

## ГЕОТЕКТОНИКА

Г. С. АВАКЯН

О РАСПРЕДЕЛЕНИИ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ИЗГИБНЫХ  
ДЕФОРМАЦИЯХ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Представление о распределении напряжений при изгибных деформациях земной коры, связанных с тангенциальными сжимающими давлениями, имеет как теоретическое, так и большое практическое значение в деле выявления закономерности размещения наиболее перспективных рудовмещающих и рудоподводящих разломов в складчатых зонах земной коры. Указанную закономерность можно установить, зная, что: 1) последовательность возникновения тектонических разрывов во времени можно определить по полю напряжений, благодаря тому, что разрушение происходит под действием различных по величине напряжений и наступает тем раньше, чем больше напряжения; 2) прежде всего тектонические разрывы с большей амплитудой смещения образуются в областях максимумов соответствующих напряжений, затем последовательно распространяются в области действия более низких напряжений с соответственным уменьшением размеров и амплитуды смещения. При этом следует различать: а) тектонические трещины, сопряженные (сингенетические) со складчатостью, и б) тектонические трещины, наложенные (эпигенетические) на складчатость первой стадии.

Сингенетические тектонические трещины образуются в заключительную стадию складкообразования и располагаются закономерно соответственно простиранию складок, что показано в недавно опубликованной работе автора [1].

Эпигенетические тектонические трещины образуются после завершения складчатости первой стадии, в период образования новых складок. Они, как и первые, могут быть крупными и пересекать складки первой стадии, но располагаются несогласно с последними. В этом случае контролирующим критерием для выяснения места и закономерности размещения наиболее благоприятных разрывов в отношении рудоносности является складчатость второго порядка.

Таким образом, для выяснения закономерности и места расположения тектонических трещин, а также последовательности их развития во времени необходимо знать расположение напряжений в пространстве, изменение их интенсивности в связи с образованием складчатой структуры в земной коре и т. д. Выяснив особенности распре-

деления напряжений на определенном участке, можно также установить направление и изменение тангенциальных давлений.

### Возникновение, распределение и размеры напряжений в складчатых областях земной коры

В связи с контракцией в земной коре возникают тангенциальные сжимающие давления  $P$ , а горные породы испытывают объемное напряжение под воздействием трех взаимно перпендикулярных главных нормальных напряжений  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  и  $\sigma_3$ . Указанные главные нормальные напряжения в складчатых областях земной коры возникают и располагаются следующим образом: перпендикулярно силовому потоку  $P$ , в радиальном направлении (в антиклиналях от центра, а в синклиналях—к центру Земли) располагаются максимальные главные нормальные напряжения  $\sigma_1 = \sigma_2$ . По простиранию складок и перпендикулярно силовому потоку  $P$  располагаются средние главные нормальные напряжения  $\sigma_2$ . Третье и наименьшее по величине напряжение  $\sigma_3$  расположено в направлении силового потока  $P^*$ .

Если рассмотреть деформируемый блок, изолированный от окружающей среды, то нетрудно будет доказать, что в обыкновенных условиях  $\sigma_3 > \sigma_2 > \sigma_1$ . Но так-как  $\sigma_2$  и  $\sigma_3$  на пути их действия встречают сопротивление окружающей среды и постепенно затухают, а  $\sigma_1$  в антиклинальных структурах действует свободно (по направлению наименьшего сопротивления) и фактически является наибольшим, то следовательно  $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ .

Такое соотношение главных нормальных напряжений не следует понимать в математическом смысле. Они нами выбраны, исходя из их роли в трещинообразовании сколового характера. В синклинальных складках все три напряжения  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  и  $\sigma_3$  встречают сопротивление окружающей среды, но так как напряжения  $\sigma_1 = \sigma_2$ , действующие в радиальном направлении, на своем пути встречают сопротивление магматического подкорового субстрата\*\*, способного сопротивляться прогибающейся коре гораздо меньше, то вышеотмеченное взаимоотношение расположения главных нормальных напряжений  $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$  сохраняется и здесь.

