

В. И. ГРОМИН

КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИИ СЛОИСТЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ТЕЛ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ ПОЛОС ИЗЛОМА

(Представлено академиком Ю. А. Косыгиным 25 II 1975)

Известны различные способы количественного определения в полевых условиях деформаций геологических тел: исследование формы включений — оолитов, конкреций, галек, органических остатков и др. (^{3, 6}), «растаченности» будин (^{1, 2}) и т. д. В основе всех способов лежат три предположения: 1) первоначальная форма и размеры деформированных объектов известны; 2) объем тел при деформации не изменяется; 3) объекты, рассматриваемые как индикаторы деформации, в момент деформирования были жестко связаны с вмещающей средой и обладали одинаковыми со средой деформационными свойствами. Однако перечисленные способы неприменимы к тем толщам, которые не содержат упомянутых индикаторов деформации. Кроме того, в ряде случаев указанные предположения оказываются слабо обоснованными, что затрудняет оценку ошибок определения деформации горных пород.

В данной статье предлагается способ определения величины деформации, не требующий учета второго и третьего предположений и применимый к любым слоистым геологическим телам, содержащим специфические образования — полосы излома. Эти структурные формы в иностранной литературе известны под названием *kink bands* (⁶). Возникновение полос излома связано с формированием малых складок излома, характеризующихся прямолинейными крыльями. Деформация толщи происходит за счет поворота крыльев складок внутри полосы излома. В результате области, которые располагаются внутри полосы излома, подвергаются деформации сдвига, а участки вне полосы излома смещаются один относительно другого, не деформируясь или претерпевая незначительную деформацию сдвига за счет слабого изменения наклона слоев (^{4, 5}). На границах таких участков происходит резкое изменение степени деформированности материала. Указанный процесс характеризуется сохранением прямолинейности и сплошности слоев, что позволяет использовать полосы излома в качестве достаточно точных индикаторов деформации слоистых геологических тел.

Установлено, что полосы излома образуются при сжатии слоистых толщ параллельно слоистости или под небольшим, обычно не более 15° , углом к ней (⁴). В направлениях, близких к ориентировке сжатия, происходит сокращение размеров деформируемого тела, которое может быть определено по измерениям полос излома. Рассмотрим общий случай определения такого изменения размеров в произвольном направлении XX' , которое образует со слоистостью вне полосы излома угол α (рис. 1, I), а внутри этой полосы — угол β (рис. 1, II). Данное направление, в частности, может совпадать с главным нормальным напряжением, вызывающим максимальное сжатие тела. Выберем на одной из границ между слоями отрезок AD и примем, что он соответствует диагонали в некотором образце слоистой толщи, имеющем в плоском срезе прямоугольную форму (показано точками на рис. 1, I). Обозначим через l_0 первоначальную длину образца, равную ортогональной проекции AD на выбранное нами направление XX' ,

через l_f — его длину после деформации, соответствующую ортогональной проекции $A'D'$ на то же направление. Допустим, что $AB=A'B'$, $BC=B'C'$, $CD=C'D'$. Тогда абсолютное изменение размеров образца в направлении XX' , которое назовем абсолютной продольной деформацией, определится как $\Delta l_1 = l_0 - l_f = KL$ (рис. 1, III), а соответствующее относительное изменение размеров, которое будем называть относительной продольной дефор-

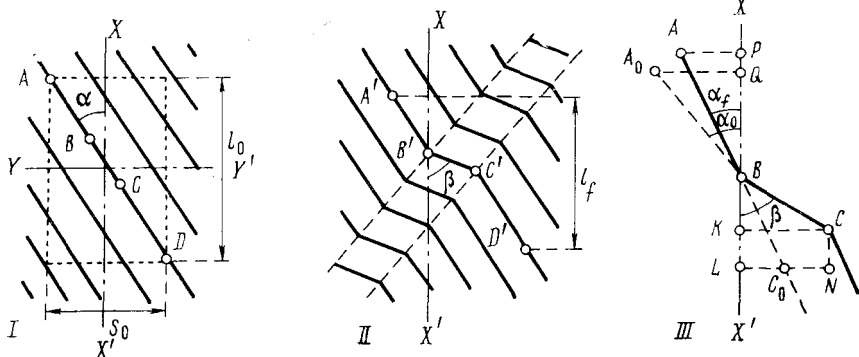


Рис. 1. Схемы для расчетов деформации. Сплошные линии — слоистость, наклонные штриховые (см. II) — полоса излома. Остальные пояснения в тексте

мадией $\varepsilon_l = \Delta l_l / l_0$ при условии, что $\alpha = \text{const}$. Принимая отрезок границы слоев внутри полосы излома BC равным a , $AB + CD = b$ и учитывая, что $KL = BL - BK$, $BC = BC_0$ и $l_0 = (a + b) \cos \alpha$, получим

$$\Delta l_1 = a(\cos \alpha - \cos \beta), \quad (1)$$

$$\varepsilon_l = \frac{a(\cos \alpha - \cos \beta)}{(a+b) \cos \alpha}. \quad (2)$$

Формулы (1) и (2) справедливы для любых значений α и β . Если направление XX' пересекает несколько полос излома, то общая продольная деформация, очевидно, равна сумме частных деформаций, определенных при помощи измерения отдельных полос излома. Необходимо отметить, что величины α , β , a , b могут быть измерены непосредственно на обнажении или на соответствующей фотографии.

