тыс. На рис. 1 приведены кривые для сейсмических станций с увеличением 5, 10, 20, 50 и 100 тыс.

Таким образом, минимальная сила землетрясения, регистрируемого сейсмической станцией на определенном расстоянии, зависит от увеличения прибора. В свою очередь увеличение прибора зависит от уровня микросейсм (сейсмического шума) в точке регистрации и определяется как отношение амплитуды колебаний микросейсм на сейсмограмме, приведенной к 1 мм видимой записи, к соответствующей амплитуде колебаний почвы в миллиметрах. При планировании сейсмологической сети естественно задать некоторый порог увеличения аппаратуры, меньше которого увеличение считается недопустимым. Следовательно, выбор мест установки станций должен быть таким, чтобы уровень микросейсм в точках наблюдений не превышал бы заданного значения. Если уровень шума в точке регистрации минимальный, то увеличение прибора будет максимальным. Оптимальные условия регистрации будут выполнены, если функция

$$J_1 = \left(\sum_{i=1}^n A_i^2 \right)^{1/2} \quad (7)$$

примет минимальное значение при условиях $|A_i| \leq A_0$, где A_0 – порог шума.

Если размеры области планирования существенно превышают размеры области регистрации землетрясений с заданными минимальными магнитудами, то оптимальная сеть представляет собой покрытие области правильными шестиугольниками (так называемая гексагональная решетка) [4]. Таким образом, при малых заданных магнитудах землетрясений задачи оптимального расположения точек сейсмических наблюдений сводится к покрытию всей области максимальным числом правильных шестиугольников с заданной длиной стороны.

С экономической точки зрения целесообразно выбрать оптимальную систему наблюдений так, чтобы как можно больше точек системы совпало или, по крайней мере, было близко к существующим

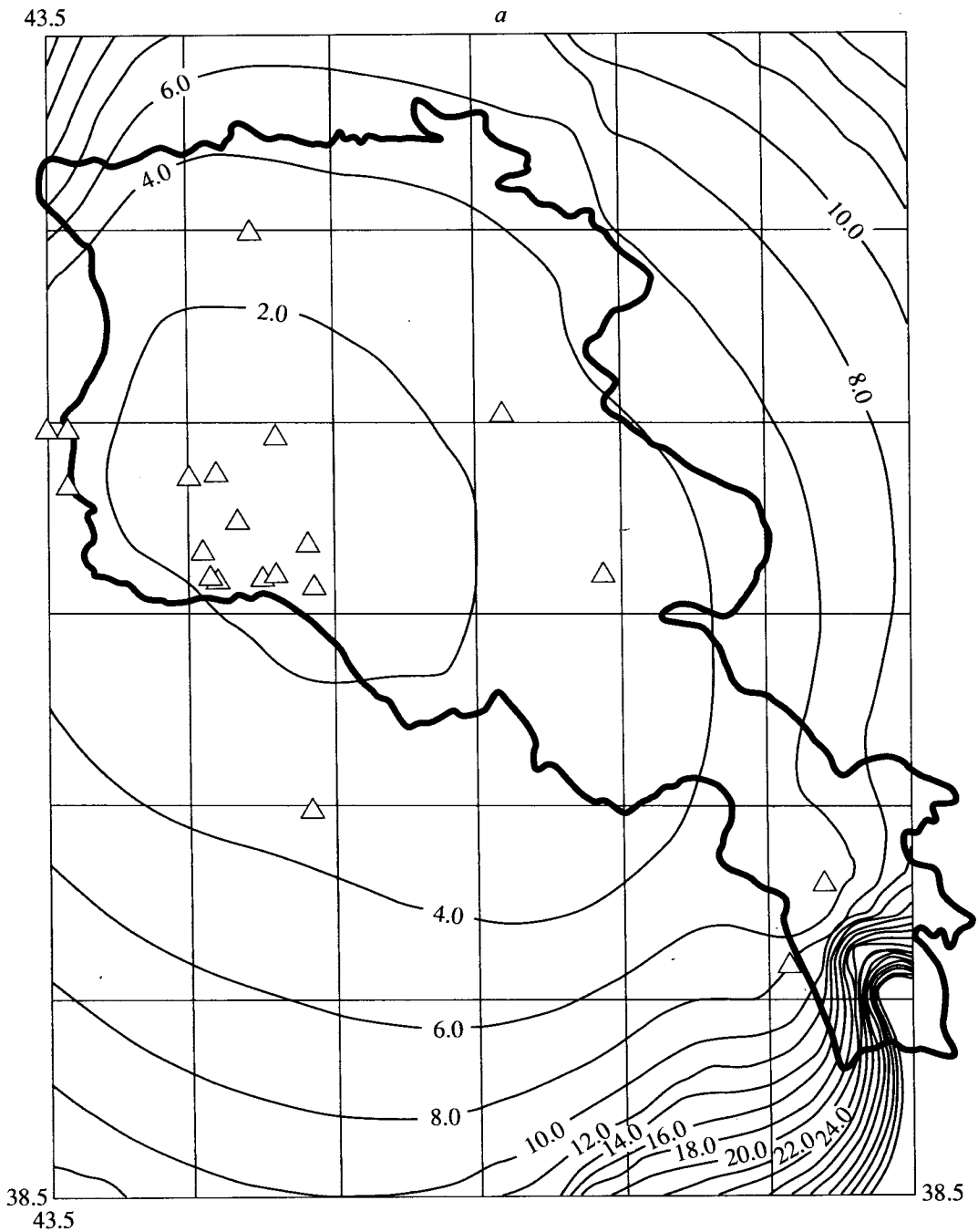


Рис. 2. Распределение ошибок в определении эпицентральных расстояний (а), глубин (б) и времени в очаге (в) для современной сейсмологической сети Армении при регистрации землетрясений 10-го класса и выше.

щим точкам наблюдений. В связи с этим будем минимизировать функцию от целочисленного аргумента

$$J_2 = 1/m, \tag{8}$$

где m – число пар “совпадающих” точек ($m \geq 1$), т.е. точек наблюдений планируемой и существующей сетей, расстояния между которыми не пре-

восходят некоторую заданную величину ϵ . Значение ϵ выбирается в соответствии с масштабом планируемой сети.