Величины и направления главных нормальных напряжений  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  и  $\sigma_3$  в складчатых областях земной коры изменяются в пространстве в связи со складкообразованием. В куполах и прогибах антиклиналей и синклиналей (по осевым линиям складок) они приобретают максимальные величины, а по крыльям (на линиях переходов антиклиналей

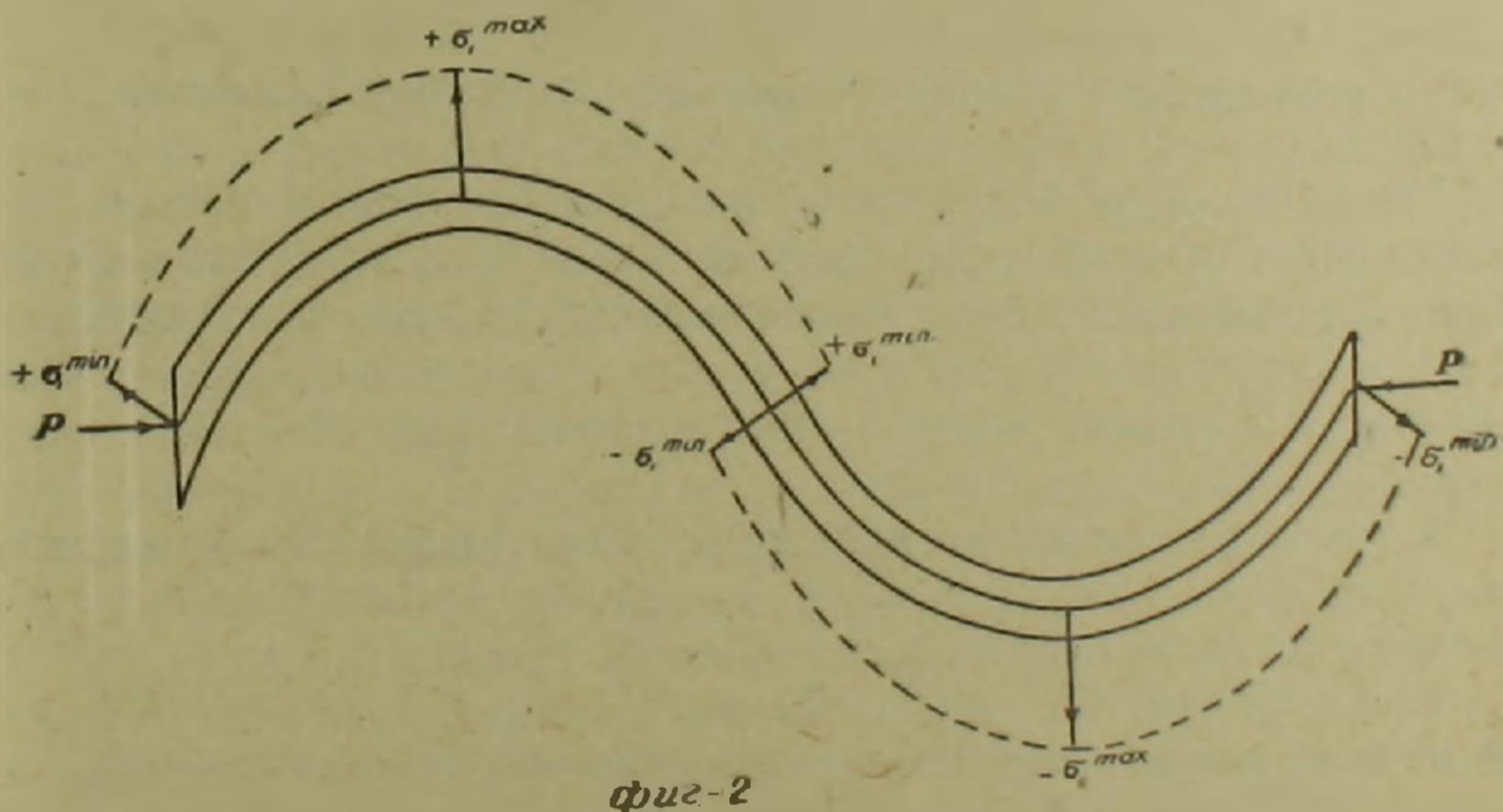
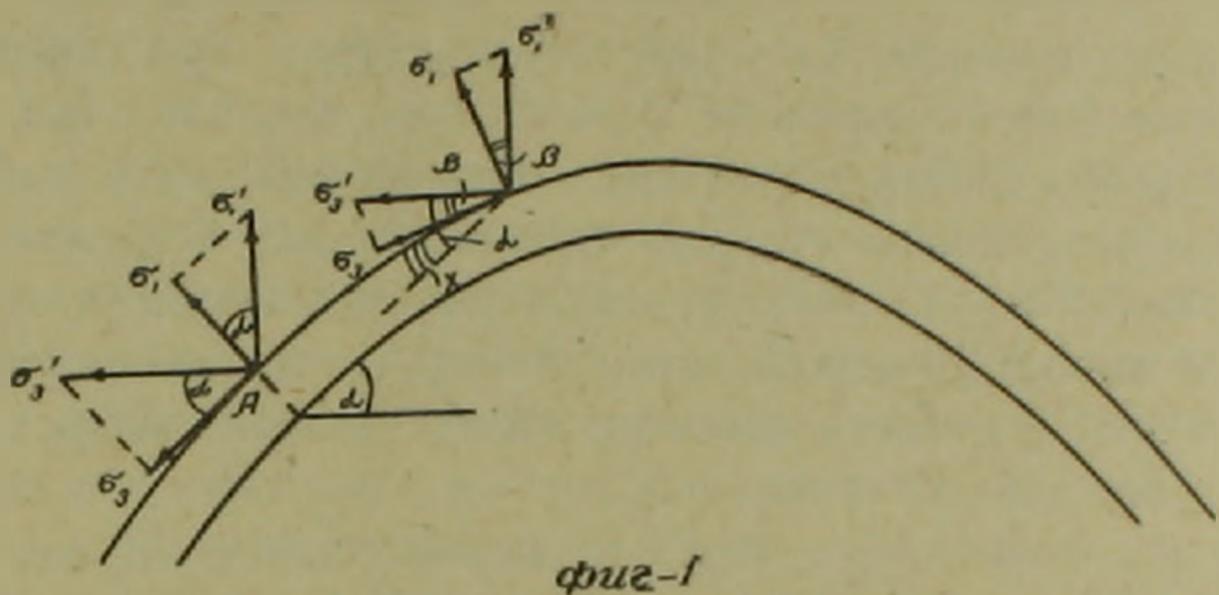
\* Вопросы направлений напряжений, порождающих тектонические разрывы, освещены в работе автора, напечатанной во 2 номере „Известий“ АН АрмССР (геол. и геогр. н.), 1963 г.

