

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

Г. И. ТЕР-СТЕПАНЯН

КЛАССИФИКАЦИЯ ОПОЛЗНЕВЫХ ТРЕЩИН

Одним из отчетливых морфологических признаков оползневых явлений являются многочисленные трещины, изрезающие оползневое тело в различных направлениях. Анализ этих трещин может сыграть существенную роль при изучении природы оползневого процесса. Оползневые трещины могут иметь самый различный внешний вид.

Оползневой трещиной называется поверхность шва вдоль каждого нарушения сплошности земляного массива; к трещинам относятся как те поверхности, по которым произошло разделение и разъединение земляного тела, так и те поверхности, по которому разделившиеся земляные массы позже сомкнулись, и наконец те поверхности, по которым надвигающиеся земляные массы соприкасаются с ненарушенным грунтом. Обращенные друг к другу бровки земляного массива, разделенного трещиной, называются плечами трещины.

Оползневые трещины могут дать качественное представление об общем характере распределения напряжений в оползающем массиве. Для возможного применения известных соотношений между напряжениями и деформациями, можно указать зоны, в которых процесс формоизменения является монотонным или приближенно монотонным; сюда относятся все периферические области оползней: верховая зона, в которой развиваются растягивающие напряжения; боковые зоны, в которых преимущественно развиваются касательные напряжения; низовая зона, в которой развиваются напряжения сжатия и, наконец, область оползневого ложа, в которой развиваются сжимающие и касательные напряжения, ведущие в дальнейшем к образованию поверхности скольжения оползня.

В центральных областях оползневого тела даже и в начальной стадии процесса наблюдается значительно более сложная картина формоизменения, так как здесь компенсируются все отклонения от прямолинейного равномерного движения, происходящие как вследствие неровностей области оползневого ложа и непрямолинейности бортов, связанных с неравномерной сопротивляемостью материала, так и вследствие неодновременности развития оползнеобразующих факторов.

Характер оползневых трещин тесно связан с генетическим типом оползней и геологическим строением местности. При одном и том же напряженном состоянии земляного массива, вид и размеры трещин могут оказаться различными в случае маломощного оползня-по-

тока в Ульяновске, пластичных оползней в Вольске, массивных оползней—блоков в Одессе или медленных оползней Дзорагета.

Оползневые трещины подразделяются на две большие группы:

1. *Поверхностные трещины*, расположенные преимущественно в растительном слое, легко доступные для изучения. Вследствие процессов выветривания, особенно энергично происходящих в этом слое, и солифлюкции, поверхностные трещины быстро исчезают, и поэтому трещины, наблюдаемые на поверхности оползня дают правильное представление о современном напряженном состоянии склона.

2. *Глубинные трещины*, расположенные во всей области оползневого тела; они трудно доступны для изучения, так как требуют проходки шурфов. Будучи защищены от непосредственного воздействия агентов выветривания, глубинные трещины могут сохраняться в свежем состоянии весьма долгое время. Глубинные трещины дают сведения не только о современном состоянии, но и о таком, которое имело место в предшествующих статических условиях склона. Вследствие того, что установление возраста различных глубинных трещин обычно бывает затруднительным, ценность их изучения сомнительна.

Изучение поверхностных трещин ведется путем их полевого описания и картирования; в некоторых случаях производится измерение основных элементов трещин — ширины, глубины и амплитуды (разности уровней) плеч¹.

Глубинные и поверхностные трещины представляют собой единую систему, отражающую распределение напряжений в оползневом теле, которое имело место до возникновения разрывных деформаций, и их совместное изучение было бы наиболее продуктивным для установления напряженного состояния склона. Однако, вследствие консервации и трудной доступности, роль глубинных трещин существенно снижается, и основное значение приобретает изучение поверхностных трещин.

На оползнях помимо трещин оползневого происхождения встречаются трещины и другого генезиса — трещины напластования, тектонические, усыхания, выветривания и др. Трещины этого рода здесь не рассматриваются. Их обстоятельная сводка была дана Е. П. Емельяновой [3].

Классификация поверхностных оползневых трещин

Дифференциация оползневых трещин связана с именами нескольких ученых; из работ последнего времени должны быть упомянуты исследования И. С. Рогозина [4], К. Краускопфа и др. [8].

Автор в 1941 г. разработал морфогенетическую классификацию поверхностных трещин в оползнях, развивающихся в делювиальном

¹ Автором был показан способ определения глубины трещин, не прибегая к их раскапыванию [6]; в другом месте сопоставлены результаты точных измерений элементов трещин оползня в олигоценовых глинах с их типом [5].

покрове склонов [5]. В дальнейшем эта классификация была переработана и в этом виде излагается ниже.

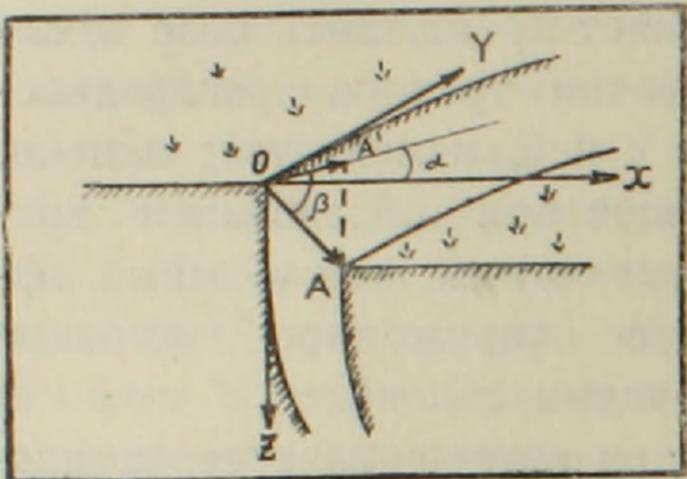
В основу предлагаемой классификации положен *характер напряжений*, вызывавших данную разрывную деформацию — трещину. Этот естественный признак выявляет внутренние напряжения, господствующие в движущихся массах, и позволяет представить себе механизм оползня. Понятно, что после образования трещин, распределение напряжений в области, примыкающей к ней, изменяется; однако, перераспределение напряжений, наступающее при образовании трещин в большинстве случаев может рассматриваться, как местный эффект, не оказывающий влияния на общее напряженное состояние массива, определяемое статическими условиями склона.

Руководящим признаком классификации автора является *направление вектора полной деформации по отношению к плоскости трещины*. Имея ввиду связь, которая существует между напряжениями и деформациями, этот классификационный признак можно сформулировать, как направление вектора полного напряжения по отношению к плоскости потенциальной трещины. Здесь подчеркивается выражение „потенциальной“, так как в тот момент, когда действовало полное напряжение, направление которого нами разыскивается, трещина еще не существовала и она была только в потенции; после же образования трещины, произошло местное перераспределение напряжений, и следовательно, в исследуемый момент уже не существует того напряжения, которое вызвало данную разрывную деформацию — трещину.

Таким образом, величина и положение угла, образованного вектором полной деформации с нормалью к поверхности трещины прямо связаны с напряжением, вызвавшим данную оползневую трещину, и следовательно, могут служить для характеристики напряженного состояния земляного массива в рассматриваемом месте.