В силу значительной изменчивости рельефа земной поверхности сейсмические станции желательно размещать в наиболее доступных для наблюдений местах, что накладывает ограничения на высоты (глубины) точек наблюдений. В общем

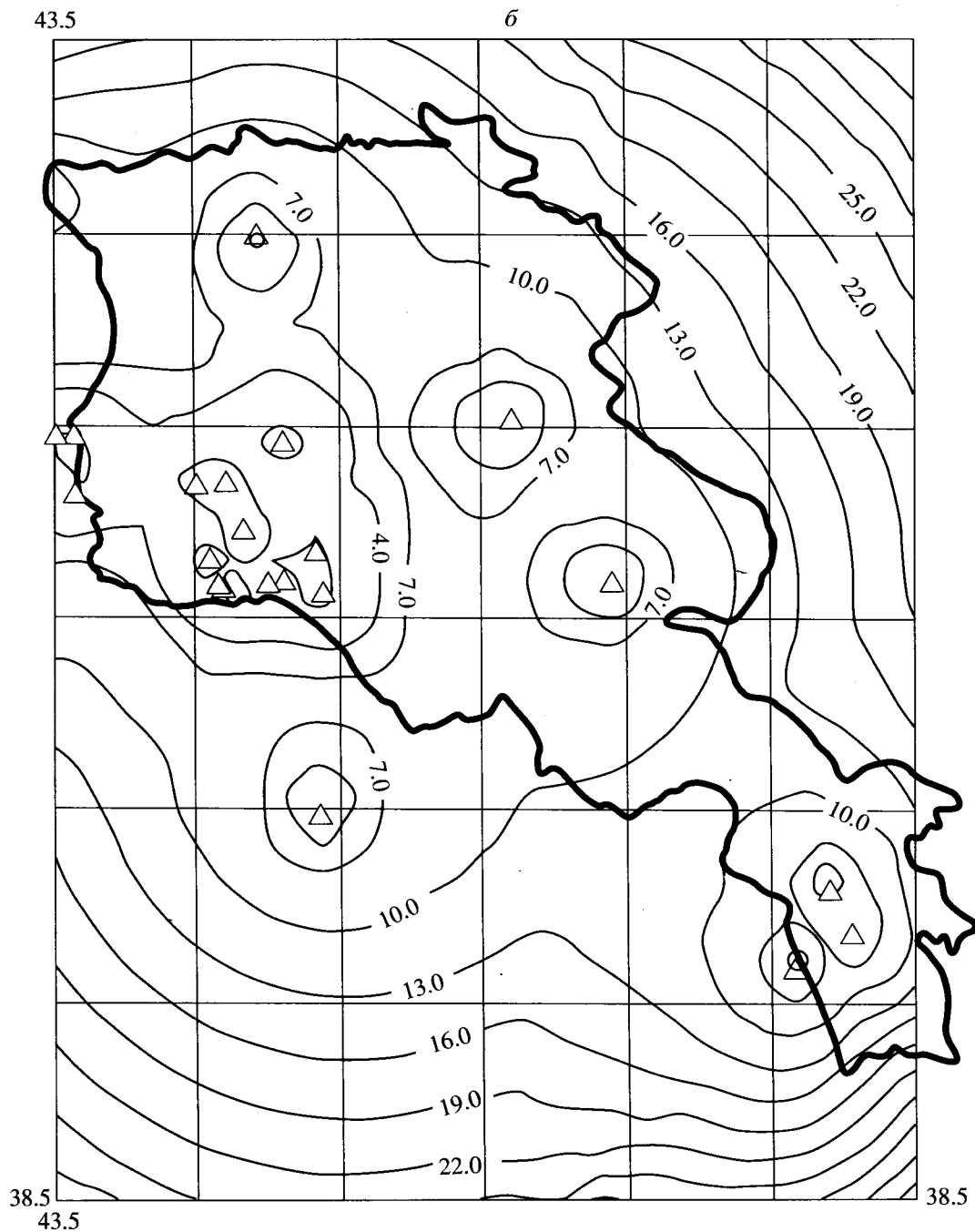


Рис. 2. Продолжение.

случае надо стремиться к тому, чтобы

$$J_3 = \left[\sum_{i=1}^n Z_i^2 \right]^{1/2} \quad (9)$$

при условии ограничения высот (глубин) точек наблюдений, т.е.

$$|Z_i| \leq Z_0, \quad i = 1, \dots, n, \quad (10)$$

где Z_i – высота (глубина) i -й станции относительно уровня моря; Z_0 – некоторое заданное положительное число, принимало минимальное значение.

Таким образом, данная задача сводится к задаче многокритериальной оптимизации (МО), в которой точки оптимальной системы наблюдений минимизируют целевой функционал:

