

Э. В. АНАНЯН

ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗРЫВНЫХ НАРУШЕНИЙ

(на примере Кафанского района Арм. ССР)

В последнее время как за рубежом, так и в нашей стране бурно развивается один из наиболее перспективных методов изучения тектонических явлений — тектонофизика. Основная задача тектонофизических исследований заключается в выяснении механизма образования связных и разрывных нарушений, явлений, которые связаны с глубинными процессами, происходящими в недрах земли.

При обычных геологических методах исследований мы сталкиваемся с уже свершившимися фактами, являющимися результатами сложных и длительных геологических процессов, с продолжительностью многих миллионов лет. Тектонофизические исследования позволяют наглядно воспроизвести общую, а иногда очень детальную картину хода тектонических процессов в лабораторных условиях.

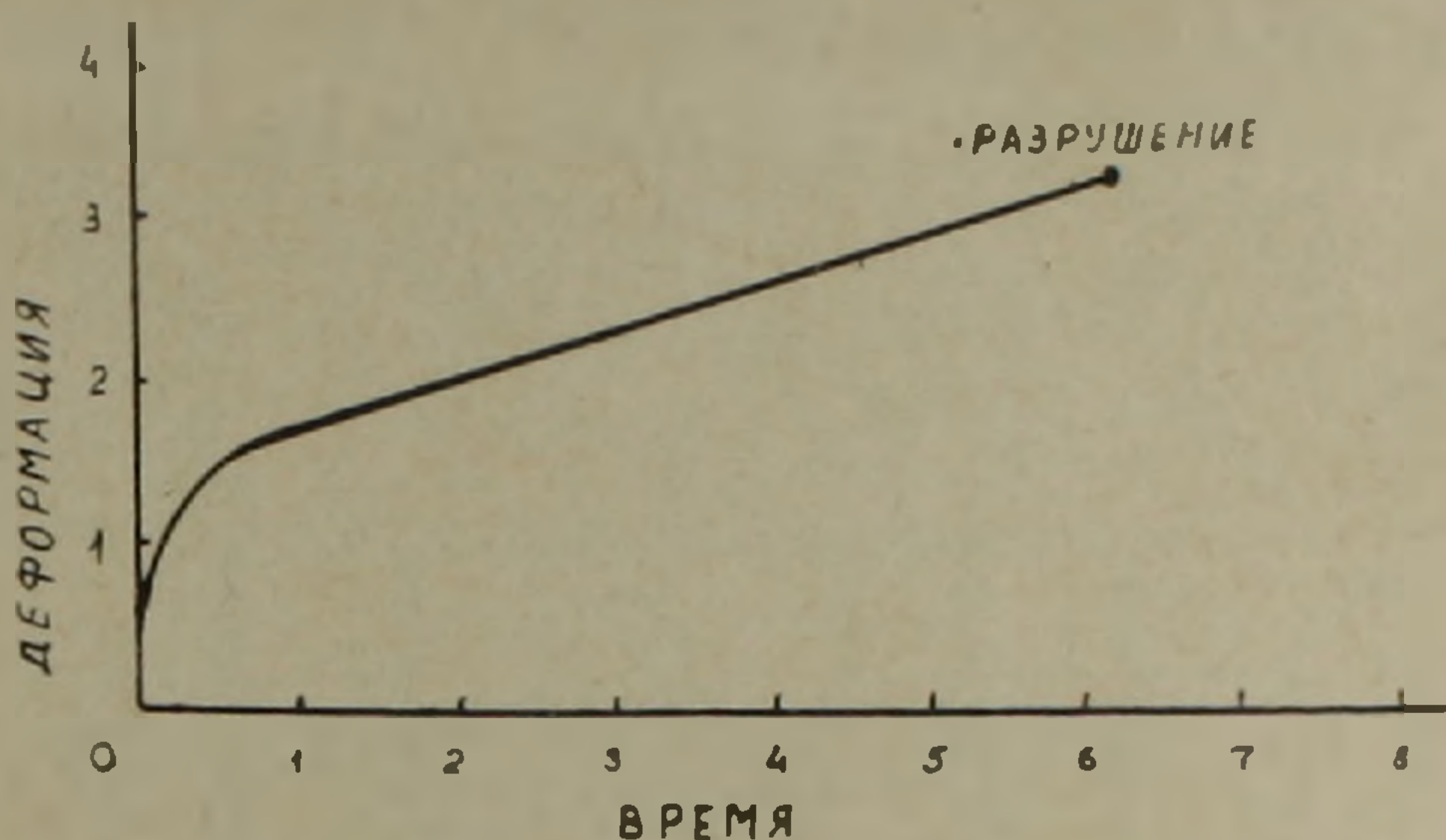
Многообразие структурных элементов земной коры зависит от многочисленных факторов, к числу которых можно отнести литологические, петрографические, физико-механические особенности пород, слагающих данный участок коры, а также тектонические силы, действующие с разной активностью в разных частях земной коры.