\*\* В механике Земли магматический подкоровый субстрат, исходя из его большой подвижности, в связи с большим давлением и температурой, принимается как жидкость, а сила трения между этим субстратом и жесткой земной корой пренебрегается ввиду ее незначительной величины.

к синклиналиям) минимальные величины (фиг. 1). Допустим, что земная кора под воздействием непрерывно возрастающих тангенциальных давлений (сила  $P$ ) собралась в складки под некоторым углом падения  $\alpha$ . Тогда, в связи с этим, главные нормальные напряжения  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  и  $\sigma_3$ , поворачиваясь под тем же углом, должны менять свои первоначальные положения. При этом напряжение  $\sigma_1$  будет направлено вкrest складок, а  $\sigma_2$  и  $\sigma_3$  — по касательной к складкам.

Из фиг. 1 следует, что в точке  $A$   $\sigma_1 = \sigma'_1 \cdot \cos \alpha$ , а  $\sigma_2 = \sigma'_2 \cdot \cos \alpha$ ; аналогично  $\sigma_2 = \sigma'_2 \cdot \cos \alpha$ . В точке  $B$  —  $\sigma_1 = \sigma'_1 \cdot \cos \beta = \sigma'_1 \cdot \cos (\alpha - \chi)$ ,  $\sigma_2 = \sigma'_2 \cdot \cos (\alpha - \chi)$ ,  $\sigma_3 = \sigma'_3 \cdot \cos (\alpha - \chi)$ .