$$\Theta = \Theta(J_0, J_1, J_2, J_3). \quad (11)$$

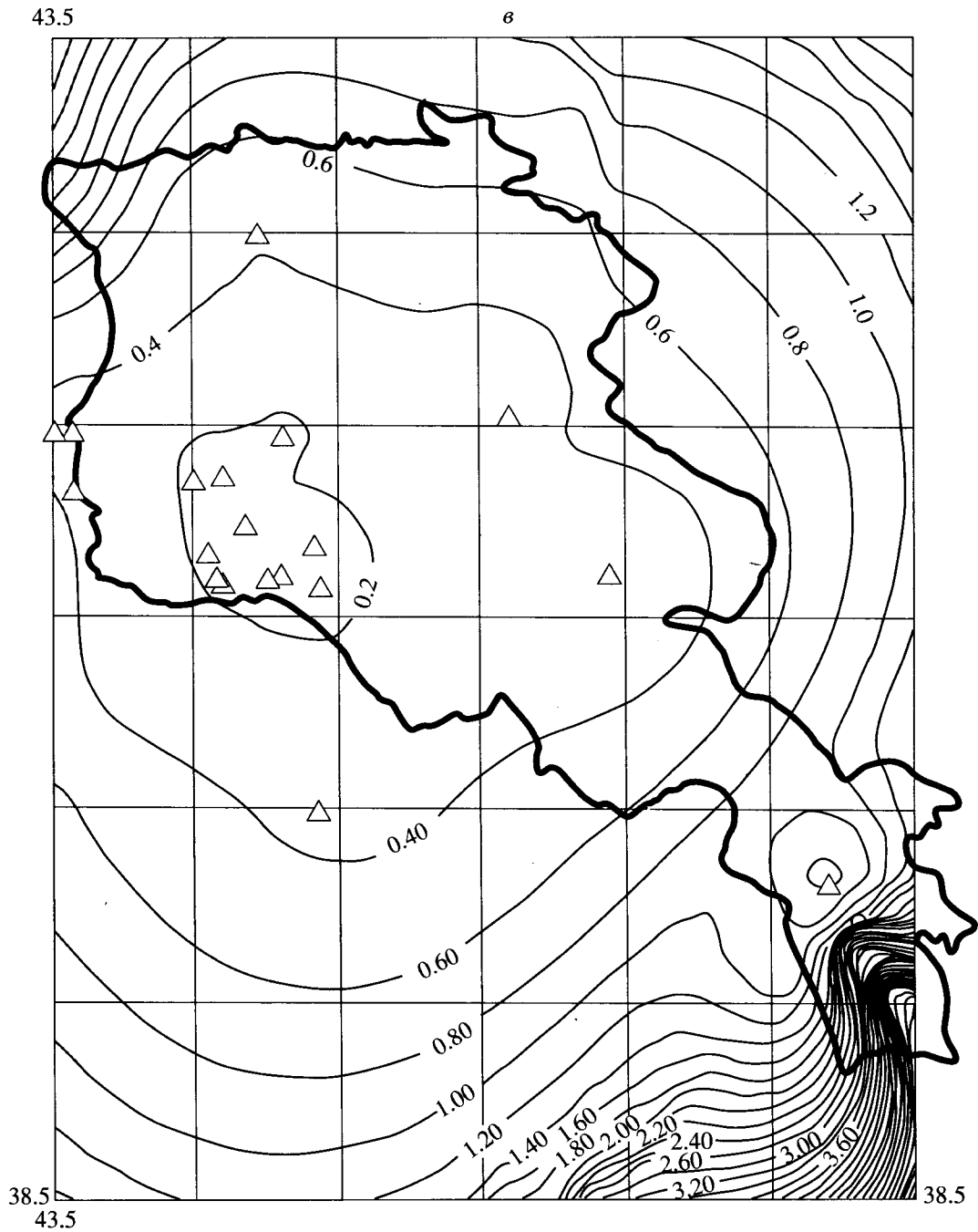


Рис. 2. Окончание.

Решение задачи многокритериальной оптимизации заключается в минимизации целевого функционала Θ . Одним из наиболее эффективных методов, который используется в задачах подобного рода, является метод взвешенных сумм с точечным оцениванием весов [12]. Метод состоит в том, что функционал J_0 и критериальные функции $J_i (i = 1, 2, 3)$ умножаются на строго положительные скалярные величины, называемые

весами – $\omega_i (i = 0, 1, 2, 3)$, $\omega^T = \{\omega_i\}$ – весовые векторы нормализованы так, что сумма компонент каждого вектора равна единице. Затем все взвешенные функции суммируются и задача сводится к минимизации целевого функционала, в которой компоненты весовых векторов играют роль важности каждой отдельной критериальной функции, входящей в целевой функционал.

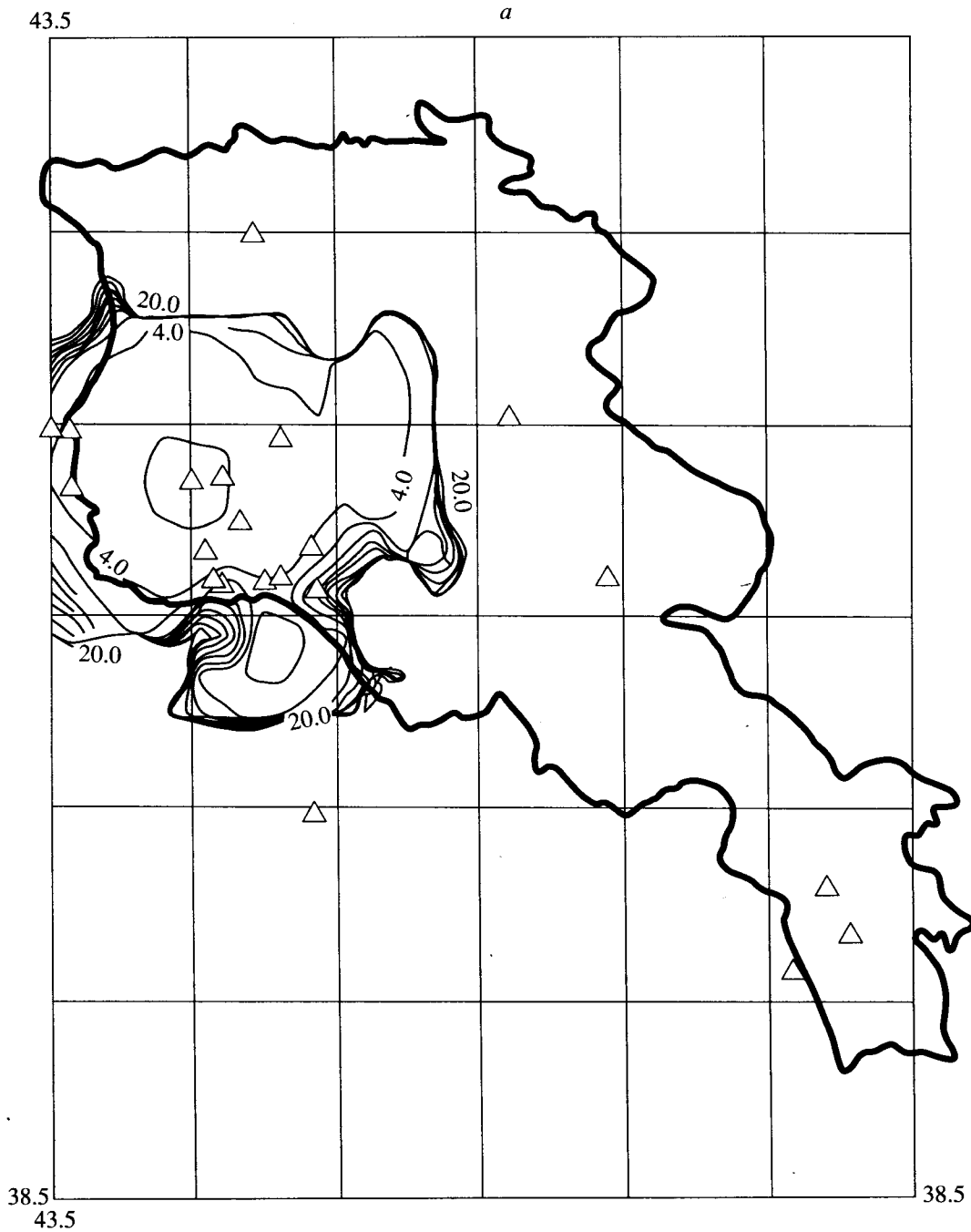


Рис. 3. Распределение ошибок в определении эпицентральных расстояний (а), глубин (б) и времени в очаге (в) для современной сейсмологической сети Армении при регистрации землетрясений 8-го класса.

