

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

**ОПЫТ ПОСТРОЕНИЯ КАРТ СОВРЕМЕННЫХ
ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ
ПОБЕРЕЖИЙ 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 Межведомственном 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 знакопеременность 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-

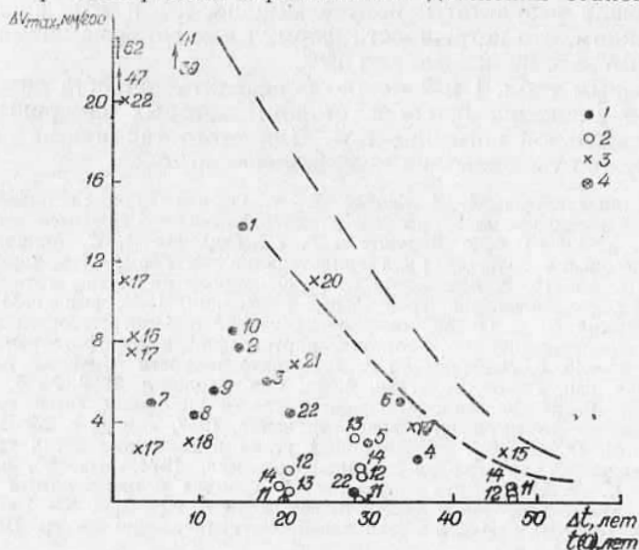


Рис. 1. Зависимость амплитуды величин скорости современных движений поверхности ($\Delta v_{\max}$, мм/год) от интервала времени между измерениями (для равномерных расчетов—времени усреднения) (Δt или $t(0)$, годы) в окрестностях Каспийского моря (исходные материалы см. в табл. 1).

Платформенные области: 1 — по данным повторного нивелирования; 2 — по данным равномерных наблюдений. Подвижные области: 3 — по данным повторного нивелирования; 4 — по данным равномерных наблюдений.

значительным при использовании интервалов усреднения в 15—25 и более лет [4]. Соответственно отбирались 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 временного интервала 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 ведущее 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 разнородные районы, как Альпийский подвижный пояс (горы Кавказа и Копет-Дага), 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 долевших 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 ограниченные во времени и пространстве аномальные откло-

ные эпохи, сроки и с неодинаковыми интервалами. Для согласования с выделенными периодами равномерных наблюдений для Закаспийской части области, где, по равномерным данным, уже были известны аномалии движений во вторую эпоху, нам пришлось ограничиться небольшой частью нивелировок. По линии Ашхабадской железной дороги для первой эпохи использованы нивелировки 1885—1943 гг., а для второй — 1943—1952 гг. [7]. Для получения абсолютных величин скорости движений учтено поднятие пункта Красноводск со скоростью 2,5 мм/год в первый период и 2,4 мм/год — во второй. Для западной и северной части

Статистические характеристики поля скоростей СВДЗК

Регионы	I эпоха			II эпоха		
	Дисперсия, мм ² / год ²	Максимальная скорость, мм/год	Минимальная скорость, мм/год	Дисперсия, мм ² / год ²	Максимальная скорость, мм/год	Минимальная скорость, мм/год
1	25,30	13,2	—7,7	40,30	29,9	—6,5
2	5,07	5,6	—5,5	5,07	5,6	—5,5
3	3,50	3,5	—3,0	3,74	3,5	—3,0
4	0,57	2,9	0,7	0,57	2,9	—0,7

территории использованы значения скорости СВДЗК в узловых и характерных пунктах [3].

Примененная нами методика позволяет проводить на статистической основе интерполяцию значений скорости вне пунктов с измеренными величинами скорости. Составными частями такой методики является статистический анализ поля скоростей СВДЗК и выполняемая на его основе интер- и экстраполяция значений скорости вне линий повторного нивелирования и равномерных пунктов.

Статистический анализ включает вычисление характеристик дисперсии скорости, выделение районов с постоянной (в избранных пределах) дисперсией значений скорости и построения ковариационных функций районов. Характеристики дисперсий скорости вычислялись по формуле

$$\sigma_v^2(E) = \frac{\sum_{j=1}^n (v_E - v_j)^2}{n},$$

где $\sigma_v^2(E)$ — дисперсия скорости СВДЗК точки E ; v_E — значения скорости в точке E ; n — количество точек, попавших в окружность (вокруг E) радиуса $R=87,5$, подобранного эмпирически; v_j — значения скоростей в точках, попавших в окружность. Минимальное значение n оказалось равным 2, максимальное — 18, а $n_{\text{ср}}=8$. Значения дисперсий скоростей лежат в пределах: I эпоха — (0,01—79,12) мм²/год², II эпоха — (0,01—306,59) мм²/год².

