

## Упругое равновесие полуплоскости с прямолинейной дислокацией типа Сомилианы

**Аннотация.** Дано замкнутое решение задачи теории упругости о равновесии полуплоскости, в которой образована прямолинейная дислокация сдвига. Предполагается, что ядро дислокации лежит внутри области, а линия сдвига пересекает границу полуплоскости. Обсуждается вопрос о применимости полученного решения к оценке напряженного состояния земной коры в окрестности дизъюнктивных дислокаций.

**Ключевые слова:** упругое равновесие, плоская задача, полуплоскость, дислокация Сомилианы, тектонические напряжения.

### Введение.

Пусть вдоль кривой  $L$  в упругой плоскости произведен разрыв. Края разрыва могут быть раздвинуты и в полученную щель внедрен материал, или, наоборот, с краев щели можно срезать часть материала и берега такой щели склеить, предварительно стиснув и сдвинув их друг относительно друга. Полученные на  $L$  скачки перемещений можно задать в виде

$$g(l) = g_1(l) + ig_2(l), \quad (i = \sqrt{-1}), \quad (1)$$

где  $l$  - длина дуги кривой  $L$ , отсчитываемая от начальной точки до рассматриваемой,

$$g_1(l) = u_1^+(l) - u_1^-(l), \quad g_2(l) = v_1^+(l) - v_1^-(l), \quad (2)$$

причем  $u_1^\pm$  и  $v_1^\pm$  - пределы компонент смещений  $u_1$  и  $v_1$  вдоль произвольных ортогональных осей  $O_1x_1$  и  $O_1y_1$  слева (+) и справа (-) при движении вдоль линии  $L$  от ее начала.

Разрывная деформация, определяемая формулами (1)–(2), называется [1,2] плоской дислокацией Сомилианы.

## Основная часть.

**1. Постановка задачи.** Положим, что  $L$  – луч  $O_1y_1$ , исходящий из точки  $O_1$  (рис. 1,а), расположенной на расстоянии  $H$  от границы полуплоскости и составляющий угол  $\alpha$  с положительным направлением оси  $Oy$ . Кроме того, выполнены условия

$$-\frac{\pi}{2} < \alpha < \frac{\pi}{2}; \quad (3)$$
$$u_1^+ = v_1^+ = u_1^- = 0, \quad v_1^- = \beta, \quad (\beta - \text{const}).$$

Ставится задача: найти упругое равновесие полуплоскости  $y \leq 0$ , (рис. 1,а) при условиях (3).

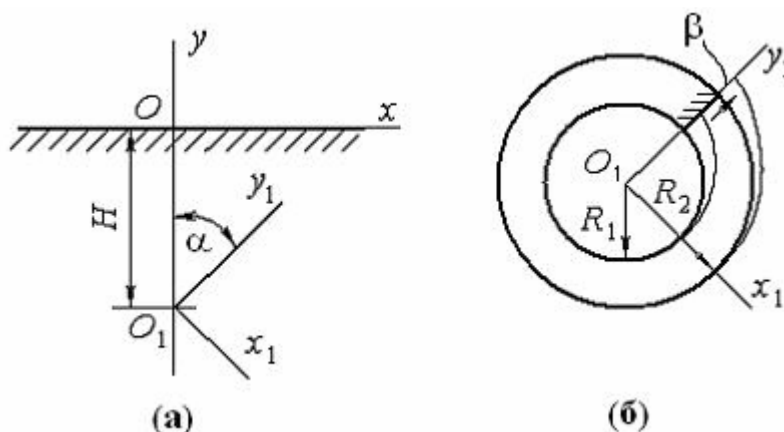


Рис. 1. Дислокация Соммилианы в полуплоскости (а) и в кольцевой области (б).

**2. Функции Мусхелишвили для бесконечной плоскости с внедренной дислокацией.** Воспользуемся решением задачи для кругового кольца с внутренним радиусом  $R_1$  и наружным радиусом  $R_2$ , (рис. 1,б), в котором произведен разрез по оси  $O_1y_1$  и правый край разреза сдвинут относительно левого закрепленного края на величину  $\beta$  в направлении, указанном на рис. 1,б стрелкой. После выполнения сдвига края разреза спаяны, и левый край освобожден от закрепления.

