

ниях $1/4-1/3$ длины ряда от края сети и затыжным минимумом между ними. Но при этом разность максимальной и минимальной ошибок составляет около $1 \dots 3\%$ с тенденцией уменьшения при увеличении числа рядов в сети.

В табл. 2 приведены средние квадратические ошибки нескольких промежуточных и связующих сторон, находящихся на одина-

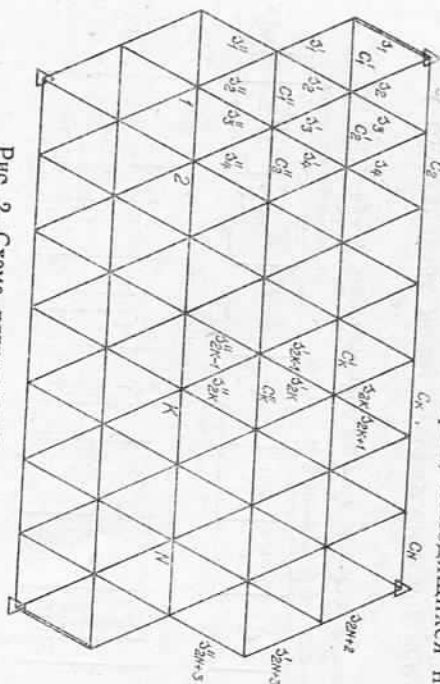


Рис. 2. Схема пятикратного ряда.

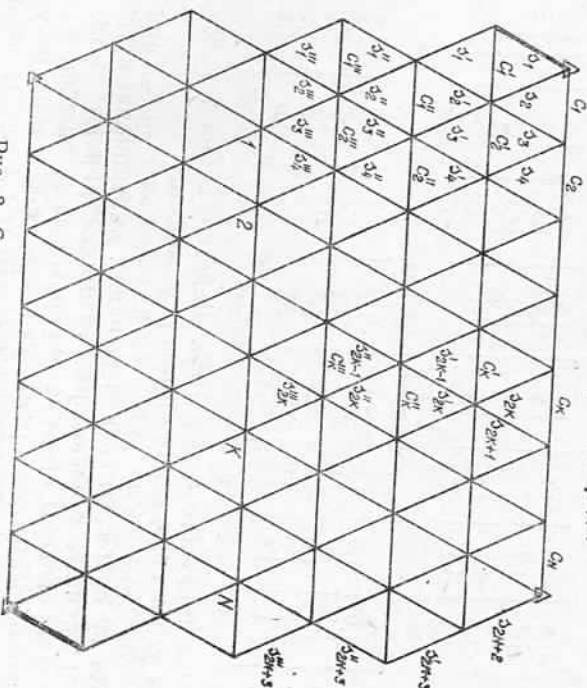


Рис. 3. Схема семикратного ряда.

ковом расстоянии от края сетей из трех, пяти и семи рядов (рис. 2 и 3) треугольников разного размера ($N=5, 10, 15, 20$ и 25). Из табл. 2 видно, что только в трехкратном ряду заметно влияние размера сети на точность дирекционных углов. А переход от пяти до семи рядов практически не влияет на изменение точности дирекционных углов. Кроме этого из табл. 2 видно также, что точ-

ность связующих и промежуточных сторон, находящихся на краю сети ($C_0, S_{2N+2}, S_{2N+3}, S_{2N+4}$ и S_{2N+5}) практически одинакова.

Предлагаем формулы для оценки точности дирекционных углов сторон, находящихся на краю сети,

$$m = \sqrt{2} \cdot \rho / a = 1,4 \rho / a \quad (5)$$

и для сторон, расположенных в ее середине,

$$m = 1,1 \rho / a. \quad (6)$$

Сравнивая результаты, получаемые по (5) и (6), с данными табл. 2, видим, что погрешности формул для сетей из пяти и более рядов при $N \geq 5$, не превышают 10% .

По данным табл. 1 и 2 можно определить точность дирекционных углов аналогичных сетей, стороны которых измерены с любой относительной погрешностью. Для этого табличные значения ошибок нужно умножить на коэффициент ρ / a .