Так как при изменении угла  $\alpha$  от  $0$  до  $90^\circ$  значение  $\cos \alpha$  изменяется от  $1$  до  $0$ , то, очевидно, что с уменьшением угла  $\alpha$  увеличи-



ваются значения  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  и  $\sigma_3$  и, наоборот, с увеличением угла  $\alpha$  уменьшаются значения  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  и  $\sigma_3$ , т. е. угол  $\alpha$  и главные нормальные напряжения находятся в обратной функциональной зависимости между собой.

На осях складок главные нормальные напряжения совмещаются своими первоначальными плоскими положениями и, следовательно, приобретают максимальную величину, так как угол  $\alpha = 0$ . На линиях переходов антиклиналей к синклиналям складки имеют максимальный угол падения ( $\alpha = \max$ ), где главные нормальные напряжения приобретают минимальные величины.

Из вышеотмеченного следует, что при данном угле падения складок главные нормальные напряжения приобретают максимальные величины на осях складок, а минимальные — на линиях переходов складок (фиг. 2 и 3).

После выяснения закономерности пространственного размещения главных нормальных напряжений по величине, можно сделать следующие выводы:

1. Тектонические трещины сколового характера, генетически приуроченные к максимальным главным нормальным напряжениям  $\sigma_1$ , а также трещины отрыва, связанные со средним и минимальным главными нормальными напряжениями  $\sigma_2$  и  $\sigma_3$ , первоначально образуются на куполах антиклиналей и прогибах синклиналей, являющихся областями максимумов вышеотмеченных напряжений, затем последовательно распространяются в области действия более низких напряжений, т. е. в сторону крыльев складок.

2. Независимо от их величины главные нормальные напряжения  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  и  $\sigma_3$  на линиях переходов складчатых структур меняют направления — растягивающие напряжения превращаются в сжимающие, поднимающие напряжения превращаются в опускающие и наоборот. В связи с изменением направления максимальных главных нормальных напряжений  $\sigma_1$ , образуются скалывающие силы (пара сил).

### Срезающие силы; образование горстов и грабенов

Как отмечалось выше, при изгибных деформациях земной коры максимальные главные нормальные напряжения  $\sigma_2$  на линии перехода от антиклинальной складки к синклинальной меняют свои направления и, следовательно, свой знак, образуя при этом скалывающие (срезающие) силы. Земная кора по этим линиям работает на срез (скалывание) (фиг. 2).

Возьмем элементарную частицу у линии перехода от антиклинальной складки к синклинальной и попытаемся подсчитать величину срезающих (скалывающих) сил (фиг. 4).

Предположим, что под давлением тангенциальных сил  $P$  в земной коре образовались складки с максимальным углом падения на линии перехода от антиклинальной складки к синклинальной —  $\alpha$ . Из треугольника  $OAB$  следует, что  $+P' = P \sin \alpha$ .

Из уравнения видно, что величина скалывающих сил является функцией от угла падения складок, т. е. она изменяется с изменением наклона складок. Отсюда легко установить, что  $P'$  свою максималь-

ную величину получает при  $\alpha = 90^\circ$ , где  $P' = P$ , минимальную величину — при  $\alpha = 0^\circ$ , где  $P' = 0$ .

Экспериментально доказано, что сопротивление горных пород на скалывающие силы в 4—10 раз меньше, чем на сжатие (табл. 1).

Таблица 1

По М. П. Биллингсу

Породы	Сжатие	Скалывание
Песчаник	500—1500	50—150
Известняк	400—1400	100—200
Гранит	1000—2800	150—300
Мрамор	800—1500	100—300
Сланец	700	150—250

Это дает основание предполагать, что при сдвиге размерами сил даже в 4—10 раз меньшими, чем главные нормальные напряжения, образование разломов сколового характера на линиях переходов складок также вероятно, как и на осевых линиях складок.