Функции Мусхелишвили для указанного кольца даются [3] формулами<sup>1</sup>

$$\begin{aligned}\Phi(z_1) &= -\frac{\beta\mu(\lambda + \mu)}{2\pi(\lambda + 2\mu)} \left[ \frac{2z_1}{R_1^2 + R_2^2} - \frac{1}{z_1} \right], \\ \Psi(z_1) &= \frac{\beta\mu(\lambda + \mu)}{2\pi(\lambda + 2\mu)} \left[ \frac{1}{z_1} + \frac{2R_1^2 R_2^2}{R_1^2 + R_2^2} \cdot \frac{1}{z_1^3} \right], \\ &(z_1 = x_1 + iy_1),\end{aligned}\quad (4)$$

где обозначено<sup>2</sup>

$$\lambda = \frac{E\nu}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}, \quad \mu = \frac{E}{2(1 + \nu)};$$

здесь  $E$  – модуль Юнга, а  $\nu$  – коэффициент Пуассона.

Выполняя в формулах (4) предельные переходы при  $R_1 \rightarrow 0, R_2 \rightarrow \infty$ , получим функции Мусхелишвили для бесконечной плоскости с внедренной по оси  $O_1y_1$ , (рис. 1,б) дислокацией:

$$\Phi_1(z_1) = \Psi_1(z_1) = \frac{k}{z_1}, \quad (5)$$

где для краткости введено обозначение

$$k = \frac{\beta\mu(\lambda + \mu)}{2\pi(\lambda + 2\mu)}. \quad (6)$$

Используя известные [3] формулы преобразования функций Мусхелишвили при замене прямоугольных координатных осей, запишем функции (5) в осях  $xOy$  (рис. 1,а). Для этого совершим вначале поворот осей  $x_1O_1y_1$  на угол  $\alpha$  так, чтобы новая ось ординат приняла вертикальное положение и была направлена снизу вверх. Затем осуществим параллельный перенос осей на величину  $H$  (рис. 1,а) вертикально вверх. В результате для бесконечной плоскости с дислокацией получим:

$$\Phi_2(z) = \frac{k}{(z + iH)e^{i\alpha}}, \quad \Psi_2(z) = \frac{k[(z + 2iH)\cos\alpha + iz\sin\alpha]}{(z + iH)^2}, \quad (z = x + iy). \quad (7)$$

<sup>1</sup> В пятом издании монографии [3] формула для функции  $\Psi(z_1)$  содержит досадные опечатки.

<sup>2</sup> Рассматривается плоская деформация.

### 3. Функции Мусхелишвили для полуплоскости с дислокацией.

Компоненты напряжений, соответствующие функциям (7), условимся обозначать  $\tilde{X}_x, \tilde{Y}_y$  и  $\tilde{X}_y$ . Они связаны с функциями (7) зависимостями [3]:

$$\tilde{Y}_y + \tilde{X}_x = 2[\Phi_2(z) + \overline{\Phi_2(z)}], \quad \tilde{Y}_y - \tilde{X}_x + 2i\tilde{X}_y = 2[z\Phi_2'(z) + \Psi_2(z)], \quad (8)$$

где чертой сверху отмечаются комплексно сопряженные величины, а штрих означает операцию дифференцирования по аргументу  $z$ . Из формул (7)–(8) получим поле напряжений в бесконечной плоскости с прямолинейной дислокацией типа Сомилианы с ядром в точке  $O_1$  и линией  $L$ , совпадающей с лучом  $O_1y_1$ :

$$\begin{aligned} \tilde{X}_x &= \frac{k[x \cos \alpha - 3(y+H) \sin \alpha]}{x^2 + (y+H)^2} + k \cdot \frac{[x^2 + 3(y+H)^2]x \cos \alpha - [3x^2 - (y+H)^2](y+H) \sin \alpha}{[x^2 + (y+H)^2]^2}, \\ \tilde{Y}_y &= \frac{k[3x \cos \alpha - (y+H) \sin \alpha]}{x^2 + (y+H)^2} + k \cdot \frac{[3(y+H)^2 - x^2]x \cos \alpha + [3x^2 - (y+H)^2](y+H) \sin \alpha}{[x^2 + (y+H)^2]^2}, \\ \tilde{X}_y &= \frac{k[x \sin \alpha - (y+H) \cos \alpha]}{x^2 + (y+H)^2} + k \cdot \frac{[3x^2 - (y+H)^2](y+H) \cos \alpha + [x^2 - 3(y+H)^2]x \sin \alpha}{[x^2 + (y+H)^2]^2}, \end{aligned} \quad (9)$$

где параметр  $k$  по-прежнему определяется формулой (6).