Список литературы: 1. Аркашова У. П. Оценка точности рядов прямых углольников с измеренными сторонами и диагоналями. — Тр. Омск. с.-х. ин-та, 1970, № 2, с. 136—142. 2. Бронштейн Г. С., Сафонов А. С. Аппроксимация формул для оценки точности ряда триангуляции. — Геодезия и картография, 1974, № 1, с. 12—15. 3. Бронштейн Г. С., К вопросу об оценке точности ряда триангуляции. — Инженерно-строительные изыскания, 1974, вып. 1(34), с. 3—10. 4. Виленский В. А. О закономерностях накопления погрешностей в сплошных сетях триангуляции. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1979, вып. 30, с. 41—48. 5. Заводовский А. В. Оценка точности линейных триангуляций. — Науч. зап. Львов. политех. ин-та. Сер. Геодезия, 1959, № 5, с. 3—33. 6. Косенко Я. М. К вопросу оценки точности сплошных сетей триангуляции. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1967, вып. 6, с. 25—41. 7. Косенко Я. М. О точности дирекционных углов в сплошных сетях триангуляции. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1974, вып. 20, с. 45—50. 8. Кузнецов И. А. Накопление погрешностей в рядах с измеренными сторонами. — Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, 1957, вып. 2, с. 87—100. 9. Прохорова К. Л. Точность элементов сети линейной триангуляции. — Тр. НИИГАНК, т. 11, 1958, с. 3—21.

Статья поступила в редколлегию 20. 05. 85

УДК 551.242

А. Г. ЛИСОВЕЦ, А. А. НИКОНОВ, В. А. СКРЫЛЬ

ОПЫТ ПОСТРОЕНИЯ КАРТ СОВРЕМЕННЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ ПОБЕРЕЖИИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ ДЛЯ РАЗНЫХ ЭПОХ *

При составлении карт современных вертикальных движений земной коры (СВДЗК) исследователи сталкиваются с рядом трудностей, отражающих сложность процесса ее вертикальных движе-

* Материалы статьи положены в основу доклада «Опыт построения карт современных вертикальных движений земной коры побережий Каспийского моря методом коллокации для разных эпох», сделанного авторами на 10-м Междуведомственном совещании по изучению современных движений земной коры на геодинамических полигонах СССР (Сочи, 26—30 ноября 1984 г.).

ний и в еще большей степени движений земной поверхности, на которой проводятся измерения. Ряд многократных высокоточных измерений обнаружил неравномерность и даже закономерность вертикальных перемещений поверхности как в областях горообразования, так и в равнинно-платформенных условиях [5, 6, 9]. Хорошо известно, что получаемые при расчетах значения скорости движения поверхности сильно зависят от времени усреднения [1, 2]. Считается, что влияние ошибок измерений и временной неравномерности вертикальных движений становится не-

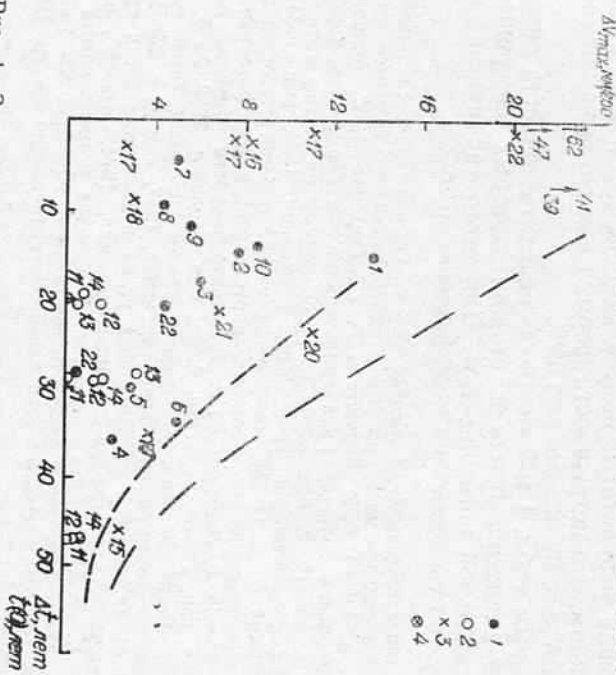


Рис. 1. Зависимость амплитуды величин скорости современных движений поверхности ($\Delta v_{\max}$, мм/год) от интервала времени между измерениями (для уровневых расчетов — времени усреднения) (Δt или $t(0)$, годы) в окрестностях Каспийского моря (исходные материалы см. в табл. 1).
Платформенные области: 1 — по данным повторного нивелирования; 2 — по данным уровневых наблюдений. Подвижные области: 3 — по данным повторного нивелирования; 4 — по данным уровневых наблюдений.