Целевой функционал в этом случае приобретает вид

$$\Theta = \{\omega^T J\} = \omega_0 J_0 + \omega_1 J_1 + \omega_2 J_2 + \omega_3 J_3, \quad (12)$$

и задача сводится к минимизации целевого функционала (12) одновременно на множестве весовых векторов. Такой путь решения задачи определения оптимального плана наиболее строгий,

но, к сожалению, пока нет эффективных алгоритмов для решения этой задачи. В этой связи, чтобы упростить задачу, зафиксируем оптимальную, квазиоднородную конфигурацию системы наблюдений, полученную в работе [4], и в дальнейшем, при поиске минимума целевого функционала, не будем ее деформировать, но будем перемещать и вращать в необходимых направлениях.

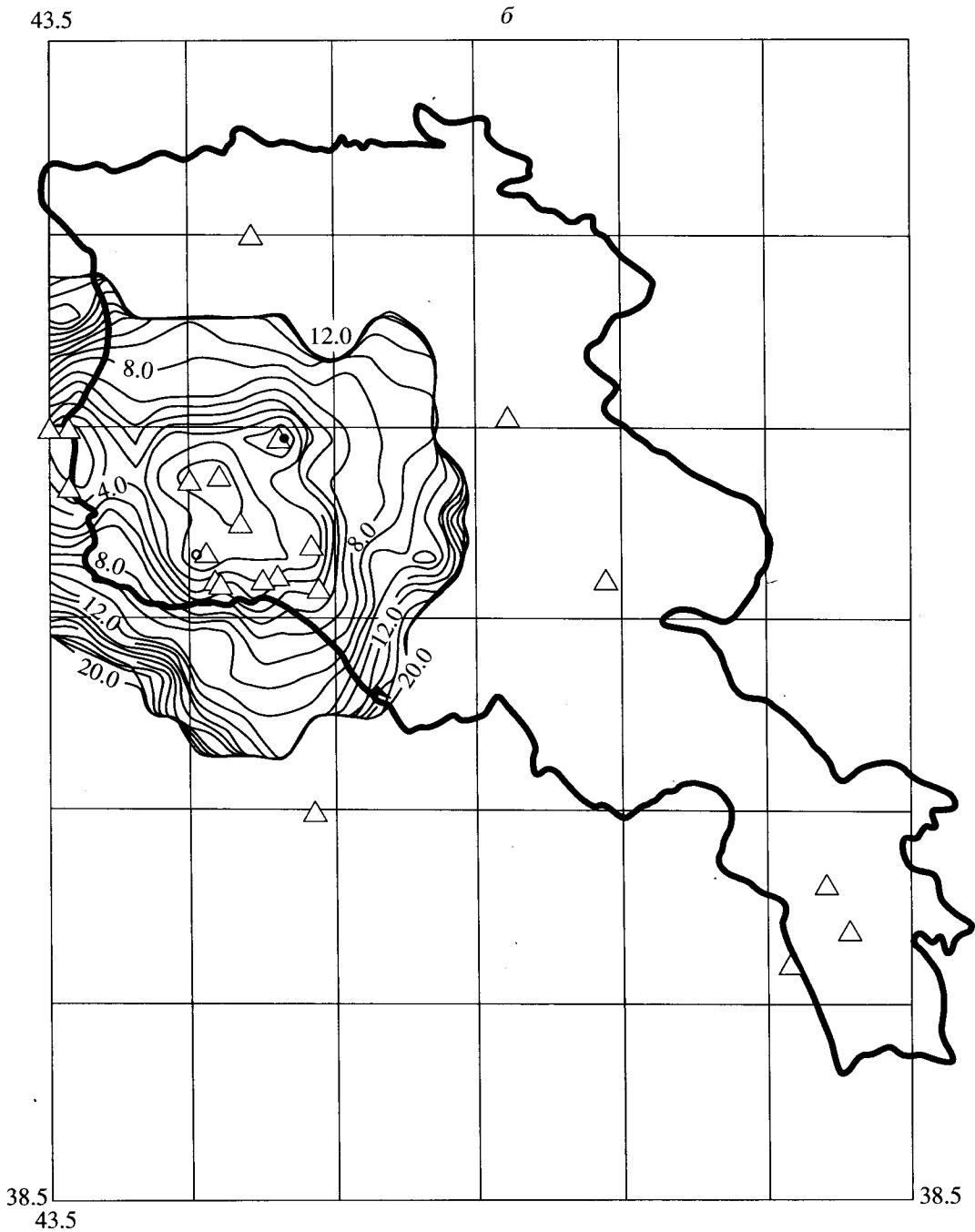


Рис. 3. Продолжение.

В ряде случаев для построения целевого функционала Θ нет достаточной информации и оказывается целесообразным упростить задачу таким образом, чтобы, с одной стороны, алгоритм минимизации был достаточно эффективен, а с другой – результат был бы близок к оптимальному решению. В данном случае нет данных о распределении интенсивности микросейсм на территории Армении, что не позволяет априори

учитывать условия регистрации в точках наблюдений, поэтому пока вынуждены не учитывать шумовой фактор, т.е. положить $\omega_1 = 0$, и принять, что в каждой точке наблюдения должно быть обеспечено увеличение приборов не менее 50 тыс. Кроме этого, нет в цифровом виде данных о распределении высот. В связи с этим положили все $Z_j = 0$ и, следовательно, $\omega_3 = 0$.

