

Г. М. АВЧЯН, Г. П. СИМОНЯН

## О ВОЗМОЖНЫХ (ПРОГНОЗНЫХ) НАПРАВЛЕНИЯХ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ ПОРОД (НА ПРИМЕРЕ СПИТАКСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ, АРМССР 7. XII. 1988 г.)

С позиции пространственно-направленной палеомагнитной слоистости пород расчетным путем определены возможные направления разрыва при Спитакском землетрясении 7 декабря 1988 г.

Показано, что основные направления трещинообразования и разрывов совпадают с палеомагнитными плоскостями, обусловленными магнитным полем времени и места формирования пород. Путем палеомагнитных исследований определяется направление древнего геомагнитного поля и по направлению этого поля—относительное расположение вышеуказанных плоскостей.

По данной методике ранее прогнозировались направления разрушения пород в лабораторных условиях, установлена связь между осью образованных или активизированных вытянутых структур и направленностью древнего геомагнитного поля.

По этой же методике установлено, что на территории, охваченной землетрясением, должны быть два главных направления трещинообразования и разрывов. Азимут первого направления  $90\text{—}120^\circ$ , а наклонение  $48\text{—}54^\circ$  СВ или  $42\text{—}36^\circ$  ЮЗ. Азимут второго направления  $0\text{—}30^\circ$  с наклонением  $90^\circ$ . Сравнение этих данных с инструментально наблюдаемыми показывает хорошее согласие с первым расчетным направлением. Выдвигается предположение, что на рассматриваемой территории должны быть разрывы или системы трещиноватости и по второму расчетному направлению, т. е. с азимутом  $0\text{—}30^\circ$  и наклонением  $90^\circ$ .

Одной из основных петрофизических характеристик горных пород является направление их разрушения при воздействии механических сил. Определение или прогнозирование направления возникновения новых магистральных основных или главных трещин имеет важное практическое значение при микросейсморайонировании городов в сейсмоактивных районах (особенно в районах массовой застройки промышленных и жилых объектов), для повышения эффективности применяемых на практике методов разработки месторождений полезных ископаемых, при проектировании и строительстве гидротехнических сооружений и т. д.

До настоящего времени предполагается, что направление разрушения в основном произвольное или совпадает с направлением воздействия силы. В случае наличия в породе дефектов в виде трещин разрушение идет параллельно плоскости трещиноватости, если направление воздействия силы близко или совпадает с плоскостью трещиноватости. Более сложная картина разрушений наблюдается при наличии в породах нескольких систем трещиноватости, тем более, если направление каждой системы составляет угол по отношению к направлению действующей силы более  $45^\circ$ .

Таким образом, прогноз направления разрушения пород фактически сводится к определению направления (плоскости) трещиноватости и направления этой плоскости относительно действующих механических сил.

Согласно пространственно-направленной палеомагнитной анизотропии пород [1, 2, 3, 4] в последних, кроме гравитационной (горизонтальной) слоистости, имеются слои, взаимное расположение которых определяется направлением древнего геомагнитного поля места и времени формирования породы. Здесь термин «слоистость» не является синонимом термина, обозначающего сложение пород из масс, различающихся по составу [9]. Условно под «слоистостью» мы подразумеваем расположение частиц определенного состава (распределение напряжений, деформаций и т. д.) по определенным направлениям. Эта «слоистость» не имеет визуальной поверхности раздела по параллельным направлениям, как например, при текстурной слоистости или при напластовании.

При наличии в породе нескольких пересекающихся систем трещи-

поватости район их пересечения в интервале острых углов вследствие своей жесткости является концентратором напряжений и энергетически выгодным местом для развития неупругих деформаций и образования разрывов [6]. При этом величины этих напряжений зависят от числа пересекающихся систем трещиноватости « $n$ », их интенсивности  $K_{гр,i}$  и значений углов между ними ( $j_1 - j_2 = \Delta j$ ). Параметр, характеризующий возможность концентрации напряжений в направлении  $\varphi$  и  $D_{пр}$  (параметр накопления напряжений) определяется уравнением [5].

$$L = \frac{A}{\left| -(n-1) + \sum_{i=1}^n (1 + Aa_i^2)^{1/2} \right| - 1} \quad (1)$$