значительным при использовании интервалов усреднения в 15—25 и более лет [4]. Соответственно отбрасывались материалы повторного нивелирования при составлении карты СВДЗК Восточной Европы [3], включающей и Прикаспийскую область.

К сожалению, некоторые карты недавнего времени, в том числе для территории Средней Азии, составлены с нарушением принципа использования близких по продолжительности и времени эпох измерений. На рис. 1 показана зависимость амплитуд скорости вертикальных движений поверхности по трассам повторного нивелирования от временных интервалов между измерениями применительно к области Прикаспия. Из этих материалов следует, что только оперируя интервалами времени более 30 лет, можно

рассчитывать на получение значений скоростей, свободных от случайных временных возмущений. Проблема отражения (или преодоления влияния) пространственно-временной неравномерности движений земной поверхности (и в ряде случаев — земной коры) при составлении карт приобрела наряду с задачами преодоления чисто инструментальных и технических трудностей все большее значение и требует научно-методических разработок.

Именно с этой точки зрения авторы обратились к области побережий Каспийского моря. Эта область благоприятна для научно-методических разработок по нескольким причинам. Охватывая громадную площадь, она включает такие структурно- и геодинамически разнообразные районы, как Альпийский подвижный пояс (горы Кавказа и Копет-Дата), с одной стороны, и платформенные области (Скифская и Туранская платформы), — с другой. На этой территории возможно совместное использование результатов и уровневых наблюдений, и повторного нивелирования за достаточно продолжительный период (свыше 50 лет). Важно, что большинство линий повторного нивелирования имеет длину порядка сотен километров, что уменьшает накопление значительных систематических ошибок, присущих измерениям на линиях протяженностью во многие тысячи километров.

Авторы поставили задачу, используя отмеченные благоприятные возможности на территории вокруг Каспийского моря, выявить пространственно-временные неравномерности движений с помощью метода коллокации.

Примененный в [8] для построения карт СВДЗК метод коллокации имеет ряд особенностей и преимуществ по сравнению с традиционно используемыми способами. Главное его достоинство состоит в использовании приемов математической статистики для построения карт. Это обеспечивает независимость от геолого-геоморфологических данных и представлений, в той или иной мере обычно довлывших ранее над составителями карт. Опыт составления карты СВДЗК острова Сахалин методом коллокации показал, что новый метод при тех же исходных данных может обеспечить значительно большую точность (до 40%) по сравнению с линейной интер- и экстраполяцией скоростей.

Возможность получения карты СВДЗК независимо от геолого-геоморфологических характеристик территории особенно важна в областях с дифференцированными в пространстве и времени СВДЗК. Именно к таким областям относится область побережий Каспийского моря. Помимо отмеченных выше главных геоструктурных различий (охват Альпийского подвижного пояса на юге и платформ на севере), необходимо учитывать подверженность территории редким, но исключительно сильным землетрясениям (восточно-кавказское 1668 г. с $M=8$, красноводское 1895 г. с $M=8,2$, ашхабадское 1948 г. с $M=7,3$). В этих условиях естественно было попытаться выявить не только пространственные различия в вековых движениях соседних крупных геоструктур, но также и опрощенные во времени и пространстве аномальные откло-

Далее на основе критерия Фишера при 10%-ном уровне значимости были выделены четыре региона, однородных по дисперсии скорости (рис. 2). Основные статистические характеристики этих регионов приведены в таблице.

Конфигурации регионов для I и II эпох за незначительным исключением совпадают. Каждый из четырех выделенных регионов обладает определенной совокупностью статистических свойств, являющихся отражением реальной структуры их поля. Эти свойства численно характеризуются ковариационными функциями, показывающими степень изменения стохастической связи между различными элементами поля.