Приложим теперь по оси  $x$  нормальные ( $N(x)$ ) и касательные ( $T(x)$ ) нагрузки, равные по величине соответственно нормальным  $\tilde{Y}_y$  и касательным  $\tilde{X}_y$  напряжениям на оси  $x$ , взятым с противоположными знаками. Полагая во второй и третьей из формул (9)  $y=0$  и изменяя знаки, получим:

$$\begin{aligned} N(x) &= k \cdot \frac{H \sin \alpha - 3x \cos \alpha}{x^2 + H^2} - k \cdot \frac{(3H^2 - x^2)x \cos \alpha + (3x^2 - H^2)H \sin \alpha}{(x^2 + H^2)^2}, \\ T(x) &= k \cdot \frac{H \cos \alpha - x \sin \alpha}{x^2 + H^2} - k \cdot \frac{(3x^2 - H^2)H \cos \alpha + (x^2 - 3H^2)x \sin \alpha}{(x^2 + H^2)^2}. \end{aligned} \quad (10)$$

Следуя Л.А. Галину [4], обозначим:

$$\omega_1(z) = \frac{1}{2\pi i} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{N(\zeta) d\zeta}{\zeta - z}, \quad \omega_2(z) = \frac{1}{2\pi i} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{T(\zeta) d\zeta}{\zeta - z}, \quad (z \in S^-), \quad (11)$$

где  $S^-$  означает область, расположенную ниже оси  $x$ , для всех точек которой  $y < 0$ .

Функции Мусхелишвили ( $\Phi_3(z), \Psi_3(z)$ ) для полуплоскости, нагруженной на границе  $y=0$  усилиями (10) выражаются [3] через функции Галина (11) по формулам:

$$\Phi_3(z) = -\omega_1(z) + i\omega_2(z), \quad \Psi_3(z) = -2i\omega_2(z) + z[\omega_1'(z) - i\omega_2'(z)]. \quad (12)$$

#### 4. Вычисление интегралов, представляющих функции Галина.

Анализируя формулы (10) легко убедиться в том, что в интегралах типа Коши (11) функции  $N(z)$  и  $T(z)$  голоморфны всюду в  $S^-$  за исключением точки  $z = -iH$ , в которой они имеют как простой, так и двукратный полюс.

Рассмотрим, например, вычисление интеграла в первой из формул (11). Проведем в нижней полуплоскости  $y \leq 0$  дугу полуокружности с центром в начале координат и радиусом  $R > H$ , (рис. 2). Будем вычислять интеграл

$$F(z) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{N(\zeta) d\zeta}{\zeta - z}, \quad (13)$$

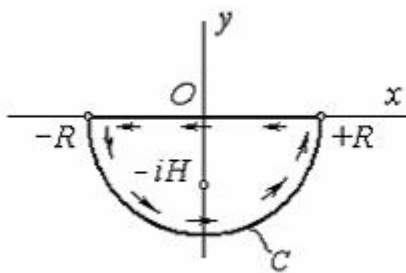


Рис. 2. Контур интегрирования.

где  $\Gamma$  – замкнутый контур, состоящий из отрезка оси абсцисс  $[-R; +R]$  и дуги полуокружности  $C$ , (рис. 2). Контур  $\Gamma$  будем обходить в положительном направлении так, чтобы ограниченная им часть области

$S^-$  при обходе  $\Gamma$  была расположена все время слева. На рис. 2 направление обхода  $\Gamma$  показано стрелками.

В силу аддитивности интеграла представим формулу (13) в виде:

$$F(z) = -\frac{1}{2\pi i} \int_{-R}^{+R} \frac{N(\zeta) d\zeta}{\zeta - z} + \frac{1}{2\pi i} \int_C \frac{N(\zeta) d\zeta}{\zeta - z}. \quad (14)$$

С другой стороны, по теореме вычетов [5]

$$F(z) = \sum \text{res } N(a_i), \quad (15)$$

где в правой части равенства символически записана сумма вычетов функции  $N(z)$  во всех особых точках  $a_i$  области, ограниченной контуром  $\Gamma$ .