Приведенные формулы основаны на предположении о неизменности угла α в процессе деформации. Если α изменяется по мере деформирования слоистой толщи, то общая абсолютная продольная деформация рассматриваемого образца будет, очевидно, алгебраической суммой трех слагаемых, из которых первое нами уже рассмотрено (формула (1)), а остальные два определяются длиной отрезков слоев вне полосы излома и степенью изменения α .

Обозначим исходное значение угла между слоистостью и направлением XX' через α_0 , а его конечное значение через α_f (рис. 1, III). Принимая, что $\alpha_0 > \alpha_f$, и учитывая равенство $A_0B = AB = c$, получим формулу для определения второго слагаемого Δl_2 , равного PQ :

$$\Delta l_2 = BP - BQ = c(\cos \alpha_f - \cos \alpha_0). \quad (3)$$

Таким же образом находится третье слагаемое, зависящее от величины отрезка $CD=d$:

$$\Delta l_3 = d(\cos \alpha_i - \cos \alpha_0). \quad (4)$$

Из рис. 1, III видно, что общая абсолютная продольная деформация $\Delta l_{\text{общ}} = \Delta l_1 - (\Delta l_2 + \Delta l_3)$, или

$$\Delta l_{\text{обш}} = a(\cos \alpha_f - \cos \beta) - b(\cos \alpha_f - \cos \alpha_0). \quad (5)$$

Общая относительная продольная деформация $\varepsilon_{\text{общ}}$ выразится следующим образом:

$$\varepsilon_{\text{общ}} = \frac{\Delta l_{\text{общ}}}{l_0} = \frac{a(\cos \alpha_f - \cos \beta) - b(\cos \alpha_f - \cos \alpha_0)}{(a+b)\cos \alpha_0} \quad (6)$$

Соответствующие формулы для $\alpha_0 < \alpha_f$ не приводим, так как есть данные, что угол α или сохраняется постоянным в процессе деформации, или незначительно уменьшается (^{4, 5}). Поэтому при оценке возможной ошибки определения деформации по измерениям полос излома будем считать, что $\alpha_0 > \alpha_f$. Формула (2), очевидно, завышает величину деформации по сравнению с формулой (6). Следовательно, ошибка определения относительной продольной деформации $\Delta \varepsilon_l$ определится как разность $\Delta \varepsilon_l = \varepsilon_l - \varepsilon_{\text{общ}}$, или

$$\Delta \varepsilon_l = \frac{(\cos \alpha_f - \cos \alpha_0) [b \cos \alpha_f - a(\cos \alpha_f - \cos \beta)]}{(a+b)\cos \alpha_0 \cos \alpha_f} \quad (7)$$

Наиболее благоприятным условием для образования полос излома является такое значение α_0 , которое отвечает неравенству $0^\circ < \alpha_0 \leq 15^\circ$ (⁴). Известно также, что разница между α_0 и α_f обычно не превышает нескольких градусов (⁴). Среди всех значений α_0 и α_f выберем такие, которые обусловили бы максимальную для всего диапазона оптимальных условий ошибку определения величины продольной деформации, т. е. будем считать, что $\alpha_0 = 15^\circ$, $\alpha_f = 0^\circ$. Подставляя эти значения в формулу (7), получим

$$\Delta \varepsilon_l \approx 0,035 \frac{b - a(1 - \cos \beta)}{b + a} \quad (8)$$

Значение $\Delta \varepsilon_l$ будет большим, если a существенно меньше b и β близко к 0° , что соответствует незначительной деформации. Правый множитель формулы (8), очевидно, не может быть больше 1. Поэтому для указанных выше условий ошибка определения деформации по формуле (2) не превышает 3,5%. В конкретном случае ошибка вычисляется по формуле (8) путем подстановки в нее измеренных на обнажении величин a , b , β . По мере увеличения деформации отношение b/a уменьшается, угол β увеличивается, что приводит к уменьшению ошибки. Например, при $b/a = 2$ и $\beta = 60^\circ$ ошибка измерения составит около 1,7%.

Обычно исследуется деформация в направлении максимального сжатия. Если оно ориентировано параллельно слоистости или под малым углом к ней, то образуются сопряженные полосы излома (^{4, 5}). Поэтому ошибка определения деформации в направлении максимального сжатия в толщах, в которых развиты сопряженные полосы излома, будет незначительной.

Рассмотренный метод применим также и для определения изменения размеров геологического тела в направлении YY' , перпендикулярном к XX' (см. рис. 1, I). Максимальное абсолютное изменение поперечных размеров тела в ортогональной проекции на YY' определяется по формуле

$$\Delta S = a(\sin \beta - \sin \alpha_f),$$

где $\Delta S = C_0 N = LN - LC_0$.

Институт геологии и геофизики
Сибирского отделения Академии наук СССР
Новосибирск

Поступило
6 II 1975

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Е. И. Паталаха, В кн.: Тектоника и динамометаморфизм палеозоя Казахстана, Алма-Ата, «Наука», 1967, стр. 48. ² Г. В. Тозгуев, Структуры будинаж и их роль в локализации оруденения (на примере Украинского щита и некоторых других регионов), Киев, «Наукова думка», 1967, стр. 215. ³ E. Cloos, Bull. Geol. Soc. Am., v. 58, № 9, 843 (1947). ⁴ N. C. Gay, L. E. Weiss, Tectonophysics, v. 21, № 3, 287 (1974). ⁵ M. S. Paterson, L. E. Weiss, Bull. Geol. Soc. Am., v. 77, № 4, 343 (1966). ⁶ J. G. Ramsay, Folding and Fracturing of Rocks, N. Y., 1967, p. 568.