В ряде случаев наряду с основными или первичными трещинами, на оползне возникают и вторичные трещины. Так, в нижней части оползня, под действием сжимающих и касательных напряжений, на контакте языка с неподвижным массивом образуется трещина, отделяющая надвигающиеся земляные массы. При этом поверхностные слои грунта продольно изгибаются, и под действием местных растягивающих напряжений (которыми сопровождается изгиб), на поверхности грунта образуются открытые трещины, носящие вторичный характер. Ясно, что для анализа общего напряженного состояния земляного массива имеют значение только те трещины, которые определяются общими статическими условиями склона, т. е. основные или первичные трещины. Характер же вторичных трещин определяется только местными напряжениями, и поэтому они не играют роли при решении вопроса о механизме оползания; их изучение необходимо лишь в той мере, в какой они позволяют яснее понимать природу основных трещин.

Направление полного вектора OA деформации определяется вертикальным углом β , который этот вектор образует со своей проекцией OA' на горизонтальную плоскость XOY и горизонтальным углом α , который проекция OA' вектора образует с нормалью OX к линии простирания трещины (фиг. 1); если трещина криволинейная, то рассматривается ее малый элемент, который может быть заменен прямолинейным. В зависимости от величины и знака этих углов, оползневые трещины разделяются на типы, иллюстрируемые двумя схемами.

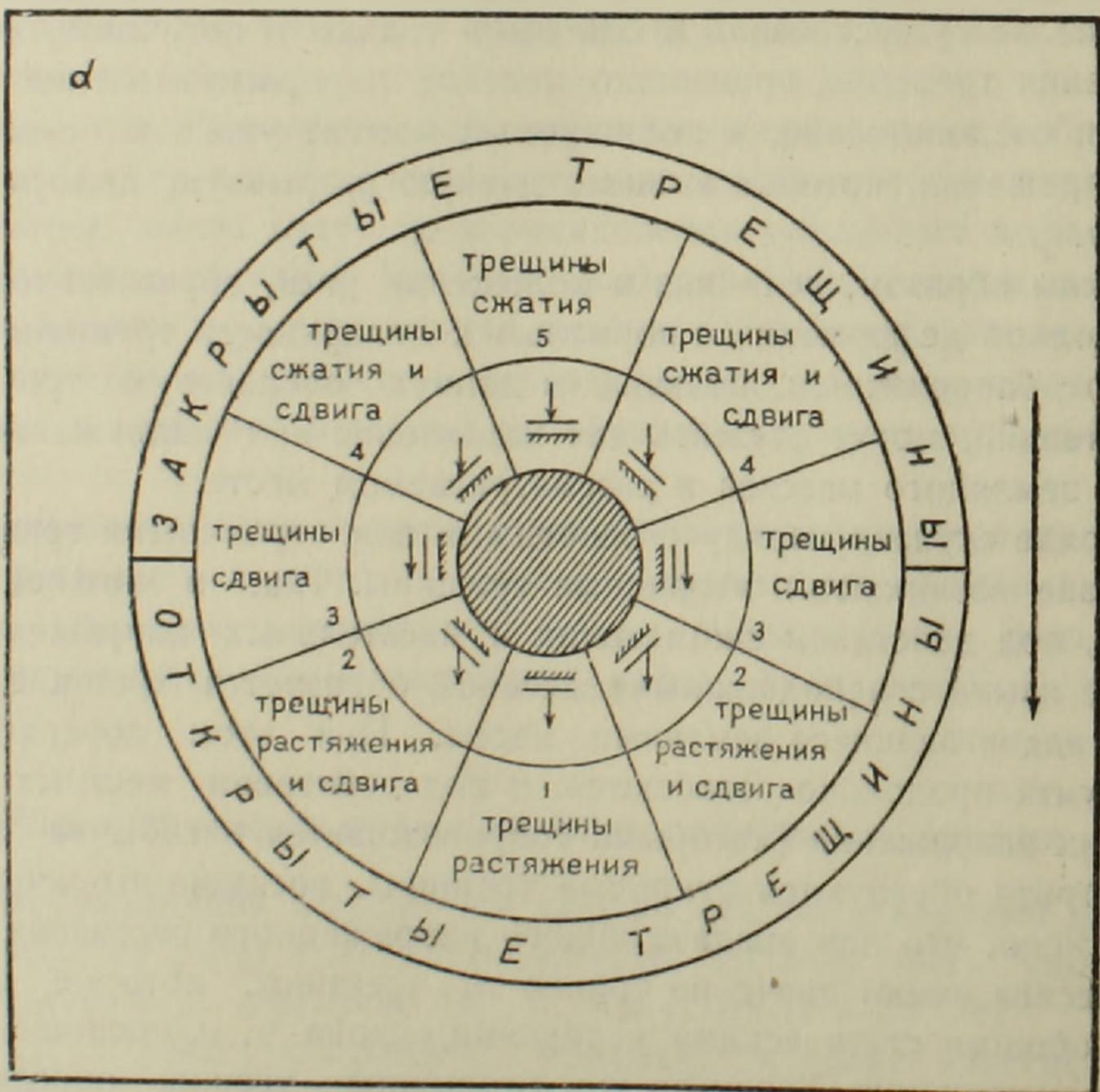


Фиг. 1. Вектор полной деформации и образуемые им углы α и β .

Здесь центр кругов изображает рассматриваемую точку на поверхности трещины, а радиусы-векторы, проведенные из него—линии действия векторов деформации; сами векторы деформации направлены к центру круга в верхней части чертежа и от центра—в нижней.

Фиг. 2 показывает типы оползневых трещин, выделяемые в зависимости от величины и знака угла α , образуемого горизонтальной проекцией вектора деформации с линией простирания трещины.

Здесь центр кругов изображает рассматриваемую точку на поверхности трещины, а радиусы-векторы, проведенные из него—линии действия векторов деформации; сами векторы деформации направлены к центру круга в верхней части чертежа и от центра—в нижней.



Фиг. 2. Схема оползневых трещин по признаку горизонтального угла α .