Приравнявая правые части равенств (14) и (15), получим:

$$\frac{1}{2\pi i} \int_{-R}^{+R} \frac{N(\zeta) d\zeta}{\zeta - z} = \frac{1}{2\pi i} \int_C \frac{N(\zeta) d\zeta}{\zeta - z} - \sum \text{res } N(a_i). \quad (16)$$

Используя первую из формул (10) легко убедиться в том, что при  $R \rightarrow \infty$  интеграл в правой части формулы (16) стремится к нулю. Тогда, совершая указанный предельный переход в формуле (16), с учетом обозначений (11) получим:

$$\omega_1(z) = -\sum \text{res } N(a_i). \quad (17)$$

Из формулы (17) после подсчета и суммирования вычетов получим:

$$\omega_1(z) = k \cdot \frac{(z - 2iH) \cos \alpha + H \sin \alpha}{(z - iH)^2}. \quad (18)$$

Аналогично найдем:

$$\omega_2(z) = k \cdot \frac{H \cos \alpha + z \sin \alpha}{(z - iH)^2}. \quad (19)$$

**5. Завершение решения задачи.** Подстановка найденных функций (18)–(19) и соответствующих производных в формулы (12) дает функции Мусхелишвили для полуплоскости, на границе которой приложены распределенные нагрузки (10):

$$\begin{aligned} \Phi_3(z) &= k \cdot \frac{(3iH - z) \cos \alpha + i(z + iH) \sin \alpha}{(z - iH)^2}, \\ \Psi_3(z) &= k \cdot \frac{(3iHz - 2H^2 - z^2) \cos \alpha - (iz^2 + 5Hz) \sin \alpha}{(z - iH)^3}. \end{aligned} \quad (20)$$

Компоненты напряжений, соответствующих этим функциям, условимся снабжать верхним индексом «0». Используя формулы типа (8) и зависимости (20) найдем:

$$\begin{aligned} X_x^0 &= \frac{2k \{ 2x(y - H) [(4H - y) \cos \alpha + 2x \sin \alpha] - [x^2 - (y - H)^2] [x \cos \alpha + (H + 2y) \sin \alpha] \}}{[x^2 + (y - H)^2]^2} - \\ &- \frac{2ky \{ x [3(y - H)^2 - x^2] [(5H - y) \cos \alpha + x \sin \alpha] + (y + H) [(y - H)^2 - 3x^2] [x \cos \alpha + (y + H) \sin \alpha] \}}{[x^2 + (y - H)^2]^3}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Y_y^0 = & -\frac{2k\left\{x\cos\alpha + H\sin\alpha\right\}\left[x^2 - (y-H)^2\right] + 2x(y-H)(y-2H)\cos\alpha}{\left[x^2 + (y-H)^2\right]^2} + \\
& + \frac{2ky\left\{x\left[3(y-H)^2 - x^2\right]\left[(5H-y)\cos\alpha + x\sin\alpha\right] + (y+H)\left[(y-H)^2 - 3x^2\right]\left[(y+H)\sin\alpha + x\cos\alpha\right]\right\}}{\left[x^2 + (y-H)^2\right]^3}, \quad (21) \\
X_y^0 = & -\frac{2k\left\{H\cos\alpha + x\sin\alpha\right\}\left[x^2 - (y-H)^2\right] + 2xy(y-H)\sin\alpha}{\left[x^2 + (y-H)^2\right]^2} - \\
& - \frac{2ky(y-H)\left[(y-H)^2 - 3x^2\right]\left[x\sin\alpha + (5H-y)\cos\alpha\right] + x\left[x^2 - 3(y-H)^2\right]\left[x\cos\alpha + (3H+y)\sin\alpha\right]}{\left[x^2 + (y-H)^2\right]^3}.
\end{aligned}$$

Суммированием соответствующих компонент напряжений в формулах (9) и (21) получаем решение поставленной задачи:

$$X_x = \tilde{X}_x + X_x^0; \quad Y_y = \tilde{Y}_y + Y_y^0; \quad X_y = \tilde{X}_y + X_y^0. \quad (22)$$

На рис. 3 изображены эпюры максимальных ( $\sigma_{\max}$ ) и минимальных ( $\sigma_{\min}$ ) (в плоскости  $xOy$  (рис. 1,а) ) нормальных напряжений, рассчитанных по формулам

$$\sigma_{\max/\min} = \frac{X_x + Y_y}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(X_x - Y_y)^2 + 4X_y^2},$$