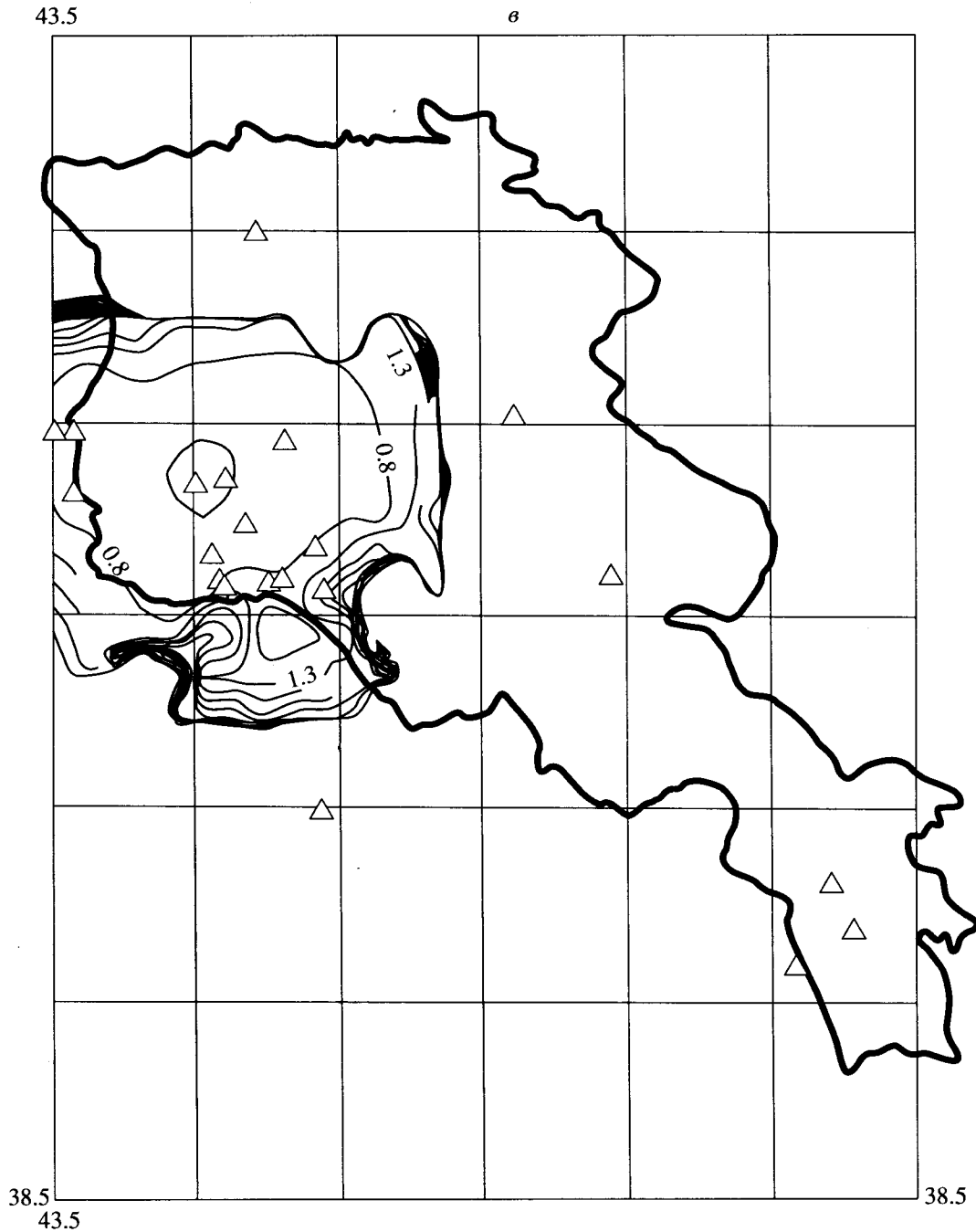


Рис. 3. Окончание.

Таким образом, вектор ω примет вид $\omega^T = \{\omega_0, 0, \omega_2, 0\}$, а функционал Θ запишется как

$$\Theta = \omega_0 J_0 + \omega_2 J_2. \quad (13)$$

Прежде чем минимизировать функционал (13), необходимо выбрать длину стороны шестиугольника или радиус соответствующей окружности. Если увеличение станций составляет 50 тыс., то, согласно зависимости минимальных классов от расстояний, получим, что восьмому классу

соответствует расстояние $l = 120$ км (рис. 1). Можно найти [4], что радиус окружности, в которую вписан шестиугольник, для восьмого класса ≈ 45 км.

Для определения минимума функции (13) рассмотрим следующую процедуру. Наложим сеть с оптимальной системой точек наблюдений на сеть существующих станций и будем варьировать положение всей оптимальной сети относительно су-

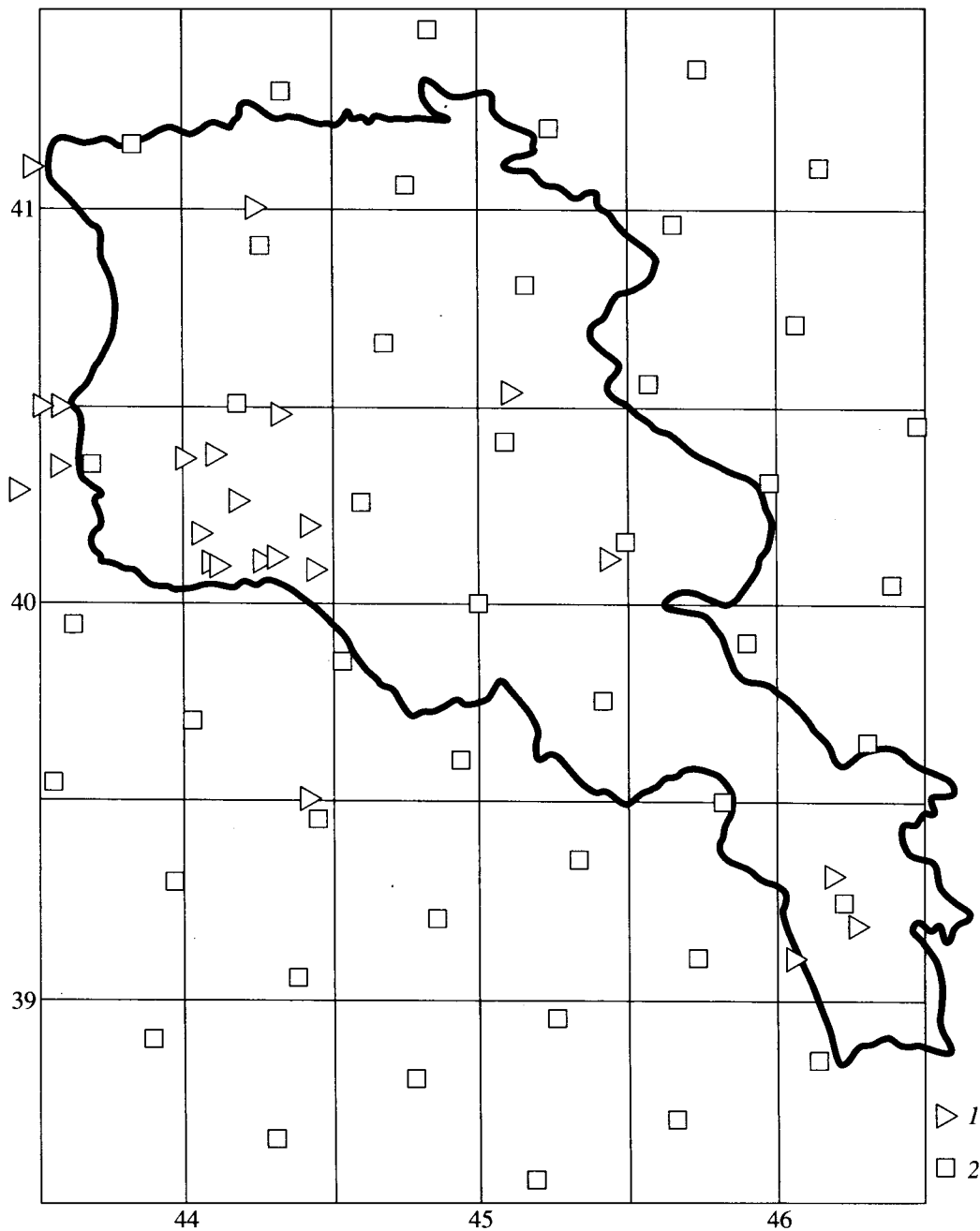


Рис. 4. Современная (1) и оптимальная (2) сети сейсмологических наблюдений Армении.