Направление движения оползня принято сверху вниз, как это показано стрелкой справа. Внутренний заштрихованный круг изобра-

жает неподвижную часть массива, пересеченного трещиной; этот круг имеет мнемоническое значение для понимания условных знаков, которыми обозначаются различные трещины. Последние показаны в следующем поясе круга¹. Оползневые трещины по признаку горизонтального угла α различаются так:

1) *трещины растяжения*, когда горизонтальная проекция вектора деформации направлена внаружу, приблизительно перпендикулярно к линии простирания трещины;

2) *трещины растяжения и сдвига*, когда горизонтальная проекция вектора деформации направлена внаружу под углом к линии простирания трещины;

3) *трещины сдвига*, когда горизонтальная проекция вектора деформации направлена приблизительно параллельно линии простирания трещины;

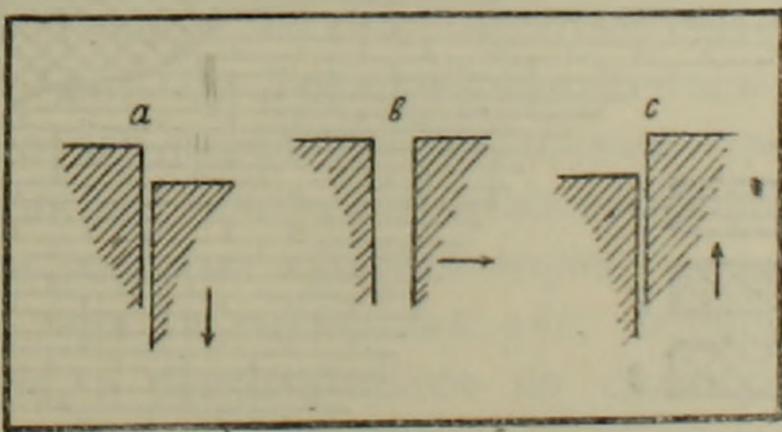
4) *трещины сжатия и сдвига*, когда горизонтальная проекция вектора деформации направлена внутрь под углом к линии простирания трещины, и

5) *трещины сжатия*, когда горизонтальная проекция вектора деформации направлена внутрь приблизительно перпендикулярно к линии простирания трещины.

В отношении последних следует указать, что трещины сжатия в чистом виде самостоятельно не образуются, т. е. что на оползне не возникает трещин, направленных перпендикулярно к линии перемещения сжимающихся земляных масс. Однако, в тех случаях, когда зона растяжения оползня, при эволюции оползневого процесса, переходит в зону сжатия, образовавшиеся ранее открытые трещины растяжения закрываются, а затем и сжимаются, приобретая характерные новые морфологические черты. Подробнее о таких трещинах сказано ниже.

В последнем поясе схемы (фиг. 2) указан внешний вид трещин—открытые в тех случаях, когда горизонтальная проекция вектора деформации направлена внаружу, и закрытые, когда она направлена внутрь.

На фиг. 3 показаны оползневые трещины в зависимости от величины и знака вертикального угла β , образуемого вектором деформации с его проекцией на горизонтальную плоскость. Оползневые трещины по признаку вертикального угла β различаются так:



Фиг. 3. Оползневые трещины в зависимости от вертикального угла β .

¹ Деление пояса на секторы на фиг. 2 условное и не выражает количественных соотношений между величинами углов отклонения вектора деформации от нормали к плоскости трещины и видом деформации.

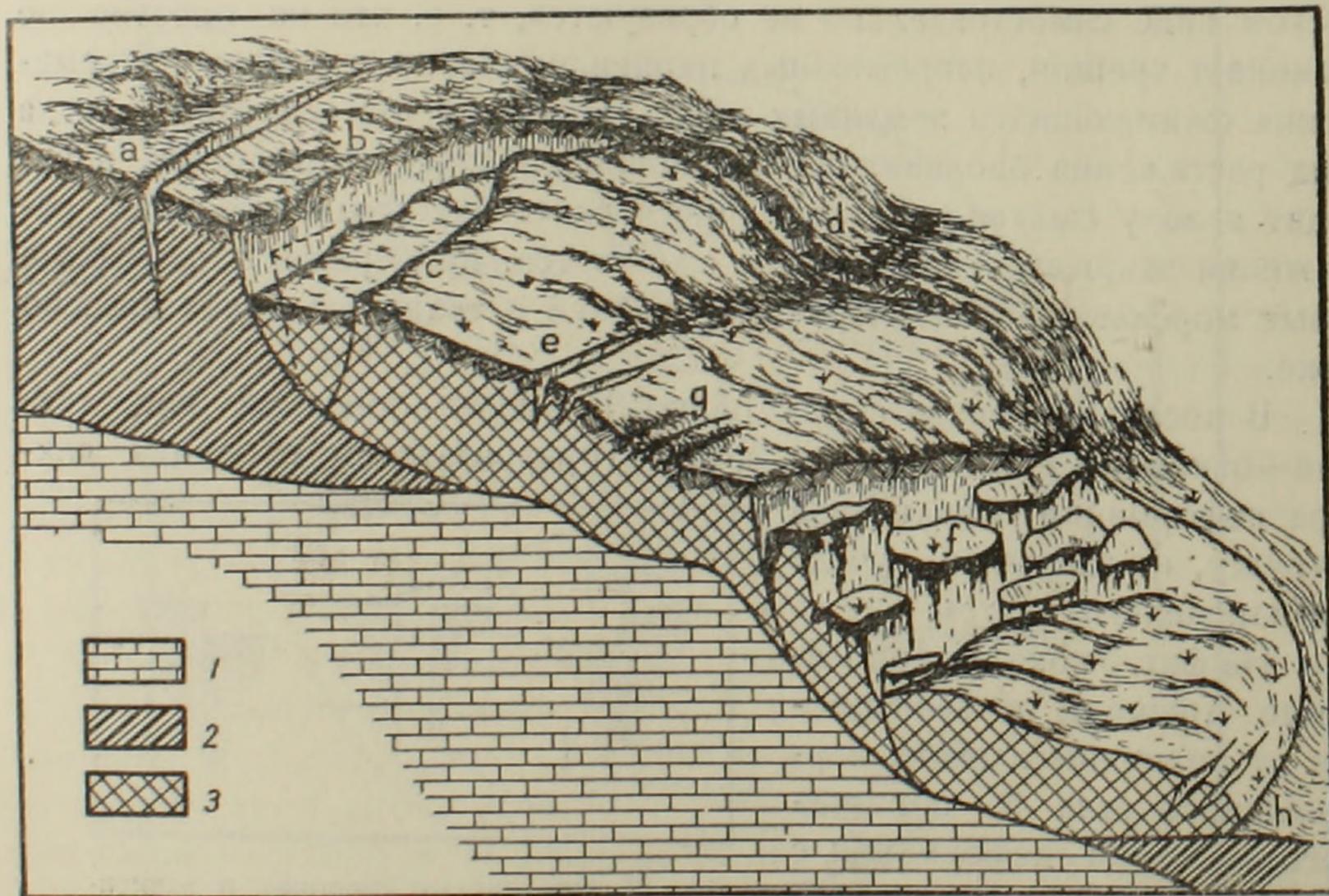
а) *опущенные трещины*, когда вертикальная проекция вектора деформации направлена вниз; они свидетельствуют о развитии касательных напряжений при опускании массива;

б) *горизонтальные трещины*, когда вертикальная проекция вектора деформации имеет небольшую величину, свидетельствующую о незначительности касательных напряжений, развиваемых при перемещении массива по вертикали, и

с) *поднятые трещины*, когда вертикальная проекция вектора деформаций направлена вверх; они свидетельствуют о развитии касательных напряжений при поднятии массива.