Для каждого из четырех регионов подобраны следующие ковариационные функции:

I эпоха

$$C_1(r) = 25,30 \cdot e^{-0,0002 \cdot |r|^{2,0}},$$

$$C_2(r) = 5,07 \cdot e^{-0,03390 \cdot |r|^{1,0}},$$

$$C_3(r) = 3,50 \cdot e^{-0,00331 \cdot |r|^{1,5}},$$

$$C_4(r) = 0,57 \cdot e^{-0,00369 \cdot |r|^{1,5}},$$

$$C_1(r) = 40,30 \cdot e^{-0,00157 \cdot |r|^{2,0}},$$

$$C_2(r) = 5,07 \cdot e^{-0,03390 \cdot |r|^{1,0}},$$

$$C_3(r) = 3,74 \cdot e^{-0,02246 \cdot |r|^{1,0}},$$

$$C_4(r) = 0,57 \cdot e^{-0,00369 \cdot |r|^{1,5}}.$$

II эпоха

Полученные таким образом ковариационные функции значительно разнятся между собой: во-первых, дисперсиями скоростей в регионах (см. выше) и, во-вторых, длинами участков корреляции. Так, для I эпохи длины участков корреляции составляют 56, 66, 93 и 38 км соответственно для каждого из четырех регионов. Для II эпохи эти величины равны 47,2, 66, 97,5 и 38 км соответственно.

Полученные статистические характеристики регионов (как для I, так и для II эпохи) свидетельствуют об ошутимом различии характера и интенсивности СВДЗК в указанных районах.

Выполненный статистический анализ поля скоростей позволил перейти к следующему этапу — определению значений скорости СВДЗК вне линий повторного нивелирования и уровневых пунктов.

Расчет скоростей выполняется по формулам

$$v_r = C_{rv}^i (C_{vv}^i + D)^{-1} v_h, \quad m_{v_r}^2 = C_0 - C_{rv}^i (C_{vv}^i + D)^{-1} C_{rv}^i$$

в которых C_{rv}^i — ковариационная матрица известных и искомым значений скоростей v ; C_{vv}^i — ковариационная матрица известных значений v_h ; D — дисперсионная матрица известных значений v_h .

* 2 и 4 региона соответствуют западному побережью, поэтому ковариационные функции для I и II эпох одинаковы.