Лабораторные исследования преследуют цель иллюстрации уже существующих представлений о ходе развития этих процессов, их проверки, а также получения дополнительных данных для утверждения или опровержения тех или иных представлений. Следовательно, для решения таких задач тектонофизические исследования должны быть проведены с учетом накопленных фактических данных, моделирования тектонических явлений и физико-механических свойств горных пород.

В лабораторных условиях воспроизведение тектонических процессов возможно лишь при соблюдении определенных правил. Надо отметить, что в моделировании механизма образования связных и разрывных нарушений горные породы непригодны, так как в этом случае потребуются произвести эксперимент в течение длительного времени. Но так как время эксперимента в лабораторных условиях ограничено, то уменьшение продолжительности опытов достигается за счет изменения основных физико-механических свойств материалов, заменяющих горные породы. Таким образом, встает вопрос эквивалентных материалов — т. е. материалов-заменителей с определенными физико-механическими свойствами и соблюдение условий подобия, т. е. при каких соотношениях основных свойств эквивалентных материалов и пород можно считать происходящие явления по-

добными. Следовательно, при моделировании экспериментатор должен иметь объект и эквивалентные материалы, физико-механические параметры которых определены.

Деформация тела происходит под действием внешних и внутренних сжимающих или растягивающих усилий и на графике выражается в виде кривой линии (фиг. 1), называющейся кривой кинетики деформации. Она имеет определенную форму и состоит из отрезков, характеризующих упругую, пластическую деформацию и разрушение материала, причем разрушение тела происходит при