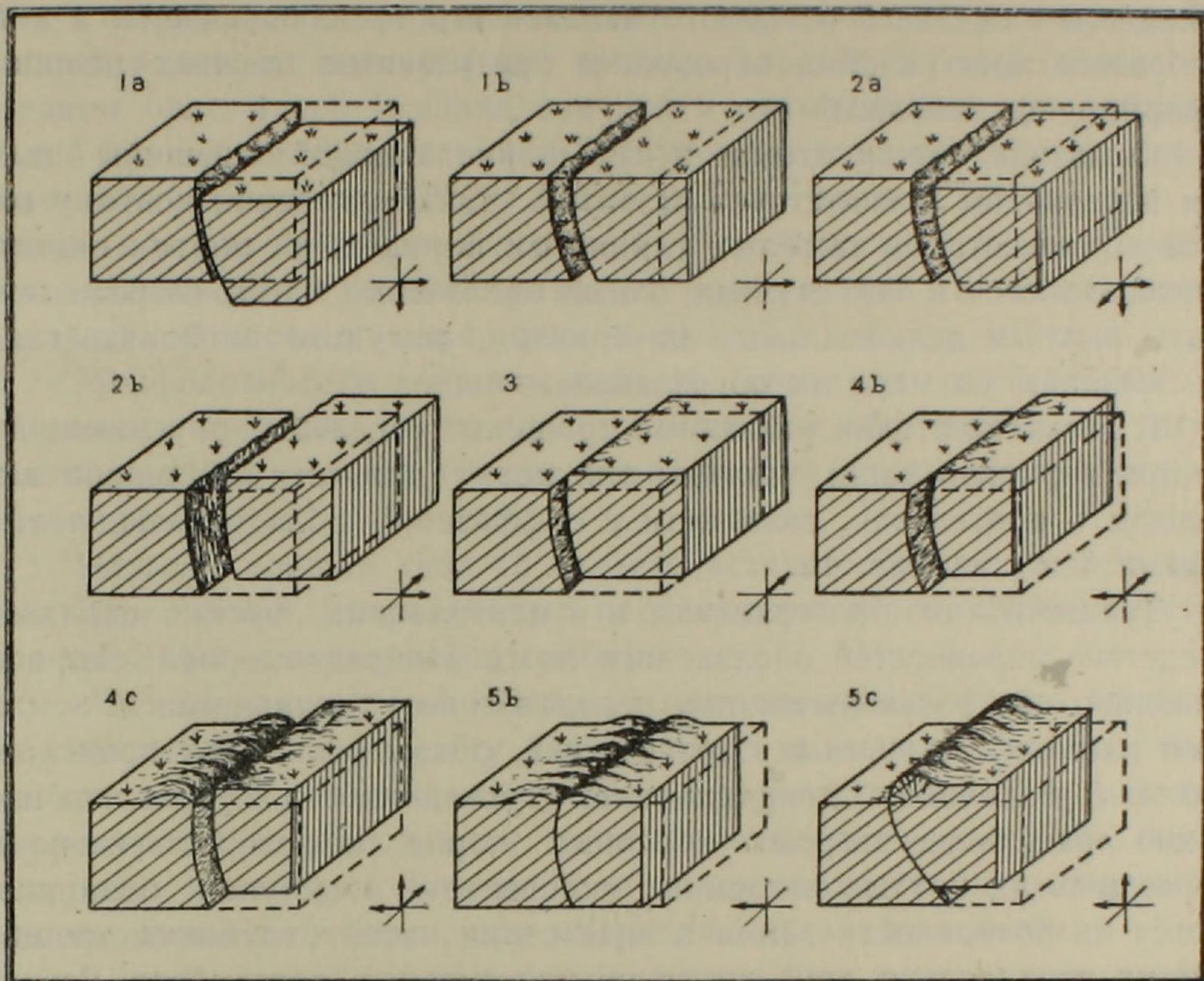
Введение более дробных подразделений не представляется целесообразным, по крайней мере на данной стадии изучения.

Основные типы оползневых трещин классифицируются в зависимости от значения горизонтального и вертикального углов, как было показано выше. Эти типы трещин сочетают обе характеристики и обозначаются комбинированным символом арабских цифр от 1 до 5 и латинских букв от а до с. Так, тип 1б обозначает горизонтальную трещину растяжения; такие трещины развиваются в верховой части оползня, и т. д. Ниже будут рассмотрены наиболее распространенные типы трещин; они изображены на блокдиаграмме оползня (фиг. 4) и на блокдиаграммах трещин (фиг. 5). На каждой блокдиаграмме



Фиг. 4. Блокдиаграмма оползня с показанием трещин. 1 — коренные породы; 2 — делювий склонов; 3 — оползневые накопления.

трещин левая часть представляет собой неподвижное плечо трещины, а правая часть — подвижное; пунктиром показано положение подвижного плеча до возникновения трещины. Рядом изображены координатные оси, на которых стрелками показаны пресекции вектора деформации.



Фиг. 5. Блок-граммы различных типов оползневых трещин.

Морфология различных типов поверхностных оползневых трещин

Тип 1а — опущенные трещины растяжения очень распространены и обычно располагаются в верхней части оползня (фиг. 4, б). В плане имеют форму дуги, обращенной вогнутостью в сторону движения оползня; хорда этих дуг перпендикулярна направлению движения. В развитой стадии трещины имеют сильное раскрытие, сопровождающееся опусканием нижней части массива, часто со значительным обнажением стенки отрыва (фиг. 5). Трещины этого типа часто маскируются при осыпании верхового плеча и заполнении трещины рыхлым материалом. Края трещин не смяты, но часто обрушиваются; плечи трещин обычно венчаются рваными кусками дерна.

В другом случае трещины типа 1а имеют вид дуг, обращенных выпуклостью в сторону движения, и располагаются по склону ниже описанных ранее (фиг. 4, с); здесь опущенным является верхнее плечо. Они имеют подчиненное значение и всегда возникают после развития главных трещин растяжения, описанных ранее; трещины, обращенные выпуклостью в сторону движения оползня образуются вследствие неустойчивости клина, создаваемого при отодвигании подвижной части грунта по главным трещинам (показано пунктиром на фиг. 4). Получающаяся при этом вертикальная или даже запрокинутая стенка не может находиться в равновесии, часть грунта отделяется от распо-

ложенного ниже него основного оползневого тела, опускается в клинообразное пространство, образуемое при развитии главных трещин и деформируясь заполняет его.

Осыпание стенки отрыва и заполнение главной трещины рыхлым материалом препятствует развитию таких трещин; поэтому они чаще встречаются в тяжелых глинистых породах, и почти никогда не наблюдаются в тех случаях, когда оползневые массы сверху прикрыты рыхлым делювиальным материалом, могущим заполнять главные трещины по мере их образования.

В развитой стадии указанные трещины отделяют опускающийся участок верховой части сползня; они могут привести к ошибочным выводам о проседании, связанном с суффозией¹ (область между трещинами *b* и *c* на фиг. 4).

Трещины типа *1a* возникают и в центральных частях оползней, вследствие неровностей оползневого ложа и неравномерной скорости движения; они развиваются при переползании, скопившимися земляными массами, подземных препятствий, обязанных своим происхождением различной денудационной устойчивости выступающих на дне ложа более твердых коренных пород, краев аллювиальных террас и т. д.; крутые подземные склоны этих выступов обнаруживаются на поверхности земли в виде серии частых, глубоких трещин, идущих параллельно друг другу по простиранию подземного уступа.