а также эпюры нормального напряжения ( $\sigma_z$ ), перпендикулярного плоскости  $xOy$

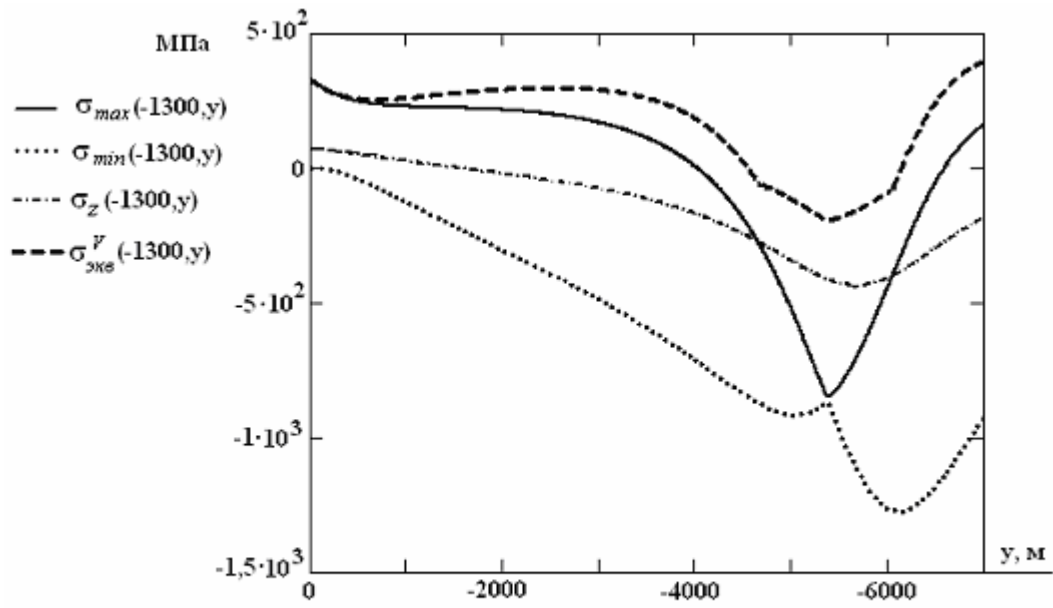
$$\sigma_z = \nu(X_x + Y_y),$$

причем компоненты  $X_x, Y_y, X_y$  определены формулами (22), (9) и (21).

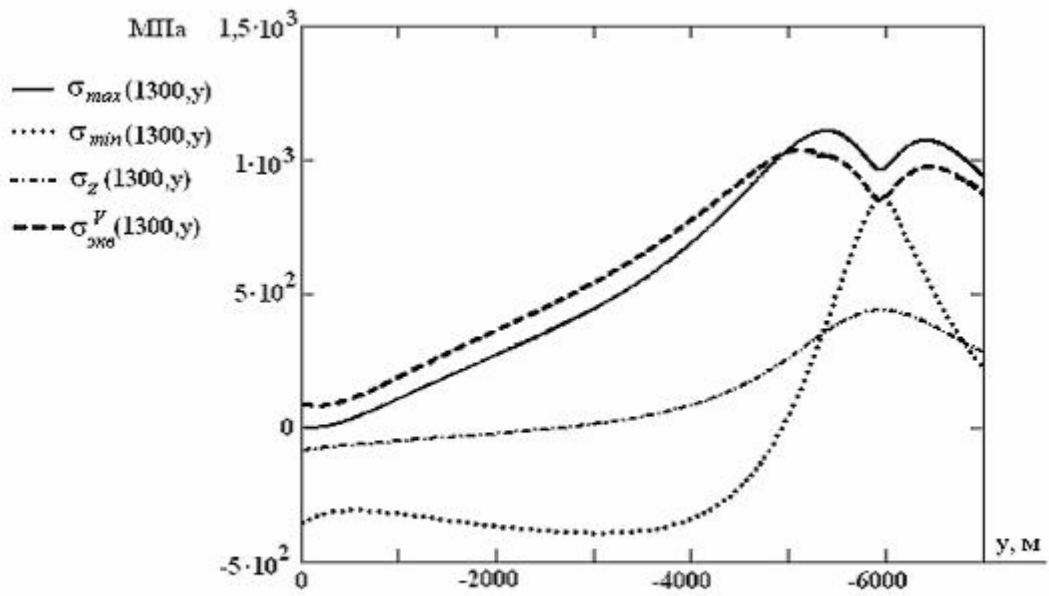
На рис. 3 построены также эпюры эквивалентных напряжений ( $\sigma_{\text{ЭКВ}}^V$ ) по пятой теории прочности (Мора):