Так-как скалывающие силы сохраняют свою величину по всей мощности земной коры, не умень-

шаясь при этом даже на нейтральной плоскости и находятся в функциональной зависимости от наклона складок, то при превышении предела прочности коры на скалывание, образование трещин скалывания, пересекающих всю мощность земной коры, становится очевидным. Образование таких трещин скалывания или глубинных разломов по краям тектогенов (синусоидальных складок), возможно одновременно на ряде линий переходных складок, в связи с чем и образуются грабены и горсты. Так как причиной возникновения складчатых структур, грабенов и горстов является тангенциальное давление  $P$ , то образование последних происходит по принципу выжимания клиньев, т. е. антиклинали поднимаются, образуя горсты, а синклинали опускаются, образуя грабены (фиг. 5).

Обратное явление под воздействием тангенциальных давлений принципиально невозможно, поэтому грабены и горсты, образованные по принципу выжимания клиньев при контракции Земли, в дальнейшем мы будем называть „нормальными“. Но в природе очень часто встречаются „обратные“ нарушения, которые, как мы полагаем, своим возникновением обязаны растягивающим силам, появляющимся вследствие расширения Земли.

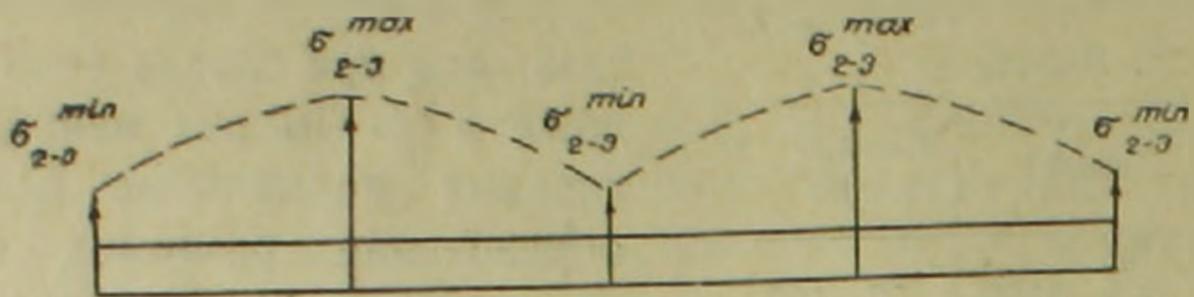
Кригическая ширина тектогенов, а также связанная с ними ширина грабенов и горстов, согласно теории деформации бесконечно длинной балки на упругом основании, равняется:

$$L_k = \pi \sqrt[4]{\frac{D}{\gamma_s}} = \pi \sqrt[4]{\frac{EH^3}{12 \gamma_s (1 - \nu^2)}}$$

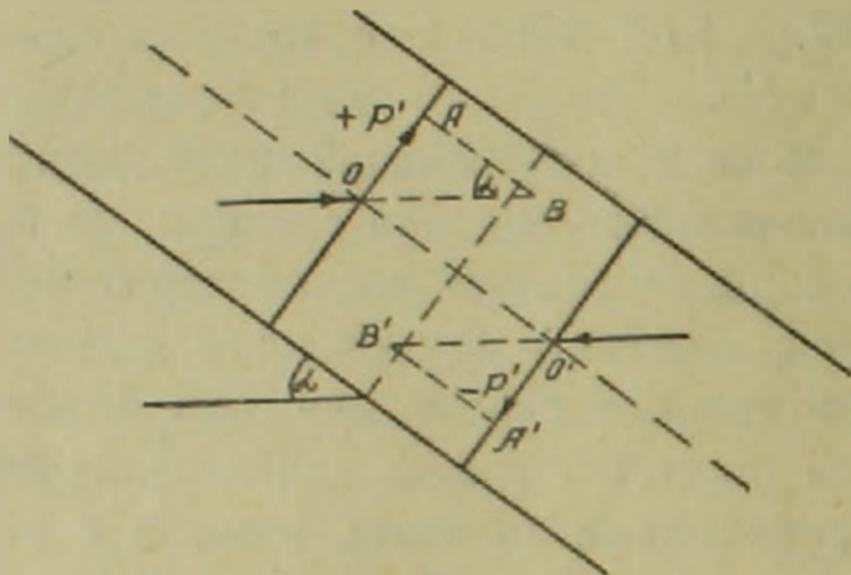
где  $D$  — жесткость изгиба земной коры (принять равной цилиндрической жесткости) равна  $\frac{EH}{12(1 - \nu^2)}$ ,  $E$  — модуль Юнга земной коры, рав-