Если земляные массы представлены рыхлым, сравнительно влажным делювием, то число параллельных трещин может быть велико и они порой образуют гигантскую лестницу уступов (землепады); если земляные массы более плотны и менее влажны, то трещины типа *1a* рассекают оползающие массы на высокие и узкие блоки, каждый из которых самостоятельно переползает через подземный уступ (фиг. 4, *f*).

Трещины типа *1a* возникают также в регрессивной по отношению к очагу оползания² области смещающегося массива, на границе между участками движущимися с различной скоростью.

Наличие трещин типа *1a* свидетельствует о значительном развитии растягивающих напряжений, сочетающихся с касательными напряжениями, направленными вниз.

Тип 1b—горизонтальные трещины растяжения имеют большое распространение и обычно представляют собой подготовительный

¹ Возможно, что подобная трещина ограничила просевшую в 1935 г. часть склона у Большого Увека около Саратова [1]; другой пример трещин этого типа, по-видимому, наблюдался летом 1928 г. на железнодорожной линии Невиномысская—Киян на Северном Кавказе [2]. Такого же типа опускание части поверхности оползня автор наблюдал в 1949 г. на Кара-Чухурском оползне в Азербайджане и в 1953 г. на оползне на левом берегу р. Раздан, около Гюмуш в Армении.

² Под оползевым очагом понимается область в теле оползня, в которой зарождается оползневой процесс. Эта область характеризуется местной концентрацией максимальных значений степени сдвига грунта [7]. Область, расположенная выше очага оползания по склону, пазывается областью отступающего или регрессивного смещения, а ниже него по склону—наступающего или прогрессивного смещения.

этап к образованию трещины типа 1а. В верховой части оползня они располагаются по склону выше трещин типа 1а и параллельно последним (фиг. 4, а). В плане они почти прямолинейны, или обладают малой кривизной, направленной вогнутостью вниз по склону. При образовании проседающей зоны, ниже нее, по склону возникают трещины типа 1б, прямолинейные или дугобразные, с выпуклостью, направленной вниз по склону. Много трещин типа 1б встречается в центральной части оползня (фиг. 4, е).

Морфологически трещины типа 1б довольно однообразны; это недлинные трещины, по концам сходящие на нет, наиболее раскрытые в середине: плечи трещин находятся на одном уровне, края не смяты (фиг. 5).

Наличие трещины типа 1б свидетельствует о развитии растягивающих напряжений, направленных перпендикулярно к линии простирания трещины и параллельно склону.

Тип 2а—опущенные трещины растяжения и сдвига встречаются у бортов оползня между движущимися и неподвижными участками, или внутри оползня между частями, движущимися с различной скоростью; они наблюдаются, когда направление движения оползня отклоняется от борта оползня, или когда оползень активизируется у противоположного борта, при миграции оползневого очага.

В грубом приближении трещины типа 2а в плане прямолинейные, плечи неровные и несут на себе рваные куски дерна; обнажившиеся стенки трещин иногда осыпаются и тем маскируют их истинные размеры (фиг. 5).

Наличие трещин типа 2а свидетельствует о значительном развитии касательных напряжений, сочетающихся с растяжением.

Тип 2б—горизонтальные трещины растяжения и сдвига являются подготовительным этапом к образованию трещин типа 2а; самостоятельно возникают в оползнях, имеющих сравнительно узкий верхний отдел и уширенный язык. Трещины в плане прямолинейные, стенки не несут следов штриховки или истирания (фиг. 5), плечи трещин неровные и могут находиться на разных уровнях вследствие взаимного горизонтального смещения в разорванной бугристой поверхности, когда против более высокого плеча, соответствующего бугру, оказывается более низкое, соответствующее впадине.

Наличие трещин типа 2б свидетельствует о развитии растягивающих и касательных напряжений.

Тип 3—трещины сдвига возникают у бортов оползня, когда движение оползня приблизительно параллельно направлению трещины. Трещины в плане прямолинейные, стенки их несут следы штриховки и истирания (фиг. 5). Плечи трещин могут быть на разных уровнях вследствие неровности рельефа, пересекаемого трещиной, как и в типе 2а. Однако, в весьма развитой стадии оползания можно обнаружить тенденцию опускания внутреннего или подвижного плеча в верховой части оползня, и его поднятие в нижнем отделе, по срав-

нению с внешним или неподвижным плечом, в связи со сносом в области цирка и накоплением в области языка.

Наличие трещин типа 3 свидетельствует о сильном развитии касательных напряжений, действующих в плоскости трещин.

Тип 4b—горизонтальные трещины сжатия и сдвига возникают у бортов оползня, когда движение оползня направлено к борту и образует острый угол с ним (фиг. 4, d). Основная трещина со стороны движущегося массива сопровождается серией вторичных косых трещин, криволинейных и несимметричных в плане (фиг. 5). Концы вторичных трещин, обращенные к борту оползня, загнуты резче и сливаются с основной трещиной, тогда как обращенные к середине оползня концы более плавно загибаются назад, постепенно утоняются и расходятся. Трещины типа 4b—закрытые, но плечи могут быть на разных уровнях вследствие неровностей рельефа.

Наличие трещин типа 4b свидетельствует о развитии сжимающих и касательных напряжений.

Тип 4c—поднятые трещины сжатия и сдвига возникают на оползне при сильном развитии сжимающих и касательных усилий, когда угол между направлением движения оползня и линией борта больше, чем в предыдущем случае (фиг. 5). Основная трещина со стороны движущегося массива сопровождается такой же серией вторичных косых трещин, как в типе 4b; со стороны неподвижного грунта параллельно основной трещине возникает вал из напользшего ранее и припаявшегося к устойчивой зоне смятого грунта. Трещины типа 4c закрыты, но вследствие сильного давления на борт, подвижное плечо трещины обычно бывает приподнято.

Наличие трещин типа 4c свидетельствует о сильном развитии касательных напряжений, сопровождаемых сжатием.

Тип 5b—горизонтальные трещины сжатия развиваются в среднем и нижнем отделах оползня, в местах замедления движения, обусловленного каким-либо препятствием, как-то: нагромождение земляных масс, подземный барьер или горловина в пластике ложа, выступы ложа, связанные с различной денудационной стойкостью горных пород и т. п.; трещины типа 5b локализуются перед подобными препятствиями (фиг. 4, g). Они образуются также в прогрессивных по отношению к очагу ололзания областях движущегося тела, на границе между участками, смещающимися с различной скоростью.

Эти формы лишь условно могут быть названы трещинами, так как представляют собой парные смятые валики, гнущиеся поперек движения оползня; однако, распознавание этих форм является существенным при анализе напряженного состояния оползня. Плечи таких трещин или валиков находятся приблизительно на одном уровне, сами трещины закрыты (фиг. 5).

Механизм образования валиков следующий: после развития трещин растяжения в средних отделах оползня, зоны грунта, расположенные вдоль плоскости трещины выветриваются значительно бы-

стрее, чем области, отдаленные от нее; это приводит к понижению их сопротивляемости. Вследствии оползневого смещения, грунт с трещинами растяжения переходит в область, где господствуют сжимающие напряжения, например при переползании через подземный выступ. По этой причине открытая трещина растяжения закрывается, а затем происходит деформация сжатия грунта, локализирующаяся вдоль ослабленных выветриванием зон.