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

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

$$C_2(r) = 5,07 \cdot e^{-0,03990 \cdot |r|^{1,0}},$$

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

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

II эпоха

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

$$C_2(r) = 5,07 \cdot e^{-0,0330 \cdot |r|^{1,0}},$$

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

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

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 ощутимом 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 выполнялся по формулам

$$v_p = C_{pv}^T (C_{vv} + D)^{-1} v_k, \quad m_{vp}^2 = C_v - C_{pv}^T (C_{vv} + D)^{-1} \hat{C}_{pv},$$

в которых C_{pv} — ковариационная матрица известных и искомых значений скоростей v ; C_{vv} — ковариационная матрица известных значений v_k ; D — дисперсионная матрица известных значений v_k ;

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

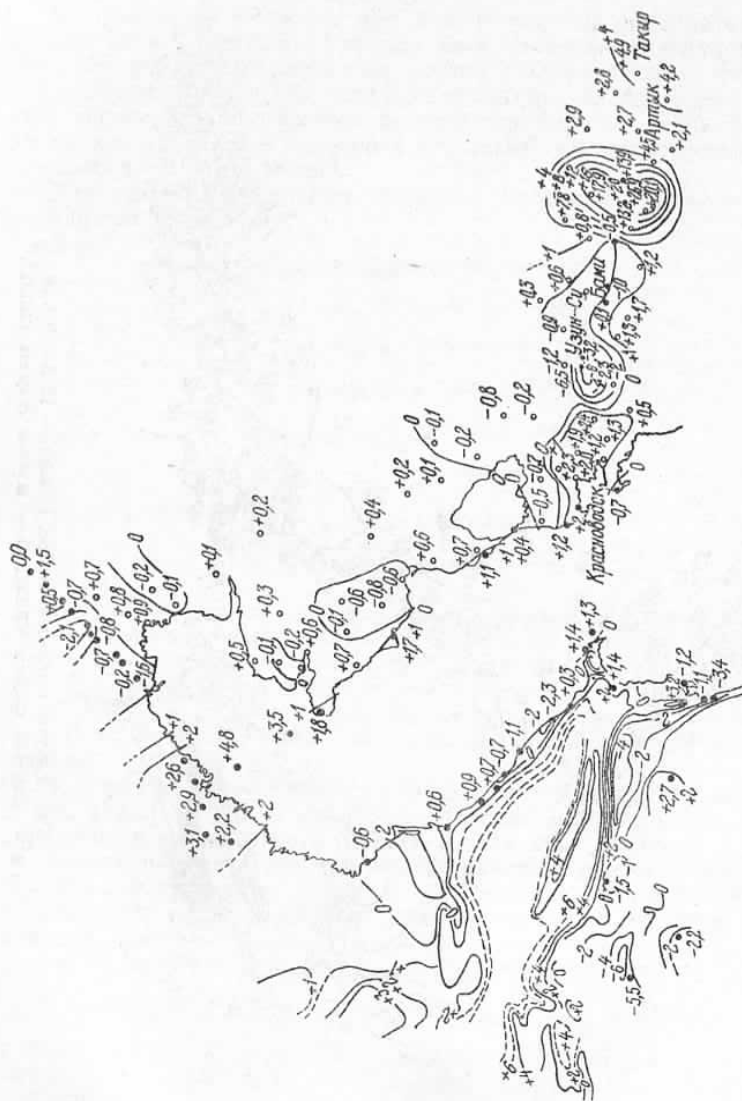


Рис. 4. Карта скоростей СВДЗК II эпохи — 1941—1958 гг.
(● — известные скорости СВДЗК, ○ — искомые скорости СВДЗК).

$v_{\text{н}}$ и $v_{\text{р}}$ — известные и прогнозируемые значения скоростей соответственно; $m_{\text{вр}}^2$ — дисперсии прогноза. Матрицы C_{vv} и C_{rv} составляются на основании ковариационной функции $C(r)$. Матрица D , характеризующая точность исходных скоростей, взята из [7].

Полученные таким образом скорости совместно с исходными значениями скоростей дали возможность построить изолинии равных 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 предкопетдагской 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 поля СВДЗК предкопетдагского 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 выявления по ним дифференциации движений во времени и пространстве.

Список литературы: 1. Гзовский М. В. Основы тектонофизики. — М.: Наука, 1975. — 576 с. 2. Гзовский 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.: ГУГК, 1973. 4. Матцкова 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. Матцкова 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. Матцкова В. А., Сидоров В. А. Некоторые вопросы составления карт современных вертикальных движений земной коры. — В кн.: Современные движения земной коры. Тарту, 1973, № 5, с. 58—65. 7. Мещерский И. Н. Многократные повторные нивелирования на трассе Красноводск—Чарджоу. — В кн.: Современные движения земной коры. М., 1968, № 4, с. 167—176. 8. Мещеряков Г. А., Скрыль 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. Сигалов В. М. Исследование вертикальных движений земной коры в Северном Тянь-Шане. — Геодезия и картография, 1979, № 1, с. 23—30. 10. Сухаренко Н. И., Никонов А. А. Дифференциация современных вертикальных движений на побережье Каспийского моря (по уровнемерным данным). — В кн.: Современные движения земной коры. Тез. докл. VIII Всесоюз. совещ. по изучению современных движений земной коры. Кишинев, 1982, с. 118—119.

Статья поступила в редколлегию 29.12.84