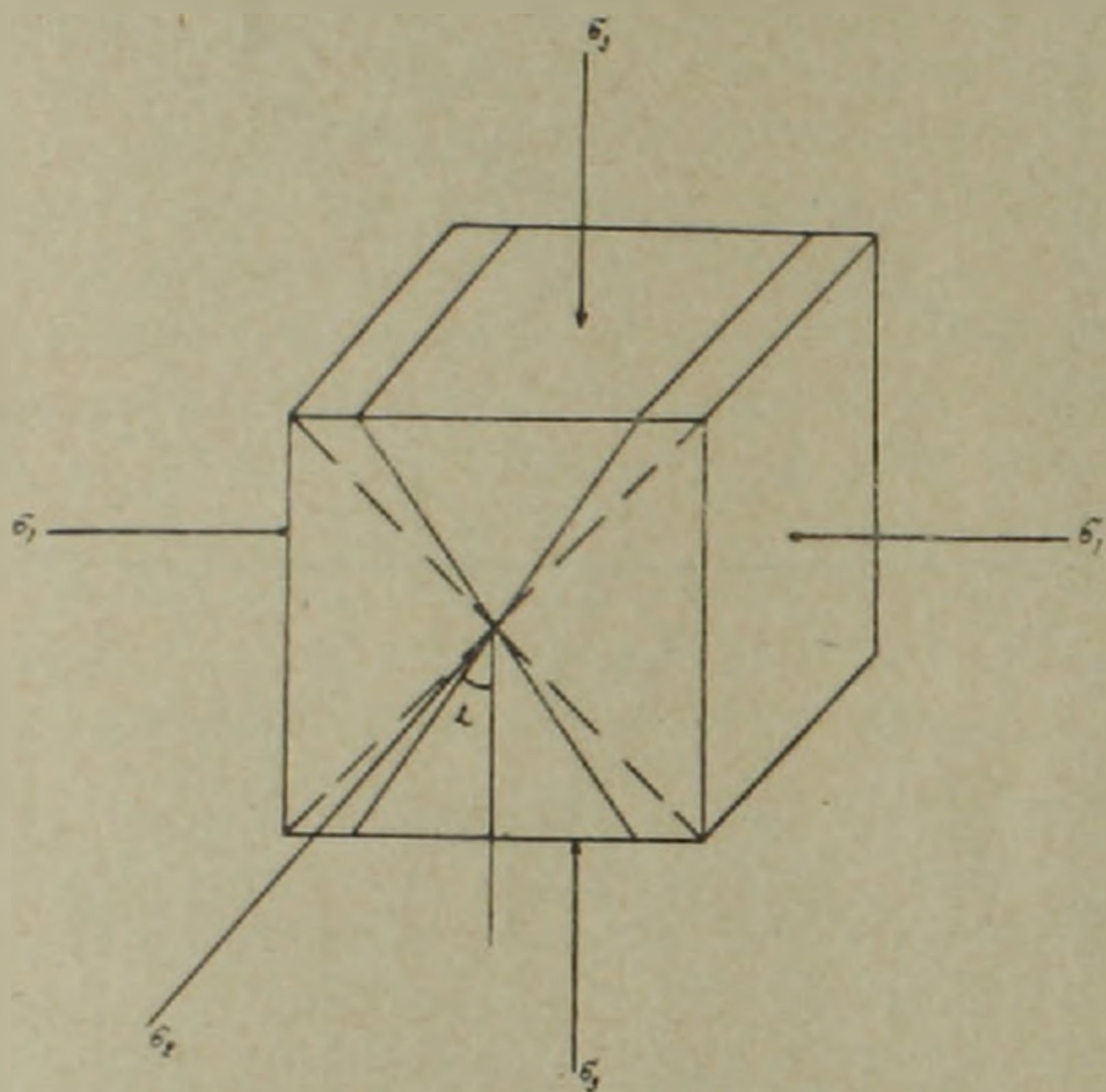


Фиг. 1. Кривая кинетики деформации.

достижении равенства между величиной соответствующих разрушающих напряжений (P) и пределом прочности (P_n) горной породы. Трещины, образованные в результате разрушения материала, могут быть отрывами и сколами. Эти два типа трещин возникают при разрушении образца на отрыв и скалывание, причем первые возникают на плоскостях, перпендикулярных к направлению действия алгебраически максимальных главных нормальных напряжений. Сколовые трещины возникают по всем остальным направлениям, косо ориентированным по отношению направления действия главных нормальных напряжений. Исследования показывают, что в горных породах эти трещины по отношению осей алгебраически минимальных главных нормальных напряжений располагаются под углами меньше 45° , и их схема образования несколько отличается от схемы, предложенной Беккером (гипотеза эллипсоида деформации Беккера), где этот угол равен 45° , в то время как для горных пород он меньше на угол α , величина которого зависит от многих факторов, в том числе прочностных и пластических свойств испытуемых горных пород (фиг. 2).

Изучение механизма формирования как элементарных, так и крупных тектонических разрывных нарушений в лабораторных условиях вполне возможно. Такие эксперименты были поставлены Г. Клоссом (1929), М. В. Гзовским и Е. И. Чертковой (1953), М. В. Гзовским (1956, 1963) и другими исследователями.

Тектонофизическое изучение разрывных нарушений охватывает три этапа: а) полевое изучение трещиноватости, в период которого выясняется пространственное расположение систем трещин, их характерные черты, расположение участков с особенно густой сетью трещиноватости на антиклиналях, синклиналях и на других структурных формах, б) предварительные соображения о механизме образования и развития систем трещин и крупных разрывных нарушений, в) сбор дополнительных фактических данных путем моделирования для проверки предполагаемого механизма формирования и развития разрывных нарушений.