$$\sigma_{\text{ЭКВ}}^V = \sigma_1 - m\sigma_3,$$

где  $m$  – отношение пределов прочности при растяжении и сжатии, а  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$  – соответственно алгебраически большее и меньшее главное напряжение.



(а)



(б)

Рис. 3. Эпюры напряжений на вертикали слева (а) и справа (б) от ядра дислокации.



При этом фиксированные значения абсциссы  $x$  выбирались так, чтобы вертикаль  $x = const$  целиком располагалась слева (рис. 3,а) или справа (рис. 3,б) от линии разрыва перемещений. При построении эпюр принято:  $E = 2,1 \cdot 10^4$  МПа,  $\nu = 0,24$ ,  $H = 5800$  м,  $\beta = 700$  м,  $m = 0,25$ ,  $\alpha = \pi/15$ .

Отметим следующие особенности распределения напряжений в окрестности ядра дислокации. Слева от линии разрыва (рис. 3,а) всюду  $\sigma_1 = \sigma_{\max}$ , за исключением некоторой окрестности ядра дислокации, в которой  $\sigma_1 = \sigma_z$ . Аналогично справа от линии разрыва (рис. 3,б)  $\sigma_3 = \sigma_{\min}$  всюду, за исключением некоторой окрестности ядра, где  $\sigma_3 = \sigma_z$ .

**6. О применимости полученных результатов к оценке тектонических напряжений.** Известно [6], что одним из проявлений геодинамических процессов в земной коре является образование разрывных нарушений, называемых дизъюнктивными дислокациями. Схематически такая дислокация показана на рис. 4, где цифрами 1 и 2 обозначены соответственно неподвижный

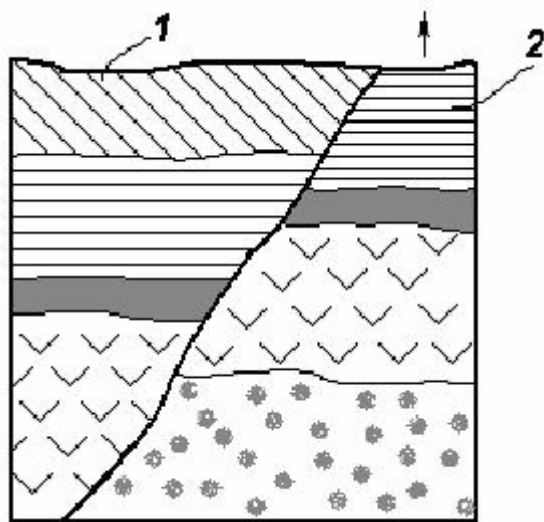


Рис. 4. Схема образования дислокации взброса.

и переместившийся блоки земной коры. Такого рода разлом в геологии называется [6] взбросом. Стрелка на рис. 4 указывает направление смещения блока 2. Напряжения, обусловленные движением земной коры, принято называть [6] тектоническими.

Если массив горных пород в окрестности дислокации принять однородным, изотропным и идеально упругим, то, очевидно, поставленная в

п. 1 задача служит почти адекватной математической моделью горного массива с дислокацией взброса. При иных условиях ответ на вопрос о применимости найденного решения (22) к оценке тектонических напряжений в окрестности

взброса может быть получен только путем сопоставления результатов натуральных и численных экспериментов.