где

$$A = \beta_{гр, \max} / (\beta_{тв} + \beta_{гр} K_{гр}); \quad (2)$$

$$a_i = \cos \gamma_i \cos \beta \operatorname{str} j_i \operatorname{str} (D_{гр} - D_i) - \sin \beta \cos i_i \cos \gamma_i + \cos \varphi \cos \gamma_i \cos (D_{пр} - D_i);$$

$\beta_{тв}$ ,  $\beta_{гр}$  — сжимаемость соответственно гранулярных пор и твердой фазы породы;  $\beta_{гр, \max}$  — максимальная сжимаемость трещины по направлению, перпендикулярному к плоскости трещины. Углы  $\gamma_i$ ,  $\varphi$  и  $j_i$  отсчитываются относительно горизонтальной плоскости, а  $D_{пр}$  и  $D_i$  — относительно современного магнитного меридиана.

Наличие в породах нескольких систем трещиноватости создает условия для их энергетического взаимодействия как в зоне пересечений, так и в пространстве, заключенном между этими системами. При значительной разности интенсивности объемной или линейной трещиноватости рассматриваемых систем, зона разрушений больше будет примыкать к системе с большей интенсивностью трещиноватости [6].

При переходе от палеомагнитных направлений к истинным направлениям в природе необходимо кроме учета направления действия механических сил также учитывать положение пласта в пространстве, т. е. тектоническое положение пласта и направления палеомагнитных слоев в древней системе координат. На рис. 1 приведена схема расположения палеомагнитных слоев в пласте до (а) и после (б) образования структуры.