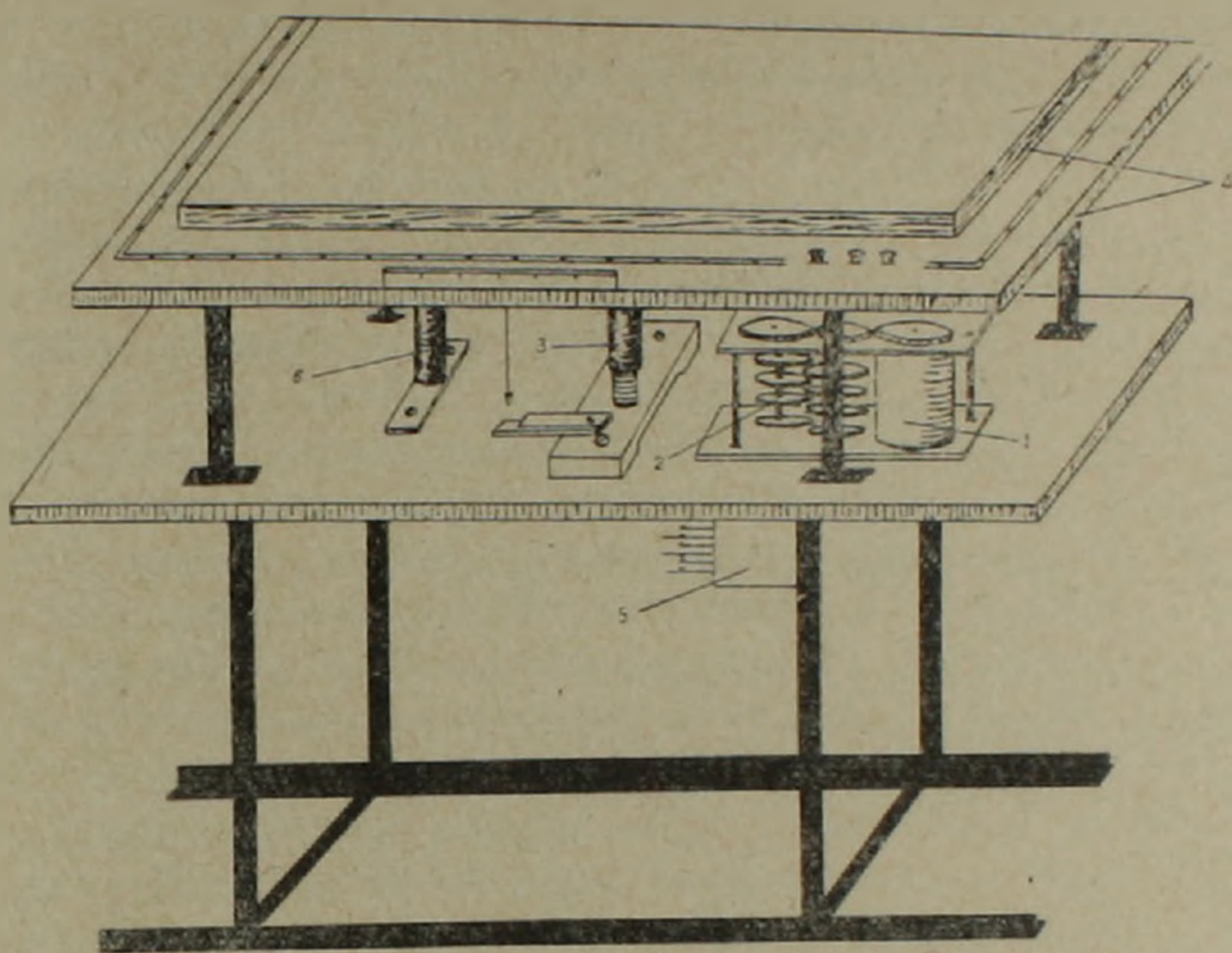


Фиг. 2. Образование трещин скалывания (сжатие). Пунктиром показано теоретическое положение образования сколов, сплошной линией — реальное положение этих трещин, α — угол отклонения, σ_1 — наименьшее, σ_2 — среднее, σ_3 — наибольшее главные сжимающие напряжения.

Во время полевого периода исследований на территории Кафанского района Арм. ССР. было детально изучено распространение и характерные черты трещиноватости на вулканогенных и вулканогенно-осадочных образованиях Кафанского брахиантиклинория (Э. В. Ананян, 1966). Во избежание повторения отметим, что трещиноватость пород Кафанского брахиантиклинория распространена крайне неравномерно и наибольшее развитие она получает в присводовых частях и на северо-восточном крыле вторичной (Кафанской) брахиантиклинали. Образование как крупных, так и мелких разрывных нарушений есть результат действия восходящих тектонических сил.

С целью проверки этой идеи было поставлено большое количество экспериментов (около 30), моделирующих процесс возникновения и развития мелкой и крупной трещиноватости на брахиантикли-

нальной складке, формировавшейся в условиях вертикально-направленных тектонических сил. Для соблюдения условий подобия, вулканогенно-обломочные породы Кафанского района при моделировании были заменены бентонитовой глиной, влажностью 50%. Эксперименты проводились на металлическом стенде в условиях подъема с постоянной скоростью. На фиг. 3 дана принципиальная схема при-



Фиг. 3. Схема прибора. 1. Мотор, 2. Редуктор, 3. Ось штампа, 4. Стол с натянутой резиной и влажной глиной, 5. Реле, 6. Направляющий стержень.