ный  $10^6$  кг/см<sup>2</sup>,  $H$  — мощность земной коры, равная  $3,7 \cdot 10^6$  см,  $\gamma_s$  — плотность субстрата, равная  $3,27$  г/см<sup>3</sup>,  $\nu$  — коэффициент Пуассона, равный  $0,25$ .

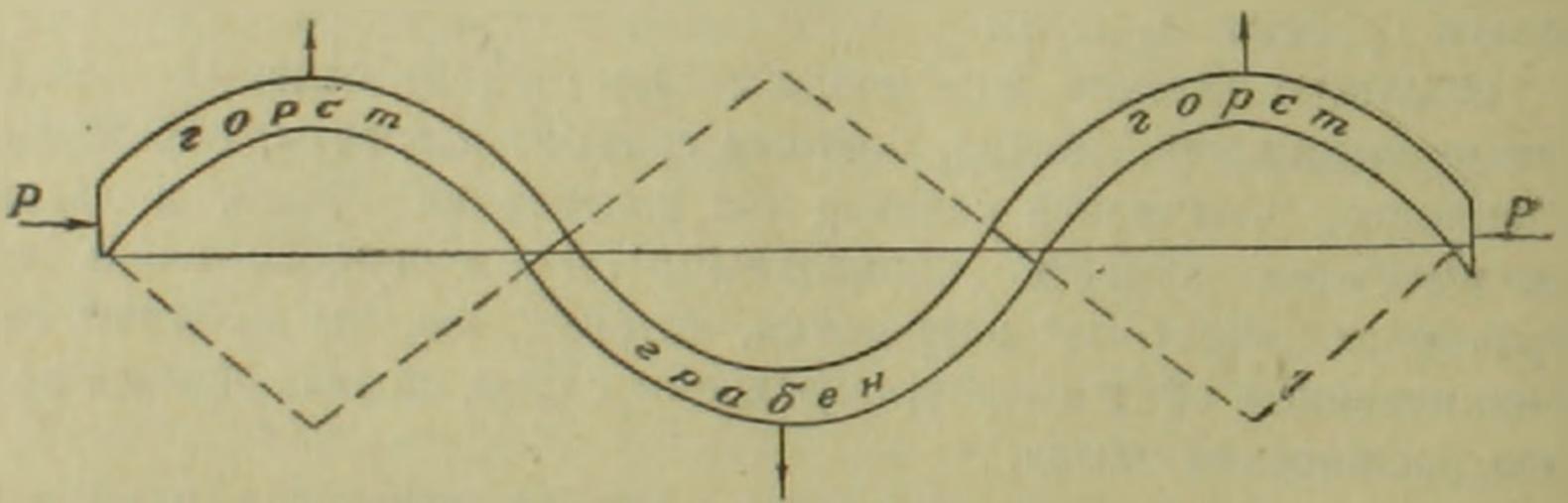
При отмеченных выше исходных данных получаем  $L_4 = 191$  км. Как отмечает А. Т. Асланян [2, 3], эта цифра хорошо согласуется с шириной геосинклиналей и глубоких океанических желобов. Таковы хорошо известные передовые прогибы Тихоокеанского кольца, Малай-



фиг-3



фиг-4



фиг-5

*Стрелки показывают направления движения блоков*

ского архипелага, Карибского моря, Ферганской котловины, Индо-гангской депрессии. Такова также ширина мегаантиклинорий Альп, Карпат, Б. и М. Кавказа, Загроса, Анд, Берегового хребта, Аппалач, Каледонского хребта, островных дуг, Атласа и др.

УГ и ОН при СМ Армянской ССР

Поступила 25.XII.1963.