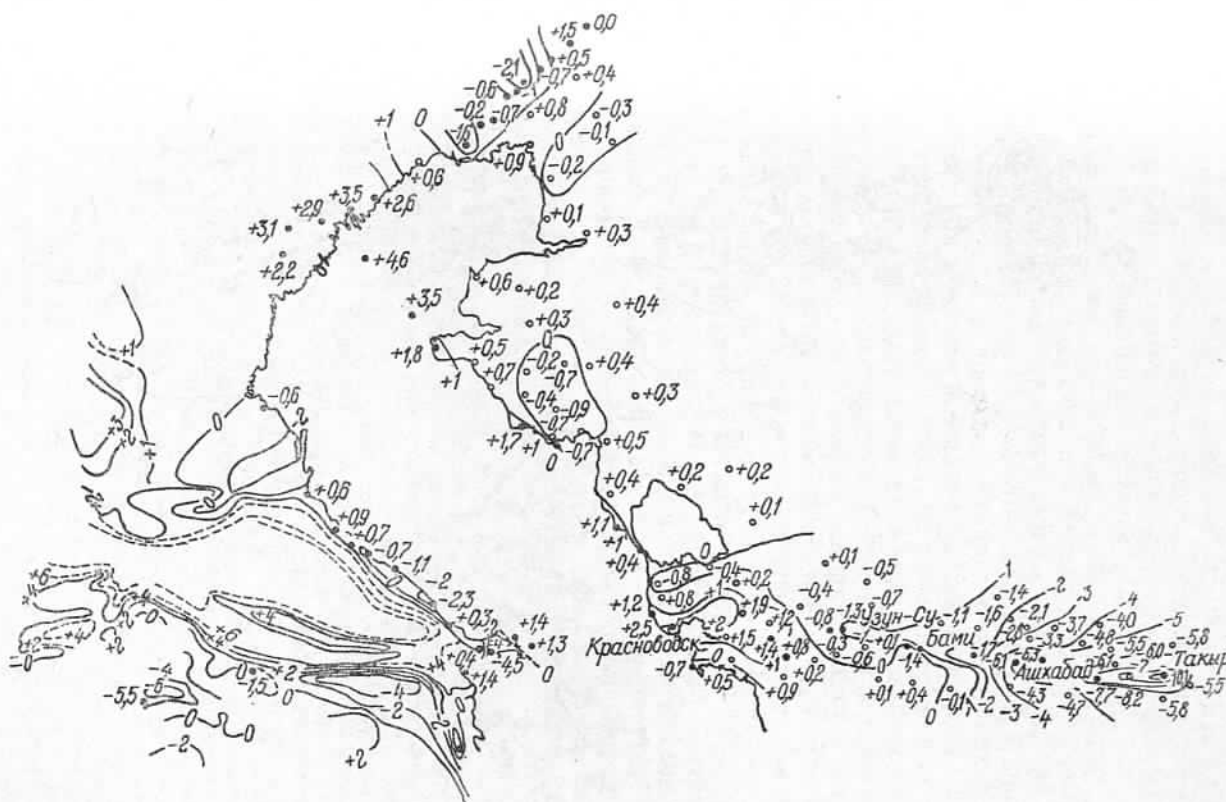


Рис. 3. Карта скоростей СВДЗК I эпохи — 1915—1946 гг.
(● — известные скорости СВДЗК, ○ — искомые скорости СВДЗК).