бора. Вращение мотора (1), через редуктор (2) передается вертикально движущемуся штампу (3) в форме неправильного полуовала. На металлический стол (4) с прорезом формы штампа, натягивается эластичная резина. Влажная бентонитовая глина наносится слоем мощностью 3—5 см на резину. После подъема, в конце эксперимента производилось опускание штампа с целью наблюдения за изменениями модели, происходящими после ослабления восходящих механических сил. Для получения характерных результатов были проведены серии одинаковых опытов. Кафанский брахантиклинорий имеет площадь 50×30 км. Прибор имел размеры 50×30 см, следовательно, геометрический масштаб равнялся $1 : 100.000$, т. е. $C_e = 10^{-5}$, $C_t = 2 \cdot 10^{-11}$ (1 мин. соответствует 100.000 годам). По формулам $C_v = \frac{C_e^2}{2C_\eta}$; $C_\tau = \frac{C_e}{2}$ и $C_\gamma = \frac{1}{2} C_e C_t$ вычисляется $C_v = 5 \cdot 10^{-11}$; $C_\tau = 5 \cdot 10^{-5}$ и $C_\gamma = 10^{-15}$. Принимается $C_g = 1$ (сила тяжести остается

без изменения) и $C_p = 0.5$ (плотность горных пород в 2 раза больше плотности бентонитовой глины)*.

Подъем штампа на моделях во всех опытах приводил к появлению систем трещин разных типов, грабенов, горстов, сбросов, а также зон с интенсивным развитием надвигов в краевых частях модели.

Образование трещиноватости. Трещины на моделях появляются на ранних стадиях образования сводового поднятия. Первые трещины представляют собой изолированные друг от друга разрывы, расположенные, в основном, кулисообразно. Ранние трещины возникали в сводовых частях и после некоторого подъема штампа почти перестали развиваться. Наблюдалась центробежная, четко выраженная миграция трещинообразования к крыльям образовавшейся антиклинали. Расположение последних также кулисообразное по отношению друг к другу. По мере роста складки элементарные трещины приоткрывались и развивались с краев. В некоторых случаях происходило постепенное соединение соседних трещин по мере роста складки, причем, очень часто, между кулисообразно расположенными трещинами возникали участки с довольно широкой зоной мелкой трещиноватости. Дальнейший рост складки приводил к перемещению напряжений на края развивающихся элементарных трещин, вследствие чего перемычки между приближенными трещинами не выдерживали действия сил и разрушались. Во время опытов наблюдались очень характерные для наших моделей явления. Наиболее интенсивное разрушение перемычек между соседними трещинами происходило на определенных участках, соответствующих очертанию отражения движущегося штампа. Именно в этих местах и возникали зоны интенсивной трещиноватости и крупных, сложно-построенных трещин.

После образования крупных, зияющих трещин, расположенных на присводовых частях брахиантиклинали, ранние трещины, образовавшиеся на своде складки, развиваются очень слабо, либо совсем перестают развиваться. Все ранние трещины, расположенные на своде складки — крутопадающие, с падением плоскости к оси штампа. Наиболее поздние трещины на крыльях складки имеют сравнительно меньшую крутизну с плоскостями падений в сторону крыльев складки. Наиболее поздние трещины часто обладают характерными чертами трещин скалывания. Следует отметить, что по мере развития складки, некоторые трещины отрыва превращаются в сколовые. По плоскостям трещин происходят относительные перемещения блоков.

Обычно, в процессе развития складки происходило выполаживание ранних трещин. Это явление происходит в результате подъема

* C_r , C_t , C_v и C_σ — множители подобия расстояния, времени, скорости, напряжения и вязкости соответственно. Отношение между одноименными сходными величинами природного объекта и модели называются множителями подобия (Гзопский М. В., 1963).

слоя вместе с образованными трещинами, а также в результате появления новых пологозалегающих трещин преимущественно сколового типа.

Образование крупных трещин происходит путем соединения многочисленных элементарных трещин скола и отрыва в период развития складки. Часто на краях уже сформировавшихся крупных трещин появляются новые трещины, в основном, крутопадающие, которые, в свою очередь, осложняют зону разлома, а иногда приводят к увеличению трещиноватой зоны, сопровождающей крупные трещины. В этих случаях, крупные сложные трещины иногда обладают большой протяженностью и представлены зоной сильно раздробленных пород и оперяющих трещин.

Образование горстов, грабенов и сбросов. Если в ранних стадиях роста складки образовались элементарные трещины, а некоторые из них превращались в крупные сложно построенные трещины, то в дальнейшем происходило образование структурных форм, возникновение которых закладывалось еще в ранних стадиях формирования складки. Речь идет об образовании горстов, грабенов и сбросов, развитых преимущественно в присводовых частях структуры.