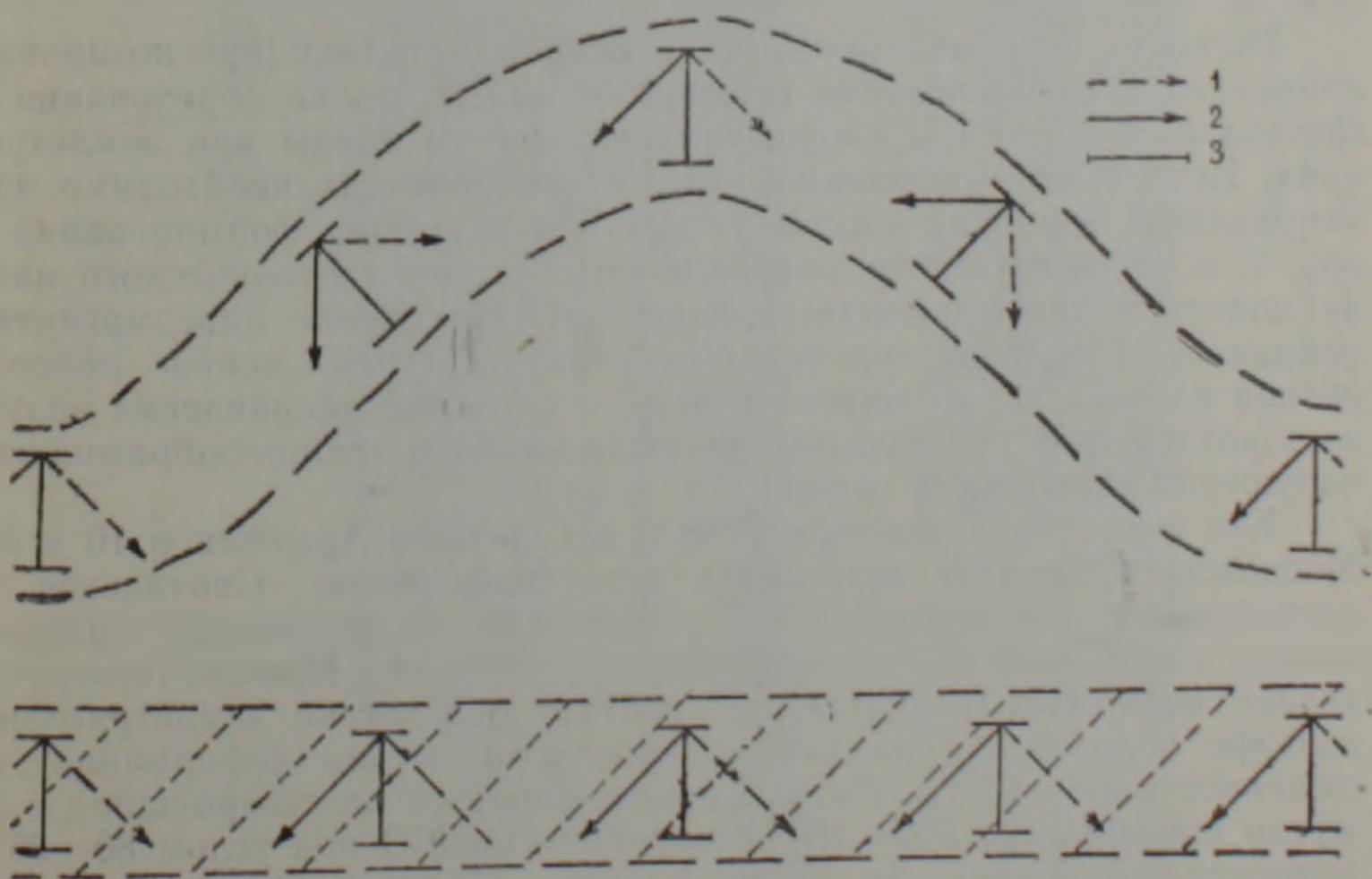


Рис. 1. Положение магнитных слоев I вида и гравимагнитных слоев до и после образования геологической структуры (складки)

а — до образования структуры; б — после образования. 1 — магнитные слои I вида; 2 — гравимагнитные слои; 3 — направление, перпендикулярное плоскости напластования.

Если до образования структуры гравимагнитные слои направлены под углом  $j$  относительно вертикальной оси  $z$ , то после формирования антиклинальной или синклинальной структуры или складки направления гравимагнитных слоев на разных крыльях складки будут иметь разные значения, равные  $j \pm \alpha$ , где  $\alpha$  — угол падения складки.

В частности, если  $j = 45^\circ$  и  $\alpha = 45^\circ$ , то на одном крыле гравимагнитные слои будут направлены горизонтально, а на противоположном — вертикально. Эта особенность имеет важное значение не только при анализе процессов трещинообразования, но и при анализе условий движения гидротермальных растворов и рудообразовательных процессов по системам трещин, развитым параллельно направлениям палеомагнитной слоистости, в случае изучения условий миграции нефти и газа в пределах нефтегазоносных структур, при эксплуатации месторождений, расположенных на разных крыльях структуры, при определении проницаемости и нефтеотдачи пласта и т. д. Эти вопросы имеют важное практическое значение и должны быть предметом особого рассмотрения. В данной статье мы ограничиваемся только указанием необходимости анализа этих процессов с позиции палеомагнитной слоистости.

Рассмотренные концепции о наличии в породе палеомагнитной слоистости и концентрации напряжений в районах острых углов при нескольких системах трещиноватости были положены в основу прогнозирования направления разрушения пород в лабораторных условиях в случае внедрения цилиндрического штампа [1]. Отклонение направления разрушения от теоретически рассчитанного не превышало  $\pm 15^\circ$  в 42 случаях из 52, т. е. составляло 80%. Лишь для 6 образцов это отклонение достигало  $30-40^\circ$ .

С позиции направленного изгибания пластов с палеомагнитной слоистостью были изучены соотношения между осью образованных или активизированных вытянутых структур и направленностью геомагнитного поля данного времени на территории Армянской ССР [3]. Угол между этими направлениями в 14 случаях из 17 соответствует теоретически рассчитанному. Отклонение не превышало  $\pm 9^\circ$ . В трех случаях отклонение составляло  $30^\circ$ . Аналогичные исследования для территории Азербайджанской ССР показали, что в 6 случаях из 8 это отклонение не превышает  $\pm 2^\circ$ . В двух случаях различие достигало  $30^\circ$  [5].

Положим эти же концепции в основу методики прогнозирования направления возникновения трещиноватости, а также образования магистральных трещин и нарушения сплошности среды при землетрясениях. Исходя из вышеизложенного, в этих случаях необходимо знать направление геомагнитного поля места и времени формирования пород, т. е. палеомагнитное направление с учетом тектонического наклона пласта в древней системе координат. На основе палеомагнитного направления должны определяться азимуты и наклоны палеомагнитной слоистости, их интенсивность, и с учетом направления возможного воздействия сил прогнозировать плоскости трещинообразования и нарушения сплошности среды.