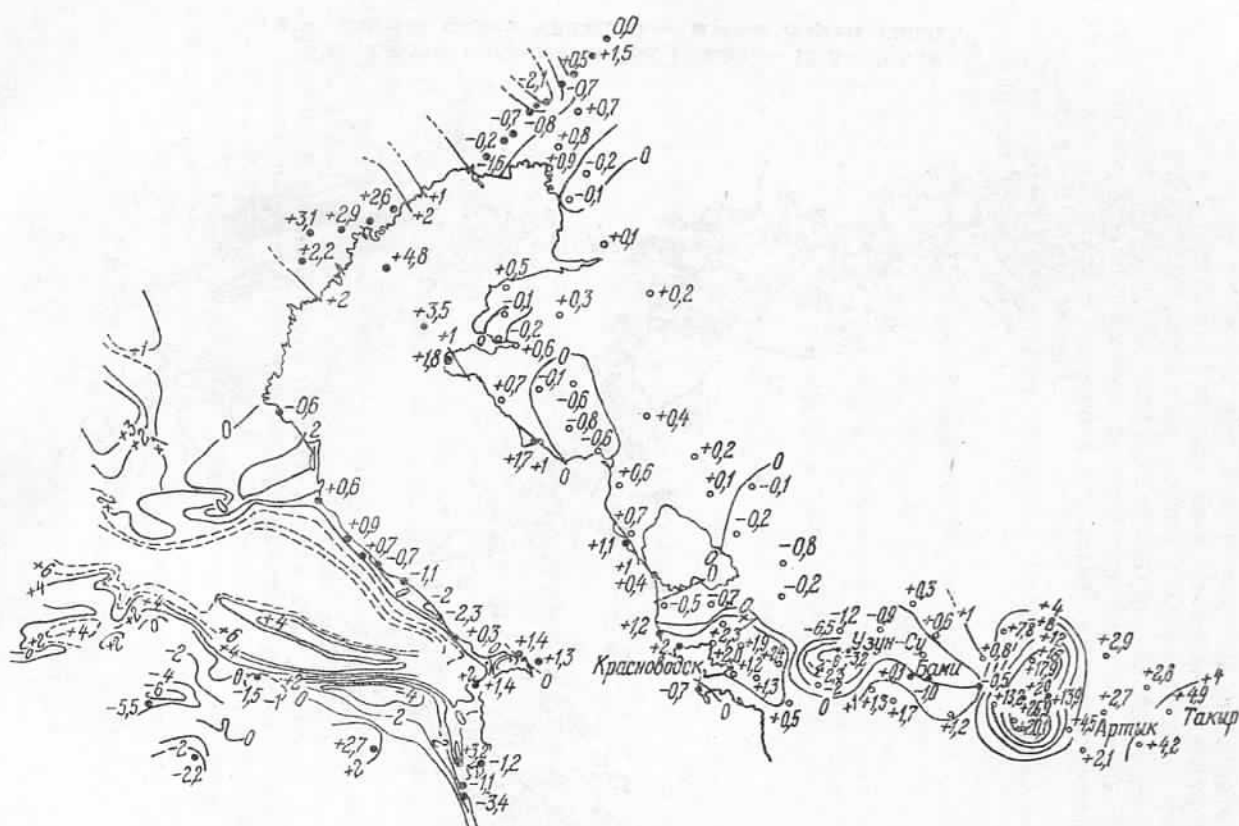


Рис. 4. Карта скоростей СВДЗК II эпохи — 1941—1958 гг.
(● — известные скорости СВДЗК, ○ — искомые скорости СВДЗК).

и v_p — известные и прогнозируемые значения скоростей соответственно; m_{vp}^2 — дисперсия прогноза. Матрицы C_{vp} и C_{pv} ставляются на основании ковариационной функции $C(r)$. Матрица D характеризуется точностью исходных скоростей, взята из [7]. Полученные таким образом скорости совместно с исходными значениями скоростей через 1 мм/год отдельно для каждой из двух эпох по восточным частям Каспийской области (рис. 3, 4).

Сравнение карт к востоку от Каспия на каждую эпоху показывает их хорошее согласование для большей части изучаемого региона в пределах Туранской плиты. Знак и план движений здесь сохранялись на протяжении 1915(1925)—1943(1946) гг. В противоположность этому, т. е. в пределах Альпийского подвижного пояса, бросаются в глаза резкая площадная дифференциация СВДЗК, различия в знаке, значениях, скорости и форме изолиний скорости СВДЗК. На Ашхабадском участке движения характеризовались общим погружением предкопепетдагской полосы с максимальной среднегодовой скоростью до 10 мм/год в первую эпоху и воздыманием субмеридиального, т. е. поперечного к общей структуре участка, со скоростью до 27 мм/год — во вторую. Полученные характеристики значительно уточняют известные из [7]. Резкие изменения под СВДЗК предкопепетдагского района в 1941(1943)—1952(1958) гг. по сравнению с более ранней эпохой, естественно связывать с аномальными движениями, предшествующими и сопровождавшими известное ашхабадское землетрясение 1948 г.

Проведенное исследование свидетельствует о хороших возможностях метода коллокации не только для составления карт СВДЗК, но и для выделения по ним дифференциации движений во времени и пространстве.

Список литературы: 1. Гвоздский М. В. Основы тектонофизики. — М.: Наука, 1975. — 576 с. 2. Гвоздский М. В., Никонов А. А. Тектонофизическая интерпретация современных движений земной коры. — Геотектоника, 1973, № 3, с. 45—58. 3. Карта современных вертикальных движений земной коры Восточной Европы (1:2 500 000). — М.: ГИГК, 1973. 4. Митюков В. А. Уточненная карта скорости современных вертикальных движений земной коры на западе Европейской части СССР и некоторые соображения о периоде этих движений. — В кн.: Современные движения земной коры. М., 1963, № 1, с. 73—87. 5. Митюков В. А. Карта градиентов скорости вертикальных движений земной коры Европейской части СССР и исследования периодичности движений. — В кн.: Современные движения земной коры. Тарту, № 5, 1973, с. 42—48. 6. Митюков В. А., Сидоров В. А. Некоторые вопросы составления карт современных вертикальных движений земной коры. — В кн.: Современные движения земной коры. Тарту, № 5, с. 58—65. 7. Митюков В. А., Сидоров В. А. Применение метода коллокации для построения карт современных вертикальных движений земной коры (на примере о. Сахалин). — В кн.: Современные движения земной коры. Тез. докл. VIII Всесоюз. совещ. по изучению современных движений земной коры. Кишинев, 1982, с. 88. 9. Сидоров В. М. Исследование вертикальных движений земной коры в Северном Тянь-Шане. — Геодезия и картография, 1979, № 1, с. 23—30. 10. Сукаренко Н. И., Никонов А. А. Дифференциация современных вертикальных движений на побережье Каспийского моря (по уровенным данным). — В кн.: Современные движения земной коры. Тез. докл. VIII Всесоюз. совещ. по изучению современных движений земной коры. Кишинев, 1982, с. 118—119.