Для того чтобы выполнить указанное сопоставление, воспользуемся сведениями, изложенными в коллективном труде [7]. На рис. 5 схематически изображен заимствованный из [7] разрез верхней части земной коры в зоне сурьмяного рудника «Кадамжай». На станциях измерений, отмеченных на схеме, сотрудниками ВНИМИ (С.-Пб.) и ИФМГП (Бишкек) были проведены опытные работы по исследованию напряженного состояния горных пород, вмещающих разлом, «залечивание» которого привело к образованию рудной залежи. В цитируемой работе оказались практически все сведения,

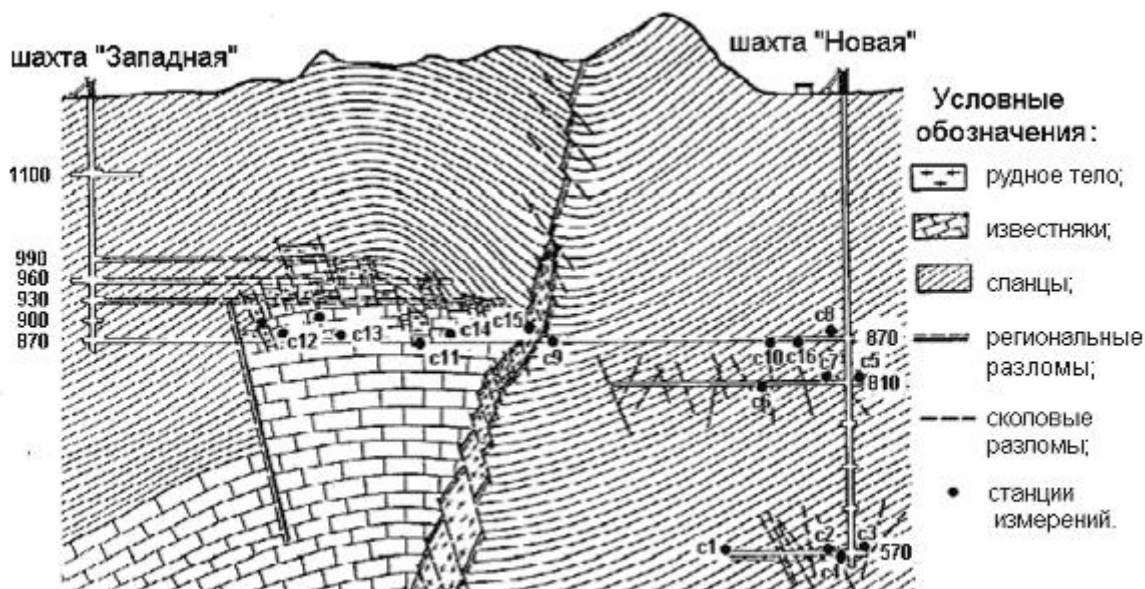


Рис. 5. Геологическая схема района рудника «Кадамжай» с изображением мест расположения станций измерения напряжений на различных высотных отметках над уровнем моря.

необходимые для выполнения расчетов, основанных на формулах (22). Эти сведения частично уже даны выше (модуль Юнга  $E$  и коэффициент Пуассона  $\nu$  сланцев, высота взброса  $\beta$  и др.) и использованы при построении эпюр напряжений (рис. 3). Другая их часть, а также опытные и расчетные значения максимальных тектонических напряжений приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Максимальные тектонические напряжения в окрестности рудника  
«Кадамжай» (Центрально-Азиатский регион).

Участок, горизонт	Глубина от дневной поверхности, м	Расстояние до разлома по горизонтали, м	Максимальное нормальное тектоническое напряжение, МПа	
			измеренное	расчетное
1	2	3	4	5
Горизонт 960 м	240	200	11,3	7,9
Северный штрек, горизонт 930 м	330	25	17,1	14,2
Южный штрек, горизонт 930 м	380	10	22,0	20,0
Ствол шахты «Новая»	425	700	7,8	11,1

Как видно из столбцов 4 и 5 табл.1, совпадение расчетных и опытных значений максимальных тектонических напряжений вполне приемлемое. Кроме численных значений имеет место также приемлемое совпадение направлений этих напряжений. Так, произведя несложные вычисления, можно найти, что, например, на горизонте 930 м в южном штреке напряжение  $\sigma_{\max}$  имеет азимут  $163^\circ$ , тогда как опытное значение этого азимута составляет  $156^\circ$ , ([7], с. 265).

### Основные результаты .

Основными результатами настоящей работы являются:

а) получено замкнутое решение задачи упругого равновесия полуплоскости с внедренной в нее прямолинейной дислокацией типа Сомилианы, выходящей на границу области;

б) решение представлено трансцендентными функциями приемлемой компактности;

в) указана одна из возможных областей приложения полученного решения.

## **Выводы.**

На основании сопоставления значений максимальных тектонических напряжений, найденных расчетным путем (табл. 1, столбец 5), с результатами натурных экспериментов [7] можно сделать следующие выводы.