существующей таким образом, чтобы каждая точка оптимальной сети пробегала все значения в некоторой области Ω на поверхности земли. При каждом фиксированном положении оптимальной сети относительно существующей определяются расстояния d_i , удовлетворяющие условию $d_i \leq \epsilon$, и, следовательно, число m "совпадающих" точек. Поскольку в процессе поиска минимума функции Θ функционал J_0 меняется очень незначительно, то положили $\omega_0 = \omega_2 = 0.5$, а перебор точек из области Ω осуществляли дис-

кретно с шагом, равным ϵ . Величина ϵ выбрана равной 1/3 расстояния между ближайшими точками оптимальной сети (≈ 15 км).

Анализ результатов. Прежде всего для сейсмологической сети Армении оценена ее представительность с учетом реального увеличения каждой станции (5, 10 или 20 тыс.). Расчеты показали, что современная сеть Армении регистрирует без пропусков землетрясения 10-го класса, или магнитуды 3.5. На рис. 2 показано распределение ошибок в определении эпицентрального расстоя-

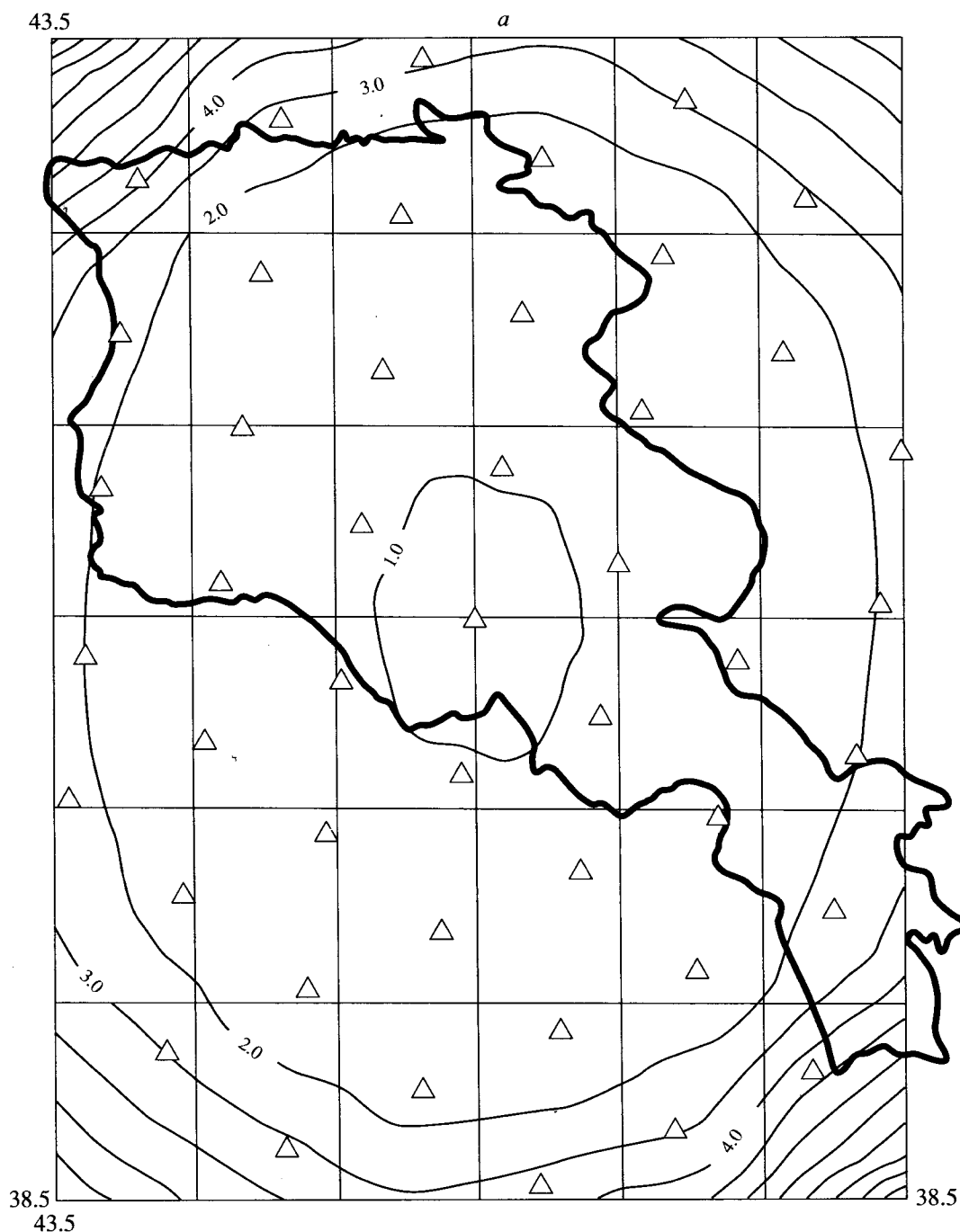


Рис. 5. Распределение ошибок в определении эпицентральных расстояний (*a*), глубин (*б*) и времени в очаге (*в*) для оптимальной сейсмологической сети Армении при регистрации землетрясений 8-го класса и выше.

яния, глубины и времени в очаге для этой сети для землетрясений 10-го класса и выше. Максимальные погрешности в определении времен вступления сейсмических волн задавались равными 0.5 с, глубины гипоцентров – 10 км. Из рис. 2а видно, что на большей части территории Республики Армения ошибки в определении эпицентров не превышают 4 км и только в юго-восточ-

ной части ошибки резко увеличиваются из-за плохого расположения станций сети для этой эпицентральной области. Ошибки в определении глубин гипоцентров на большей части территории изменяются от 4 до 10 км (рис. 2б). Ошибки в определении времен возникновения землетрясений лежат в пределах от 0.2 до 0.6 с (рис. 2в).