Как известно, 7 декабря 1988 г. в Северной Армении в 10 ч 40 м Московского времени произошло катастрофическое Спитакское землетрясение с магнитудой  $M=7$ . Эпицентр землетрясения находился между гор. Спитак и г. Гехасар, на левом берегу р. Памбак (северо-восточное подножье Памбакского хребта). Вследствие землетрясения в рельефе образовался разлом (сеймотектоническая деформация), протяженностью 8—10 км. Разлом прослеживается на северо-запад с азимутом простирания  $300-310^\circ$  с падением на ЮЗ под углом  $80-85^\circ$  (в эпицентральной зоне) до  $60^\circ$  на флангах. На поверхности разлом сбросо-сдвигового типа с амплитудой вертикального перемещения до 1,5 м в эпицентре (рис. 2), которая на флангах уменьшается до 50—30 см. Амплитуда горизонтального смещения оценивается до 1,0 м в районе



Рис. 2. а) Разлом сбросо-сдвигового типа (сеймотектоническая дислокация) образованный в эпицентре Спитакского 10-балльного землетрясения 7.12. 1988 года.  
б) Трещины на дороге Спитак-Налбанд после землетрясения. Азимут простирания  $110^{\circ}$  ЮВ— $290^{\circ}$  СЗ.

ж. д. станции Налбанд и несколько десятков сантиметров к ЮЗ и СЗ от эпицентра. Судя по расположению афтершоков, на глубине сбросо-сдвиг переходит в взбросо-сдвиг. Эпицентр землетрясения расположен в гидротермально измененных туфогенных породах среднего эоцена [6]. Параллельно основному сейсмическому шву в коренных породах в почвенном слое образовалась зона трещиноватости (в виде зияющих трещин шириной 25—30 см) общей мощностью до 30—40 м.

По мнению американских сейсмологов (устное сообщение д-ра Симонса и д-ра Роджерса), при обработке данных сейсмических исследований азимут простирания основного разрыва в районе эпицентра (Спитак-Налбанд) составляет 110—130° ЮВ, 290—310° СЗ, а наклонение 45° СВ.

Аналогичные результаты получены французскими исследователями (ИФЗ г. Страсбург). По их данным, также разлом направлен по линии З-СЗ-Ю-ЮВ между г. Спитак и с. Налбанд.

На основе предложенного нами принципа определения слоистости пород оценим расчетным путем азимуты и наклонения палеомагнитных слоев для пород Северной Армении, как наиболее вероятных направлений разрушения при землетрясениях, с последующим сравнением этих данных с практически наблюдаемыми.

Таблица 1

Палеомагнитные направления стратиграфических единиц по территории Армении:

№№ п п	Индексы данных из сводного каталога, использованные для расчета	Возраст	Объект исследования	палеомагнитные направления		направления разрушения	
1	01031—01045 02045—02047	четвертичные	лава, туфы, осожженные осадки	349	53.8	259	54 СВ
						259	144 ЮВ
						349	90
2	03018—03034	палеоген	песчаники, туфы, андезиты	2.4°	52°	282	52° СВ
						282	142° ЮЗ
						Z	90°
3	04039—04048	м е л	эффузивные осадочные порфириты	13.3	48.9	233	4° СВ
						283	139 ЮЗ
						13	90
4	05021—05041	ю р а	порфириты, туфопесчаники	20.8	47.8	290	48 СВ
						290	138 ЮЗ
						20	90°

Здесь приведены индексы по сводному каталогу I «Палеомагнитные направления...» [8].

Как отмечалось, в районе землетрясения распространены породы четвертичного, палеогенового и мелового возраста. Породы представлены туфами, андезитами, туфопесчаниками, известняками.

В табл. 1 приведены палеомагнитные направления для каждой стратиграфической единицы. Эти данные рассчитаны по материалам Мирового центра данных Б Межведомственного геофизического комитета при АН СССР [8]. При этом была проведена статистическая обработка данных по методике Фишера [10] на уровне стратиграфических единиц. На основе палеомагнитных направлений рассчитаны прогнозные направления трещиноватости и разрушения пород (табл. 1). Сравнение этих данных с результатами полевых наблюдений показывает хорошую сходимость, как азимута простирания, так и наклонения плоскости сброса. Это сравнение показывает также, что на территории, охваченной землетрясением, должно иметь место еще одно направление разрывов с азимутом (350—30°) — (170—210°). Угол падения должен быть близким к 90°.