1. Поставленная в статье задача может быть использована в качестве математической модели при оценке (в первом приближении) напряжений в окрестности определенных разновидностей тектонических разломов земной коры.

2. При использовании аналитического решения рассмотренной задачи во многих случаях может отпасть необходимость в дорогостоящих и трудоемких исследованиях напряженно-деформированного состояния горных пород методом разгрузки [7] или иными инструментальными методами.

## **Библиографический список.**

1. Эшелби Дж. Континуальная теория дислокаций. М.:ИЛ, 1963. 221 с.
2. Екобори Т. Физика и механика разрушения и прочности твердых тел. М.: Металлургия, 1971. 264 с.
3. Мусхелишвили Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. М.: Наука, 1966. 708 с.
4. Галин Л.А. Контактные задачи теории упругости и вязкоупругости. М.: Наука, 1980. 304 с.
5. Смирнов В.И. Курс высшей математики: учеб. для вузов. Т.3, ч. 2. М.: Наука, 1974. 672 с.
6. Хаин В.Е., Ломизе М.Г. Геотектоника с основами геодинамики: учеб. для вузов. 3-е изд. М.: Книжный дом «Университет» (КДУ), 2010. 560 с.
7. Современная геодинамика областей внутриконтинентального коллизионного горообразования (Центральная Азия). Ред. Лавёров Н.П. М.: Научный мир, 2005. 400 с.

**V.Ya. Molotnikov, A.A. Molotnikova**

**ELASTIC BALANCE OF A HALF-PLANE WITH STRAIGHT-LINE  
SOMILIAN DISLOCATION**

**Abstract.**

In the present article plane elasticity problem about a half-plane with Somilian dislocation is solved. The solution of the task is the theoretical analysis of stress. All the necessary formulas for numerical calculations are given in full. All formulas are demonstrated to work in agreement with the experience of determination of tectonic stress which occurs near openings due to crustal movements.

**Key words:** elastic balance state, plane elasticity, half-plane, Somilian dislocation, tectonic stress.

**Сведения об авторах.**

**Молотников Валентин Яковлевич** (р. 1942). Профессор кафедры сопротивления материалов Донского государственного технического университета. Доктор сельскохозяйственных наук (1994), профессор (1995). Окончил механико-машиностроительный факультет Фрунзенского политехнического института (1969).

**Область научных интересов:** механика твердого тела, горная геомеханика  
Имеет 2 патента на изобретения.

**Автор** 115 публикаций.

**Email:** riatm@aaanet.ru

**Тел. 8-919-894-99-20**

**Молотникова Антонина Александровна** (р. 1947). Заведующая кафедрой математики и информатики Ростовского филиала Южно-Российского государственного университета экономики и сервиса. Доктор технических наук (1990), профессор (1991). Окончила физический факультет Киргизского государственного университета (1970).

**Область научных интересов:** автоматизированные системы управления технологическими процессами, механика сплошных сред, прикладная математика.

Имеет 2 патента на изобретения.

**Автор** 175 публикаций.

**Email:** [rostinserv@aaanet.ru](mailto:rostinserv@aaanet.ru)

**Тел. 8-919-894-99-21**

### **Authors**

**Valentin Ya. Molotnikov** (1942) Professor of the Resistance of Materials chair, Don State Technical University. Ph.D. in Agriculture Sciences (1994), professor (1995). Graduated from Mechanics and Engineering faculty of the Frunze Polytechnic Institute (1969).

**Research interests:** Mechanics of solids, mining geomechanics.

Author of 115 scientific publications and 2 patents.

**Email:** [riatm@aaanet.ru](mailto:riatm@aaanet.ru)

**Tel. 8-919-894-99-20**

**Antonina A. Molotnikova** (1947). Head of the department of Mathematics and Computer Science of the Rostov branch of the Southern Russian State University of Service and Economics. Ph.D. in Technical Sciences (1990), professor (1991), Graduated from Physics faculty of Kyrgyzstan State University (1970).

**Research interests:** automated controlling systems for technological processes, mechanics of continua, applied mathematics.

Author of 175 scientific publications and 2 patents.

**Email:** [rostinserv@aaanet.ru](mailto:rostinserv@aaanet.ru)

**Tel. 8-919-894-99-21**