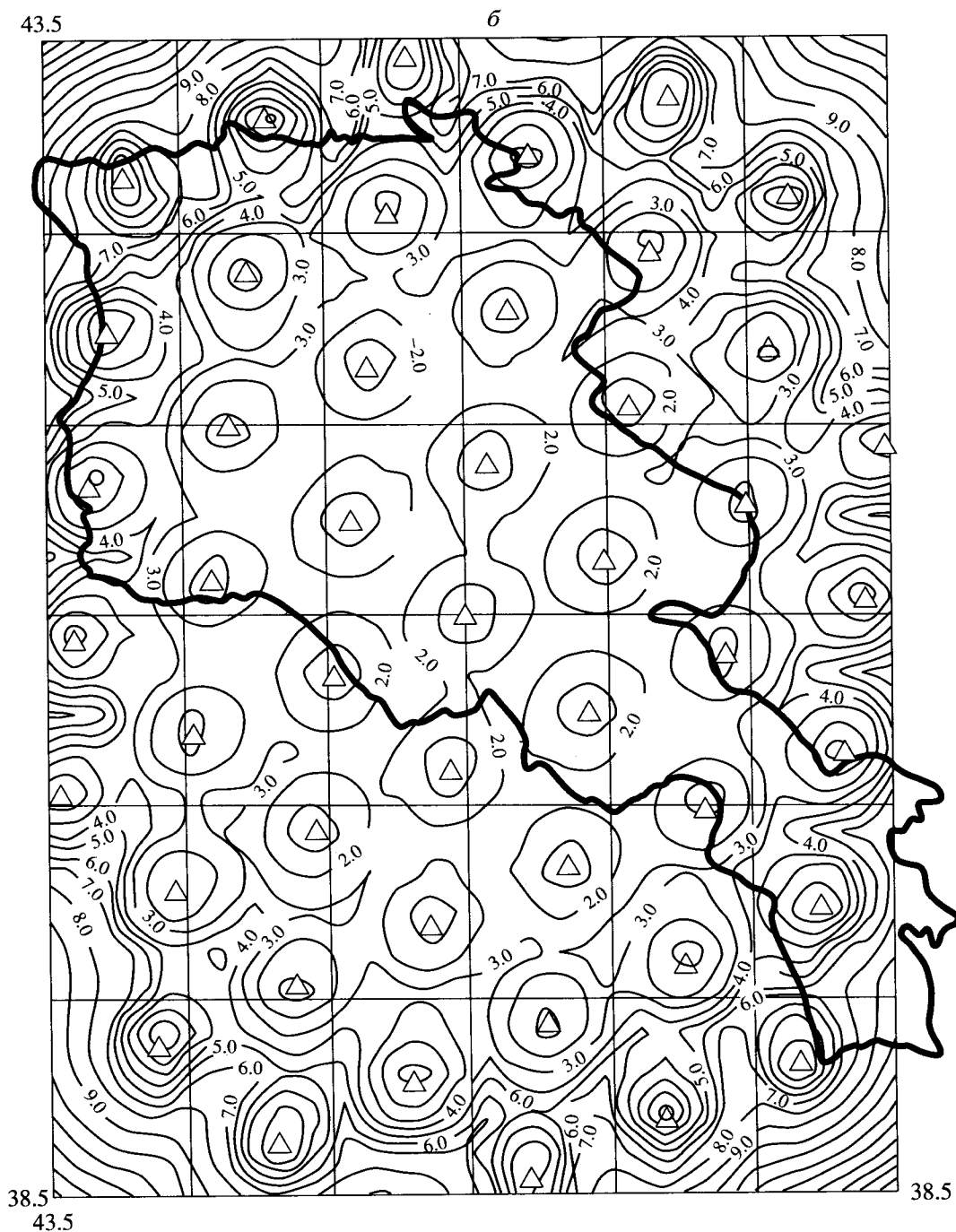


Рис. 5. Продолжение.

Результаты расчетов погрешностей в определении параметров гипоцентров землетрясений восьмого класса представлены на рис. 3. Видно, что землетрясения восьмого класса регистрируются только в восточной части Армении, где сейсмические станции хотя и расположены достаточно плотно, но имеют небольшие увеличения.

На рис. 4 приведена схема расположения сейсмических станций оптимальной сети и станции со-

временной сети наблюдений. Предполагается, что сейсмические станции имеют увеличение 50 тыс. В этом случае сеть регистрирует без пропусков землетрясения восьмого класса. Поскольку расчеты проводились для прямоугольной области, приведенной на рисунке, то точки наблюдений оптимальной сети расположены и на сопредельных территориях.

Погрешности в определении эпицентра, глубин и времен в очаге для оптимальной сети по-