2. Ս. ԱՎԱԳՅԱՆ

ԼԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ՏԵՂԱԲԱՇԵՈՒՄԸ ԵՐԿՐԻ ԿԵՂԵՎԻ ՃԿՄԱՆ  
ԴԵՖՈՐՄԱՑԻԱՅԻ ԺԱՄԱՆԱԿ

Ա մ փ ո փ ու մ

Հանքաքեր և հանք պարունակող տեկտոնական ճեղքերի ամենահավանական տեղաբաշխումը երկրի կեղևի ծալքավոր շրջաններում կարելի է պարզել գիտենալով, որ՝

1. Տեկտոնական ճեղքերի առաջացումը կախված է կեղևի լարվածութունից և նրանք առաջին հերթին առաջանում են ալնտեղ, ուր տեղաբաշխված են ամենամեծ լարումները, ալնուհետև աստիճանաբար տարածվում են դեպի թույլ լարումների շրջանները:

2. Ամենամեծ (ըստ խախտման ամպլիտուդայի և ճեղքի մեծության) տեկտոնական խախտումները առաջանում են մեծ լարումների շրջաններում:

Գլխավոր նորմալ լարումները՝  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  և  $\sigma_3$ -ը իրենց ամենամեծ չափերին են հասնում սինուսոիդանման ծալքերի գագաթներում, իսկ ամենափոքր չափերին -- ծալքերի մեկը մյուսին անցման գծերում (պատկեր 1), ըստ որի՝

1. Բոլոր տեկտոնական ճեղքերը՝ ինչպես փշրման, այնպես էլ խզման բնույթի, առաջին հերթին առաջանում են անտիկլինալների և սինկլինալների գագաթներում, ալնուհետև աստիճանաբար տարածվում են դեպի ծալքերի թևերը, ուր լարումները համեմատաբար ավելի թույլ են:

2. Ծալքերի մեկը մյուսին անցման շրջաններում, գլխավոր նորմալ լարումները՝  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  և  $\sigma_3$ -ը, անկախ իրենց չափերից, փոխում են իրենց ուղղությունները՝ ձգող լարումները փոխվում են սեղմող, բարձրացնող լարումները -- իջեցնողի և ընդհակառակը: Այդ իսկ պատճառով երկրի կեղևի ծալքավոր շրջանների դրսևյան և բացասական ծալքերի անցման մասերում առաջանում են կտրող ուժեր: Անրջիններիս ազդեցության տակ առաջանում են խզումներ, որոնք կտրում են կեղևը իր ամբողջ հաստութիամբ և, առաջացնում են հորստեր և գրաբեներ: Այդպիսի հորստերի և գրաբեների լայնությունը կարելի է հաշվել հետևյալ բանաձևի օգնությամբ, համաձայն որի  $L_k = 191$  կմ.

$$L_k = \pi \sqrt[4]{\frac{D}{\gamma_s}} = \pi \sqrt[4]{\frac{EH^3}{12\gamma_s(1-\nu^2)}}$$

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Авакян Г. С. О направлениях нормальных и касательных напряжений, порождающих тектонические разрывы. Известия АН АрмССР, (геол. и геогр. н.), № 2, 1963.
2. Асланян А. Т. О физической сущности тектонических явлений, Тезисы докладов II Всес. тект. совещания, Москва, 1962.
3. Асланян А. Т. Исследование по теории тектонической деформации Земли. Изд. АН АрмССР, Ереван, 1955.
4. Гзовский М. В. Физическая теория образования тектонических разрывов. Проблемы тектонофизики. Труды Первого всесоюзного тектонофизического совещания. Госгеолтехиздат, Москва, 1960.
5. Кушнарев И. П., Лукин Л. И. Об изучении трещинной тектоники. Проблемы тектонофизики. Труды Первого всесоюзного тектонофизического совещания. Госгеолтехиздат, Москва, 1960.
6. Вининг-Мейнес Ф. А. Пластическое впаивание земной коры; происхождение геосинклиналей. Земная кора. Изд. иностранной литературы, Москва, 1957.