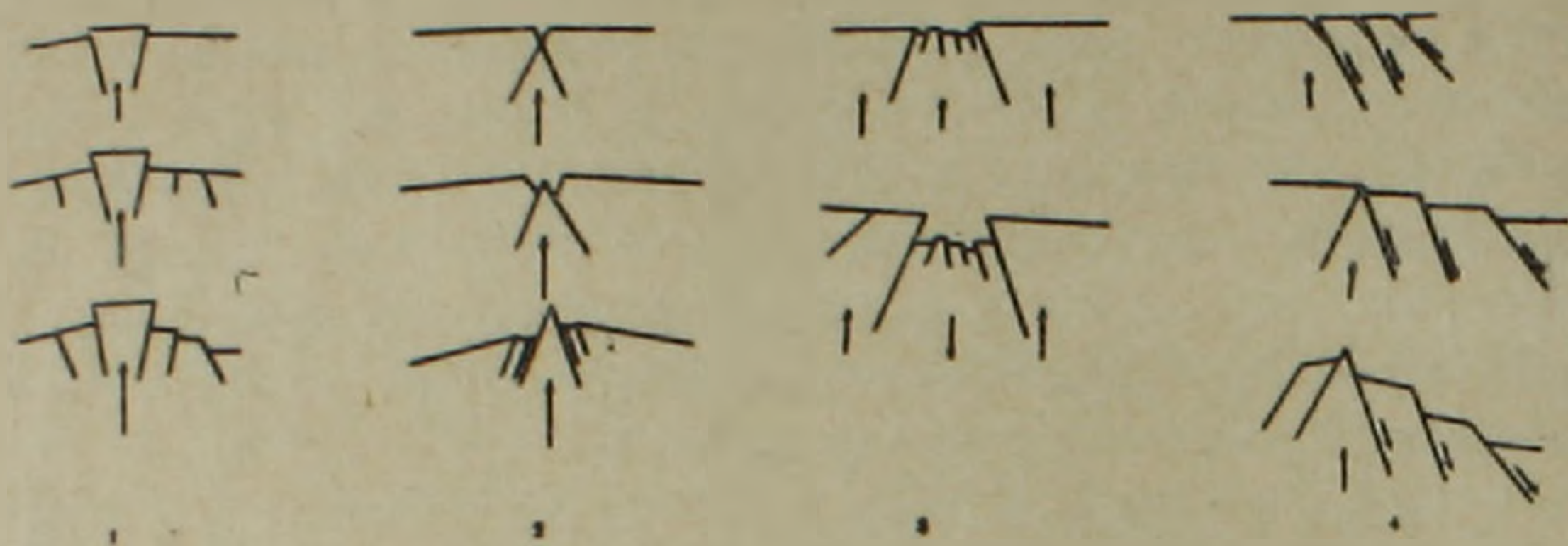
Горсты и грабены возникали между двумя хорошо выраженными крупными трещинами, в результате подъема отдельных блоков в процессе роста антиклинали. Иногда на моделях возникали сложно построенные горсты, состоящие из простых, ступенчатых сбросов и грабенов (фиг. 4 (1)). На поздних стадиях развития складки происходило поворачивание горстов и выполаживание углов падения трещин, ограничивающих приподнятые блоки. В присводовых частях складки (в сравнительно меньшем количестве) возникали клинообразные горсты (фиг. 4 (2)). В этих случаях одна из ограничивающих трещин, как правило, древнее и намного круче, чем другая, возникшая со стороны крыла складки. Грабены образовались одновременно с горстами или же отставали от них на небольшой промежуток времени, так как появление грабенов в какой то мере зависит от подъема соседних блоков, являющихся одновременно горстами. Часто возникали сложные грабены, состоящие из нескольких сравнительно небольших грабенов и горстов, а также ступенчатых сбросов (фиг. 4 (3)). Окончательное формирование грабенов происходило во время спуска штампа, вследствие чего под тяжестью собственного веса происходило оседание блока. В этих случаях верхние части грабенов, будучи зажатыми с боков между соседними блоками, приобретали вогнутую форму в виде синклинали.

Сбросы обычно тяготеют к крыльям складки и представлены трещинами скола (фиг. 4 (4)) с углами падений $30-40^\circ$ в сторону крыльев. По мере роста складки эти трещины, в отличие от трещин отрыва, постепенно становились крутопадающими. Амплитуды смещения ступенчатых сбросов в присводовых частях намного больше.