Наличие трещин типа 5b свидетельствует о развитии сжимающих напряжений, направленных перпендикулярно линии простирания трещины, параллельно склону.

Тип 5c—поднятые трещины сжатия образуются в нижнем отделе оползня между движущимися и неподвижными участками (фиг. 4, h) или в среднем отделе в тех случаях, когда сравнительно быстро движущаяся масса подталкивает вперед более медленно движущуюся. Внешний вид трещины зависит от соотношения между плотностями движущихся и неподвижных масс, и от угла выклинивания оползневого тела.

Если плотность неподвижного массива значительно превышает плотность оползающего грунта, то последний растекается по поверхности массива, являющегося базисом оползания. Плоскость основной трещины горизонтальна, верховое плечо сильно приподнято, порой запрокинуто или даже перевернуто, трещина закрыта (фиг. 4, h). Опрокинутое верховое плечо часто бывает иссечено вторичными поперечными трещинами, тянущимися вдоль вала и радиально прорезывающими его в глубину нормально к его внешней поверхности. В очень больших валах, кроме того, возникает другая серия вторичных трещин, плоскость которых перпендикулярна к основной трещине этой группы.

Если плотность надвигающихся масс мало отличается от плотности масс, воспринимающих давление оползня, то плоскость основной трещины более или менее наклонна, оба плеча ее приподняты (верховое более низового), трещина открыта. Параллельно основной трещине тянутся вторичные радиальные трещины.

Наличие трещин типа 5c свидетельствует о значительном развитии сжимающих напряжений сочетающихся с касательными, направленными вверх.

Таким образом, всего намечается девять типов оползневых трещин: 1a, 1b, 2a, 2b, 3, 4b, 4c, 5b и 5c. Остальные возможные комбинации (1c, 2c, 4a и 5a) на оползнях кажется не встречаются; группы 3a, 3b и 3c соединены в одну. Ниже дается сводка морфогенетических черт основных оползневых трещин, могущая служить как для классификации наблюдаемых в поле трещин, так и для анализа трещинных карт (табл. 1). В столбце генетических признаков показаны основной и подчиненный компоненты полного напряжения: растяжение или сжатие по оси OX (фиг. 1), сдвиг вбок по оси OY и сдвиг вниз или вверх по оси OZ .

Смешанные трещины

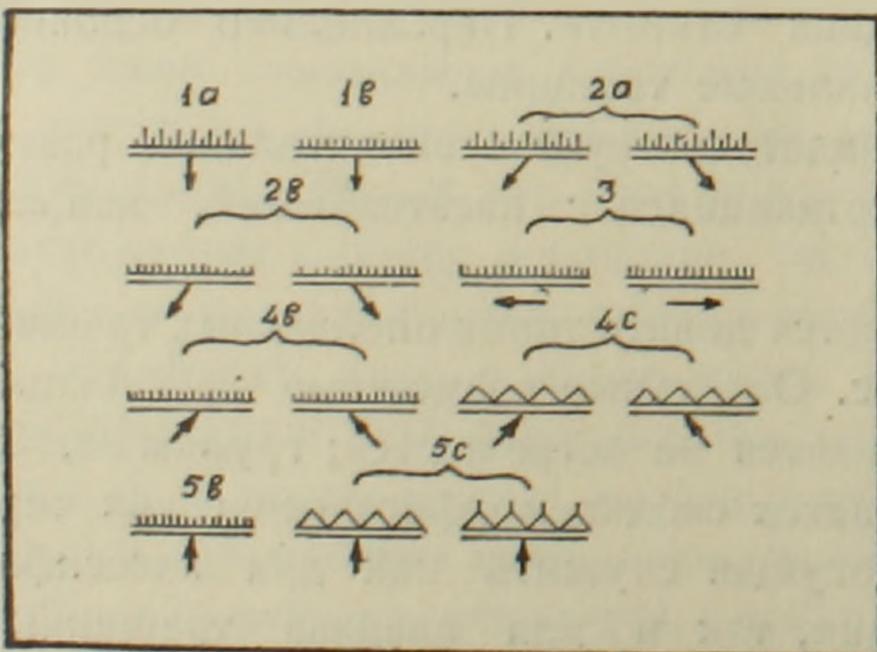
Хотя общее направление движения оползня является обычно неизменным, отдельные участки его могут в известной степени менять направление своего перемещения. Это связано с активизацией некоторых участков при миграции оползневого очага, неравномерной скоростью движения оползневого тела, местным ослаблением упора в случае размыва, увлажнения и т. д. Роль многих поверхностных трещин, как линии наименьшего сопротивления, в этом случае сохраняется, но они изменяют свое функциональное значение.

Так, при активизации одного из бортов оползня, боковые трещины противоположного борта расширяются, внутреннее плечо опускается, обнажается высокая стенка отрыва, сама трещина частично засыпается обвалившимся грунтом, то есть налицо типичная опущенная трещина растяжения и сдвига (тип 1а). Если же описанная трещина до этого являлась развитой поднятой трещиной сжатия и сдвига (тип 4а), то исследователь должен будет обнаружить характерный вал припаявшегося грунта на верхней бровке массива и косые вторичные трещины на нижней. В другом случае он может заметить на вертикальной стенке отрыва следы штриховки и истирания, которые так характерны для горизонтальной трещины сдвига (тип 3).

Точно также при далеко зашедшем процессе смещения земляных масс некоторые центральные трещины могут обменяться ролями. Так, горизонтальная трещина сжатия (тип 5b), оказавшись над жестким выступом оползневого ложа, может открыться, превратившись в горизонтальную трещину растяжения (тип 1b). В этом случае наблюдатель будет в первую минуту озадачен наличием валиков смятого грунта по бортам зияющей трещины растяжения.

Анализ карты оползневых трещин

При картировании оползневых трещин могут применяться услов-



Фиг. 6. Условные знаки для обозначения различных типов оползневых трещин.