սիս-արևելք  $48-54^\circ$ , կամ հարավ-արևմուտք՝  $36-42^\circ$ , երկրորդ ուղղության ազիմուտը  $0-30^\circ$  է,  $90^\circ$ -անոց անկմամբ: Այդ տվյալների համադրումը գործիքային դիտարկումների հետ ցույց է տալիս նրանց լավ համապատասխանությունը առաջին հաշվարկային ուղղության հետ: Ենթադրություն է արվում, որ դիտարկվող տարածքում պետք է գոյություն ունենա նաև խզումների կամ ճեղքերի համակարգեր երկրորդ հաշվարկային ուղղությամբ, այսինքն՝  $0-30^\circ$  ազիմուտով և  $90^\circ$  անկմամբ:

H. M. AVCHIAN, G. P. SIMONIAN

ON POSSIBLE (PROGNOSTIC) DIRECTIONS OF THE ROCKS FRACTURING AND DESTRUCTION (THE ARMENIAN SSR, SPITAK EARTHQUAKE, DECEMBER 7, 1988, BEING AN EXAMPLE)

A b s t r a c t

From the position of the rocks paleomagnetic bedding direction, the Spitak earthquake fractures possible directions are calculated. It is shown, that the fracturing general directions coincide with the paleomagnetic planes, origin of which is stipulated by the paleomagnetic field and the place of the rocks formation. By means of the paleomagnetic investigations the direction of the ancient geomagnetic field is determined and, hence, the relative position of above mentioned planes is determined.

By these methods the rocks fracturing directions have been experimentally determined. The relation between newly formed or activated elongated structures axis and the ancient geomagnetic field direction is established.

By these methods it is also established, that there must be two general directions of fracturing. The first one has an azimuth  $90^\circ-120^\circ$  with a dip NE  $48^\circ-54^\circ$  or SW  $36^\circ-42^\circ$  and the second one has an azimuth  $0^\circ-30^\circ$  with a dip  $90^\circ$ . These data and the instrumentally observed ones are in a good accord with the first direction. It is supposed the presence of the second one in the earthquake region.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авчян Г. М., Маркосян Г. В. Прогноз направления разрушения пород.—Изв АН АрмССР, Науки о Земле, 1987, № 1, с. 62—66
2. Авчян Г. М., Гентеман Л., Маркосян Г. В. Анизотропия скорости упругих волн в горных породах.—Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1988, № 3, с. 39—46
3. Авчян Г. М., Маркосян Г. Г., Назаретян С. Н. Связь между направлением геомагнитного поля и геоструктурами Армении в период их заложения.—Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1985, № 6, с. 49—54
4. Авчян Г. М., Маркосян Г. Г., Оганесян С. Р. Роль магнитного поля при осаждении частиц.—ДАН АрмССР, т. 87, № 1, с. 79—84.
5. Авчян Г. М., Исмаил-Заде Т. А., Маркосян Г. Г., Назаретян С. Н. Соотношение направлений осей некоторых палеоструктур Азербайджана и геомагнитного поля периода их заложения.—Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, XL, № 4, 1987, с. 61—63
6. Авчян Г. М., Микаелян А. О. О конфигурации линейментов и связи ее с сейсмичностью (в печати)
7. Габриелян А. А., Саркисян О. А., Симонян Г. П. Сейсмотектоника Армянской ССР, Ер.: Изд. Ереванского университета, 1981, 284 с.
8. Материалы мирового центра данных. Палеомагнитные направления и положения палеомагнитных полюсов. Данные по СССР. Сводный каталог 1. Международный геофизический комитет при президиуме АН СССР, М., 1984, 94 с.
9. Петрографический словарь, М., Госгеолтехиздат, 1963, 447 с
10. Храмов Л. Н., Шолло Л. Е. Палеомагнетизм, Принципы, методы и геологические приложения палеомагнетологии, Л.: Недра, 1967, 252 с.