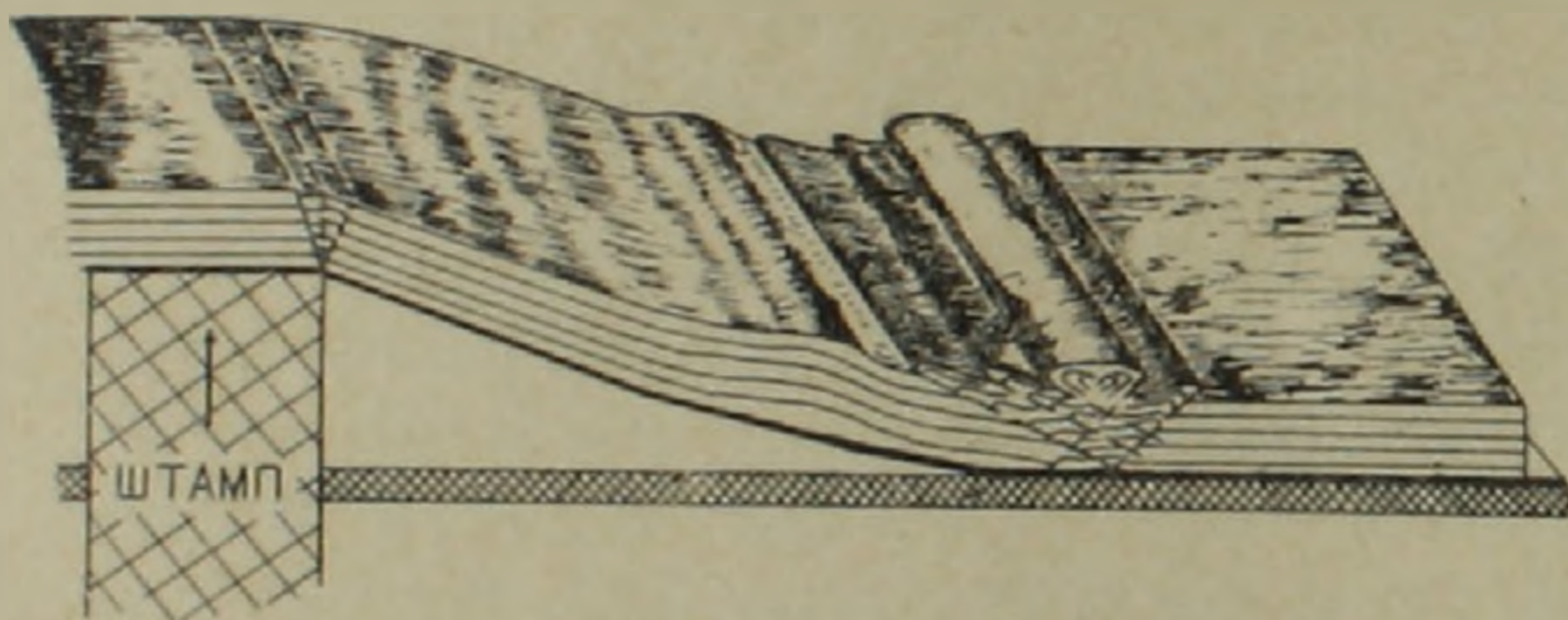
чем в отдаленных от свода частях складки. Это, вероятно, говорит о разрядке напряжений по мере удаления от свода к крыльям.

Почти во всех опытах, на краевых частях модели, на поздних стадиях экспериментов, при подъеме штампа (до 15 см) возникали



Фиг. 4. Схема последовательности развития горстов (1), клинообразных горстов (2), сложных грабенков (3), ступенчатых сбросов (4).

хорошо выраженные надвиги, с надвиганием висячих крыльев в обе стороны. Надвиговые зоны обычно простирались вдоль направления оси складки. Редко образовывались две системы надвигов с падением плоскостей в противоположные стороны (фиг. 5). Трещины в



Фиг. 5. Образование складок второго порядка и надвигов на крыле брахискладки. Пунктиром даны системы трещин, стрелка показывает направление движения штампа. Жирной линией показан слой резины.

зоне надвигов, обычно, пологопадающие ($35-40^\circ$). На месте пересечения разнопадающих трещин наблюдалось раздробление материала и образование густой сети трещиноватости. Интенсивность развития и ширина надвиговой зоны зависит от мощности слоя влажной глины. В слоях большей мощности образуются широкие зоны надвигов.

Таким образом, в лабораторных условиях удалось показать некоторые стороны образования разрывных нарушений и проследить ход их развития.