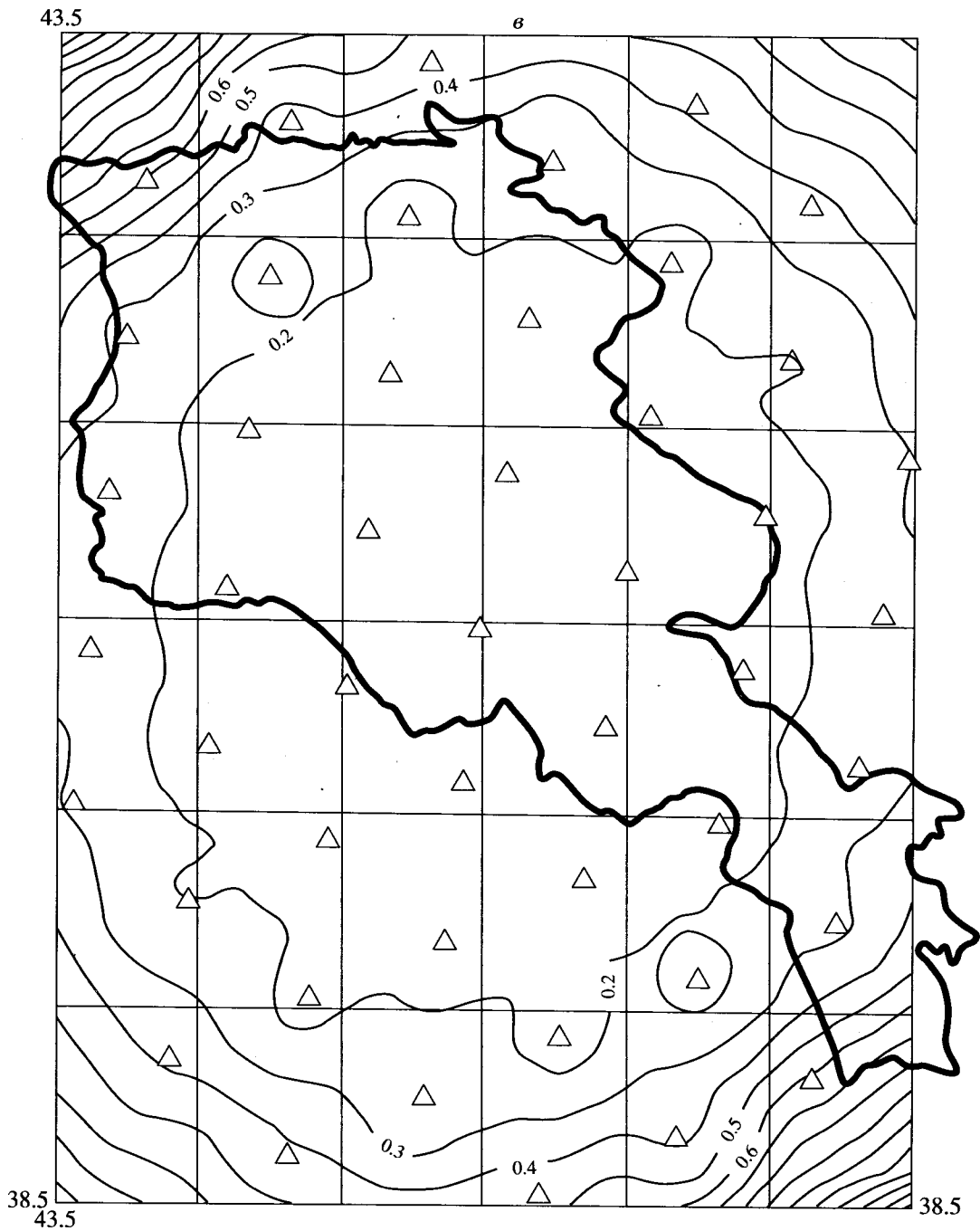


Рис. 5. Окончание.

казаны на рис. 5. Видно, что максимальная погрешность в определении эпицентров на территории Армении для оптимальной сети в основном не превышает 2 км, глубины – 4 км, а t_0 – 0.2 с.

Выводы. Полученная оптимальная конфигурация сейсмологической сети для территории Армении позволяет при увеличении сейсмических станций 50 тыс. регистрировать без пропусков землетрясения восьмого класса и определять па-

раметры гипоцентров с минимальными погрешностями. В настоящее время на территории Армении нет сейсмических станций с увеличением >20 тыс. Тем не менее при расчетах принято, что увеличение сейсмических станций должно быть не хуже 50 тыс. В противном случае для регистрации землетрясений восьмого класса потребуется слишком много точек наблюдений, что не реально. В то же время добиться увеличения сейсмических станций 50 тыс. задача вполне достижимая.

Для этого необходимо только более тщательно выбирать места постановки станций и, может быть, заглублять сейсмографы в скважинах. Если поднять увеличение станций до 100 тыс., то полученная система наблюдений сможет регистрировать без пропусков землетрясения седьмого класса. Расчеты оптимальной сети и погрешности в определении параметров гипоцентров землетрясений, зарегистрированных этой сетью, велись на прямоугольной области, которая помимо территории Армении включает в себя области Грузии, Азербайджана и Турции. Если рассматривать станции только на территории Армении, то конфигурация изолиний ошибок несколько изменится в сторону увеличения значений в окрестности границы республики. Однако совершенно очевидно, что для Кавказа сейсмологическая сеть должна быть единой, что позволит, с одной стороны, сэкономить значительные средства, а с другой – эффективно проводить обработку наблюдённых данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аветисян А.М.* К вопросу оптимизации сети при определении координат очага землетрясения // Изв. АН Арм. ССР. Науки о Земле. 1987. Т. L. № 4. С. 73–76.
2. *Аранович З.И.* О методе выбора оптимального расположения станций в локальной системе наблюдений // Методика и результаты оценки эффективности региональных систем сейсмических наблюдений. Тбилиси: Мецниереба, 1980. С. 150–157.
3. *Аранович З.И., Ахалбедашвили А.М., Гоцадзе О.Д. и др.* Методика расчета эффективности сети региональных сейсмических станций на примере Кавказа // Вопросы оптимизации и автоматизации сейсмических наблюдений. Тбилиси: Мецниереба, 1977. С. 25–57.
4. *Бурмин В.Ю.* Оптимизация сейсмических сетей и определение координат землетрясений. М.: ОИФЗ РАН, 1995. 184 с.
5. *Джибладзе Э.А., Дарахвелидзе Л.К., Табуцадзе Ц.А.* Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений. Т. II. М.: Наука, 1974. С. 125–132.
6. Инструкция о порядке производства и обработки наблюдений на сейсмических станциях ЕССР СССР / Под ред. Кондорской Н.В., Арановича З.И. М.: Наука, 1981. 272 с.
7. *Лутиков А.И., Чебкасова Е.В.* Сейсмический режим южной части Северо-Западного Кавказа // Материалы по сейсмическому районированию Северо-Западного Кавказа. М.: Наука, 1991. С. 81–98.
8. *Кийко А.* Методы оптимального планирования региональных сетей сейсмических станций // Вычислительные методы в геофизике. М.: Наука, 1981. С. 82–84.
9. *Нгуен Куи Хи, Фам Ван Тхук, Фам Лоу Ву и др.* Оптимальное дополнение сейсмической сети на территории Вьетнама методом планирования сейсмического эксперимента // Результаты исследований Института “Науки о земле” 1977–1978 гг. Сер. Физика Земли. Ханой: Национальный исследовательский Центр наук Вьетнама, 1979. С. 9–31.
10. *Омельченко О.К., Гусяков В.К.* Планирование сети сейсмических станций для службы предупреждения о цунами // Вулканология и сейсмология. 1996. № 2. С. 68–85.
11. *Саваренский Е.Ф., Сафронов В.В., Пешков А.В. и др.* Оптимальное размещение сейсмических станций с позиции минимизации погрешности определения эпицентра // Изв. АН СССР. 1979. № 8. С. 64–71.
12. *Штойер Р.* Многокритериальная оптимизация. Теория, вычисления и приложения. М.: Радио и связь, 1992. 504 с.
13. *Iosif T., Iosif S.* Optimization of seismic stations distribution in Romania // Studii si cercetari de geofisica. 1974. V. 12. P. 51.
14. *Sato J., Skoko D.* Optimum distribution of seismic distribution points, II // Bull. Earthq. Res. Inst. 1965. V. 43. № 3. P. 451–458.

Design of Optimal Regional Seismograph Network: Armenia Region

V. Yu. Burmin, Nguen Van Fong, A. M. Avetisyan

Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, 123810, Russia

Numerical design of the optimal regional seismograph network for Armenia is considered. The geometry of the available seismic network of Armenia has been analyzed to conclude that it is not optimal. This impedes the solution of many problems now facing contemporary seismology, among them the assessment of earthquake hazard and seismic risk, problems of structural seismology and several other applied problems that are important for the country. A nonstatistical approach to the design of physical experiments is used to deal with the construction of the optimal seismograph network for Armenia. The optimal network is here understood to be one that would report all small ($K = 8$) earthquakes while providing the best hypocenter location.