На территории Кафанского брахиантиклинория во время полевых исследований были выявлены участки с интенсивной мелкой и крупной трещиноватостью и с широким развитием (особенно на северо-восточном крыле) крупных зон разлома, сложного стросния как по вертикали, так и по простиранию. Обнаружены также горсты (Арфикский, Шаумянский), грабены (Башкендский — Н. Кавартский)

и многочисленные мелкие ступенчатые сбросы. На северо-восточном крыле, в районе сс. Давид-бек и Кахнут в породах нижнего мела можно наблюдать мелкую вторичную складчатость и зоны смятий, напоминающих образование надвиговой зоны на моделях.

Следовательно, предполагая, что формирование Кафанского брахиантиклинория происходило в условиях подъема свода складки под действием восходящих тектонических сил, допускаем, что разрывные нарушения, осложняющие эту складку, образовались в условиях длительного подъема структуры и ослабления тектонических усилий в конце формирования брахискладки. Эксперименты наглядно показали правдоподобность этих предположений.

На примере вышеописанных опытов становится ясным, что моделирование тектонических явлений поможет в какой-то степени заполнить пробел, существующий в области познания механизма образования тектонических разрывных нарушений на брахиантиклинальных складках.

Институт геологических наук
АН Армянской ССР

Поступила 7.VI.1967.

Է. Վ. ԱՆԱՆՅԱՆ

ԽՉՈՒՄՆԱՅԻՆ ԽԱՆՏՈՒՄՆԵՐԻ ՏԵԿՏՈՆՈՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆ-
ՆԵՐԸ (ՀՍՍՀ ՂԱՓԱՆԻ ՇՐՋԱՆԻ ՕՐԻՆԱԿՈՎ)

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Վերջին տարիներս տեկտոնական երևույթների առաջացման և զարգացման մեխանիզմի հարցը մեծ կարևորություն է ստացել: Այն հնարավորություն է տալիս հասկանալու այդ երևույթների ընթացքի առանձնահատկությունները և երբեմն նրանց առանձին փուլերը: Այդ հարցերով է զբաղվում մի նոր ուղղություն, տեկտոնոֆիզիկան, որը հանդիսանում է տեկտոնական երևույթների հետազոտման նոր մեթոդ:

Տեկտոնոֆիզիկան կոչված է բացատրելու երևույթների երկրաբանական, ֆիզիկական առանձնահատկությունների կապը և տալու նրանց առաջացման մեխանիզմը:

Տեկտոնոֆիզիկան կոչվում է բացատրելու երևույթների երկրաբանական, ապառների ճեղքավորվածություն, հորստերի, գրաբեկների և վրաշարժերի առաջացումը բրախիանտիկլինալային ծալքերի վրա: Անտիկլինալի զարգացման վաղ շրջանում տարրական, սկզբնական ճեղքերը առաջանում են առանձին, իրարից անջատ: Մալքի զարգացումը հանդեցնում է նրանց մասսայական միացմանը, և խոշոր տեկտոնական խզվածքների առաջացմանը անտիկլինալի մերձգաղաթային մասերում: Հետազոտյում կատարվում է ճեղքառաջացման տեղափոխություն դեպի ծալքի թևերը:

Ընդհանրապես, սկզբնական ճեղքերն ունեն թեք անկում, որոնց մի մասը հետազոտյում ձևոր է բերում ավելի փոքր անկման անկյուններ: Հորստերը և գրաբեկները առաջանում են անտիկլինալի զարգացման համեմատաբար ուշ

շրջանում: Վերջիններս ըստ առաջացման ժամանակի մի փոքր էա են մնում հորստերից: Աստիճանաձև վարնետքերը սահմանափակվում են կտրման ճեղքերով: Նույնպիսի ճեղքերով են սահմանափակվում նաև վերնետքերը, որոնք առաջանում են անտիկլինալի թևերի հեռավոր մասերում: Վերջիններիս զարգացման ինտենսիվությունը կախված է ծալքավորվող հաստվածքի հզորությունից:

Ղափանի բրախիանտիկլինորիումը, իր սարուկտուրային հատուկ ձևեր, բազմազանությամբ արդյունք է ուղղաձիգ (ներքեից վերև) տեկտոնական ուժերի սերգործության:

Л И Т Е Р А Т У Р А

- Ананян Э. В. Некоторые черты трещиноватости пород Кафанского брахиантаклинория. Изв. АН Арм. ССР. Науки о Земле. XIX, 3, 1966.
- Гзовский М. В. Основные вопросы тектонофизики и тектоника Байджансайского антиклинория. Части III и IV. Изд. АН СССР, 1963.
- Гзовский М. В., Черткова Е. И. Моделирование волнистости простирания крупных тектонических разрывов. Изв. АН СССР, серия геофиз., № 6, 1953