ные знаки, показанные на фиг. 6. В основу выбора знаков положен следующий принцип: трещина изображается двойной линией, длина которой отвечает по масштабу длине трещины; зарождающиеся молодые трещины изображаются одиночной линией; поперечные штрихи делаются равной длины в тех случаях, когда плечи трещины находятся на одном уровне, и разной длины, когда они находятся на разных уровнях. Нагромождение грунта на одном плече трещины

Морфогенетическая классификация основных оползневых трещин

| Типы трещин | Наименование типов оползневых трещин | Классификационные признаки | | | | | | Наименование трещин по классификации автора 1941 года [5] | |
|-------------|--|-------------------------------------|--|----------------------|--------------------------|--------------|--|---|-----------------------------|
| | | Генетические признаки | | | Морфологические признаки | | | | |
| | | основная составляющая напряженности | подчиненная составляющая напряженности | направление смещения | открытые или закрытые | уровень плеч | поверхность трещины | | дополнительные признаки |
| 1a | Опущенная трещина растяжения | Растяжение | Сдвиг вниз | Опускание | Открытые | Разный | Шероховатая с разными краями | Иногда с просезанием | Сброс |
| 1b | Горизонтальная трещина растяжения | Растяжение | — | Горизонтальное | | Одинаковый | | | Отрыв, раскрытие |
| 2a | Опущенная трещина растяжения и сдвига | Сдвиг вбок и вниз | Растяжение | Опускание | Открытые или закрытые | Разный | — | — | Отставание (концевая фаза) |
| 2b | Горизонтальная трещина растяжения и сдвига | Растяжение | Сдвиг в бок | Горизонтальное | | Одинаковый | | | Отставание (начальная фаза) |
| 3 | Трещина сдвига | Сдвиг в бок | Сдвиг вниз или вверх | Любое | Открытые или закрытые | Любая | — | — | Скольжение |
| 4a | Горизонтальная трещина сжатия и сдвига | Сжатие | Сдвиг в бок | Горизонтальное | | Закрытые | | | Одинаковый |
| 4c | Поднятая трещина сжатия и сдвига | Сдвиг вбок и вверх | Сжатие | Поднятие | Разный | | Смятие | С вторичными косыми трещинами и взломом | Придвигание |
| 5b | Горизонтальная трещина сжатия | Сжатие | — | Горизонтальное | Одинаковый | Смятие | | | |
| 5c | Поднятая трещина сжатия | Сжатие | Сдвиг вверх | Поднятие | Разный | | С взломом и вторичными радиальными трещинами | Надвигание | |

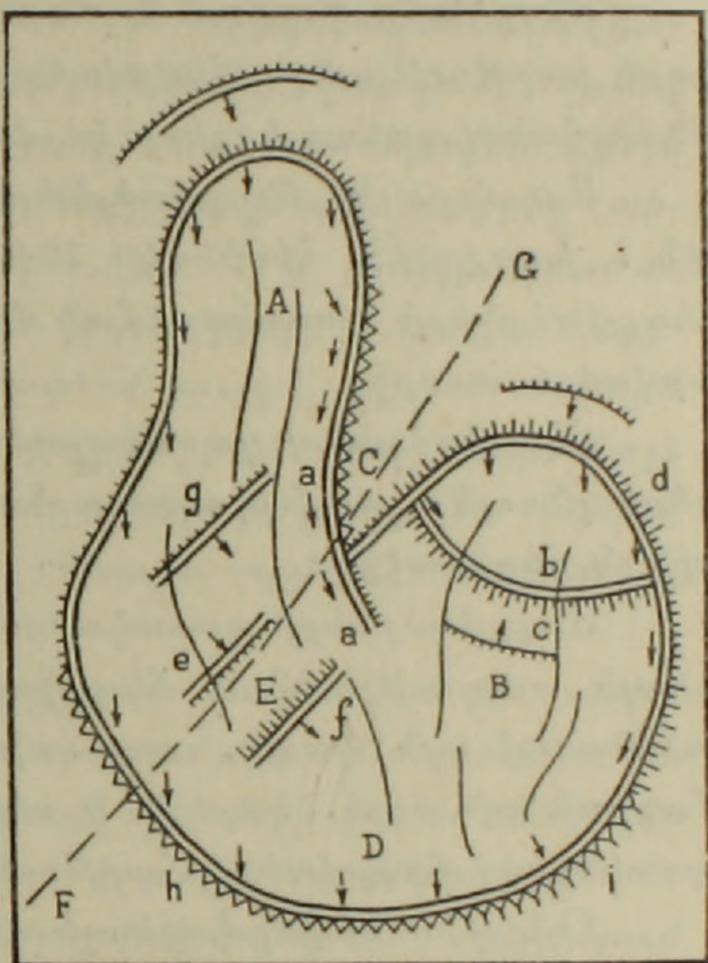
показывается в виде зубчатой линии, при поднятии обоих плеч к зубьям добавляются штрихи. Все эти знаки — штрихи и зубья изображаются на неподвижном плече; на подвижном плече показываются только стрелки, отвечающие направлению вектора деформации, в соответствии с фиг. 2.

При картировании трещин по этим стрелкам тонкими линиями проводятся обобщенные траектории смещения всего оползня. Пример такой обработки данных трещинной съемки показан на фиг. 7.

Оползень начинается в виде двух самостоятельных цирков *A* и *B*, разделенных межоползневой гребнем *C*. В нижней части оползающие массы сливаются в общий язык *D*.

Из карты видно, что правая часть оползня *A* является более активной, чем левая часть *B*: боковая трещина сдвига *a*, отделяющая часть *A* от гребня *C* продолжается далее вниз по склону и разграничивает более быстродвигающуюся правую часть от более медленнодвигающейся левой части. Последняя имеет большую глубину: развитая опущенная трещина растяжения *b*, возникающая при проседании участка оползня в сторону, обратную общему движению, и намечающаяся горизонтальная трещина *c* свидетельствуют о наличии крупного массива, опускающегося в пространство, освобождаемое при отодвигании правой части оползня по крупной опущенной трещине растяжения *d*.

Межоползневой гребень *C*, состоящий из более стойких пород, продолжается под оползневой ложей и образует подземный выступ *E*. К этому выступу приурочены горизонтальная трещина сжатия *e* и развитая опущенная трещина растяжения *f*; выходы более стойких пород направлены по линии *FC*. Параллельно выступу *E* несколько выше по склону проходит еще один, менее отчетливо выраженный выступ пород; с ним связана горизонтальная трещина растяжений *g*. В нижнем отделе, против правой части оползня, образовался вал вдоль поднятой трещины сжатия и сдвига *h*, а против левой части оползня — наблюдается также и поднятие обоих плеч вдоль поднятой трещины сжатия *i*; это также свидетельствует о большей глубине затронутого движением массива левой части оползня по сравнению с правой.



Фиг. 7. Схематическая трещинная карта оползня.

Գ. Ի. ՏԵՐ-ՍՏԵՓՍՆԵԱՆ

ՍՈՂԱՆՔԱՅԻՆ ՃԵՂՔՎԱԾՔՆԵՐԻ ԴԱՍԱԿԱՐԳՈՒՄԸ

Ա մ փ ո փ ու մ

Սողանքային երևույթների ուսումնասիրության ընթացքում մեծ դեր է կատարում սողանքային ճեղքվածքների վերլուծությունը:

Ճեղքվածք կոչվում է հողային զանգվածի ամբողջությունը խախտող կարի հարթությունը: Ճեղքվածքը կարող է լինել բաց և փակ: Հողային զանգվածի հանդիպակաց կողերը կոչվում են ճեղքվածքի ուսեր:

Սողանքային ճեղքվածքները բաժանվում են երկու խմբի՝ մակերևույթային և խորքային: Հեղինակը 1941 թվականին առաջարկել է մակերևույթային ճեղքվածքների դասակարգման մի սխեմա [5], որի հետագա վերամշակումը տրված է ստորև:

Ճեղքվածքների դասակարգման հիմքն է կազմում ներքին լարվածությունների բնույթը, որոնք առաջացնում են տվյալ ճեղքման դեֆորմացիան՝ այսինքն ճեղքվածքը:

Ճեղքվածքների դասակարգման գլխավոր հատկանիշը լրիվ դեֆորմացիայի ուղղությունն է ճեղքվածքի հարթության նկատմամբ, կամ, նկատի ունենալով այն կապը, որը գոյություն ունի լարվածությունների և դեֆորմացիաների միջև, կարելի է ասել, լրիվ լարվածությունների ուղղությունը պատենցիալ ճեղքվածքի հարթության նկատմամբ:

ՕՂ լրիվ դեֆորմացիայի վեկտորի ուղղությունը որոշվում է β ուղղաձիգ անկյունով, որը կազմում է վեկտորն իր XOY հորիզոնական հարթության վրա OA' պրոեկցիայի հետ և α հորիզոնական անկյունով, որը OA' պրոեկցիան կազմում է OX ճեղքվածքի տարածման գծի նորմալի հետ (նկ. 1):

Այդ անկյունների մեծությունից և նշանից կախված՝ սողանքային ճեղքվածքները, բաժանվում են սարքեր տիպերի: Ըստ α հորիզոնական անկյան՝ սողանքային ճեղքվածքները բաժանվում են հետևյալ կերպ՝

1) Զգման ճեղքվածքներ, երբ դեֆորմացիայի վեկտորի հորիզոնական պրոեկցիան ուղղված է դեպի դուրս, ճեղքվածքի տարածման գծին մոտավորապես ուղղահայաց:

2) Զգման և սահքի ճեղքվածքներ, երբ այդ պրոեկցիան ուղղված է դեպի դուրս, բայց տարածման գծի հետ կազմում է անկյուն:

3) Սահքի ճեղքվածքներ, երբ դեֆորմացիայի վեկտորի հորիզոնական պրոեկցիան մոտավորապես զուգահեռ է ճեղքվածքի տարածման գծին:

4) Սեղմման և սահքի ճեղքվածքներ, երբ այդ պրոեկցիան ուղղված է դեպի ներս և տարածման գծի հետ կազմում է անկյուն:

5) Սեղմման ճեղքվածքներ, երբ դեֆորմացիայի վեկտորի հորիզոնական պրոեկցիան ուղղված է դեպի ներս, ճեղքվածքի տարածման գծին մոտավորապես ուղղահայաց:

Աստ β ուղղաձիգ անկյան, սողանքային ճեղքվածքները տարբերվում են հետևյալ կերպ՝

ա) իջեցված ճեղքվածքներ, երբ գեֆորմացիայի վեկտորի պրոեկցիան ուղղված է դեպի վար,

բ) հորիզոնական ճեղքվածքներ, երբ այդ պրոեկցիան ունի փոքր մեծություն,

գ) բարձրացված ճեղքվածքներ, երբ գեֆորմացիայի վեկտորի պրոեկցիան ուղղված է դեպի վեր:

Նկ. 2 և 3 ցույց են տալիս սողանքային ճեղքվածքների դասակարգման հատկանիշները ըստ α և β անկյունների մեծության և նշանի: Սողանքային ճեղքվածքների հիմնական տիպերը դասակարգվում են հորիզոնական և ուղղաձիգ անկյունների մեծությունների համակցություններից կախված, որոնք նշվում են արաբական թվերով 1 մինչև 5 և լատինական տառերով a մինչև c , ըստ սխեմաների (նկ. 2 և 3): Սողանքային ճեղքվածքների տարբեր տիպերը ցույց են տրված սողանքի կտրվածքի վրա (նկ. 4) և բլոկիազրամանների միջոցով (նկ. 5): Բլոկիազրամայի ձախ կողմը ցույց է տալիս ճեղքվածքի անշարժ ուսը, իսկ աջը՝ շարժվող: Կետագծով ցույց է տրված անշարժ ուսի դիրքը մինչև ճեղքվածքի առաջանալը: Յուրաքանչյուր բլոկիազրամայի կողքին, կոորդինատային առանցքների վրա, սլաքներով ցույց են տրված գեֆորմացիայի լրիվ վեկտորի պրոեկցիաները: Ստորև տրվում է ճեղքվածքների տարբեր տիպերի մորֆոլոգիան:

Տիպ 1a—իջեցված ձգման ճեղքվածքները՝ շատ տարածված են, սովորաբար գտնվում են սողանքի վերին և միջին մասերում, հատակագծում ունեն աղեղի ձև, որի գոգավորությունն ուղղված է դեպի սողանքի շարժման կողմը (նկ. 4, b): Չարգացած փուլում ճեղքվածքը շատ է բացված, ներքևի շարժվող ուսը իջեցված է, անշարժ ուսի պատը մերկացված է (նկ. 5): Հանդիպում են նաև նույն տիպի ճեղքվածքներ, որոնց ուռուցիկությունն ուղղված է դեպի սողանքի շարժման կողմը, և իջեցված է վերին ուսը (նկ. 4, c): Այդ ձևի ճեղքվածքները միշտ զարգանում են հիմնական ճեղքվածքներից հետո և դասավորվում են լանջի վրա, նրանցից դեպի ներքև: Նրանք առաջանում են երբ սողանքային զանգվածը տեղաշարժվում է, և նրա վերին մասում գոյանում է մի անկայուն մաս, որը ձգտում է իջնել բացվող ազատ տարածության վրա:

Տիպ 1b—հորիզոնական ձգման ճեղքվածքները շատ են տարածված հատկապես սողանքների վերին և միջին մասում, և սովորաբար ներկայացնում են 1a տիպի ճեղքվածքների նախապատրաստական փուլը (նկ. 4, a): Նրանց ուսերը նույն մակարդակի վրա են, ճեղքվածքը կենտրոնում բացված է, իսկ ծայրերում՝ ոչ (նկ. 5):

Տիպ 2a—իջեցված ձգման և սահքի ճեղքվածքներ առաջանում են սողանքի եզրի մոտ, երբ տեղաշարժման ուղղությունը շեղվում է եզրից (նկ. 5):

Տիպ 2b—հորիզոնական ձգման և սահքի ճեղքվածքները ներկայացնում են 2a տիպի ճեղքվածքների առաջացման նախնական փուլը: Ընդլայնվածքներն ուղղապիժ են, ուսերի պատերին քերվածքներ չկան (նկ. 5):

Տիպ 3—սահքի ճեղքվածքներ առաջանում են սողանքի եզրերի մոտ, երբ զանգվածի տեղաշարժման ուղղությունը մոտավորապես զուգահեռ է

նրանց: Ճեղքվածքներն ուղղագիծ են, պատերին նկատվում են քերվածքների հետքեր (նկ. 5):

Տիպ 4b—հորիզոնակ սն սեղմման և սահքի մեղքվածքներ առաջանում են սողանքի եզրի մոտ, երբ զանգվածի շարժումը ուղղված է դեպի եզրը և կազմում է նրա հետ սուր անկյուն: (նկ. 4, d): Հիմնական ճեղքվածքը տեղաշարժվող զանգվածի կողմից ունի մի շարք երկրորդական կորագիծ և ասիմետրիկ ճեղքվածքներ (նկ. 5): Այս տիպի ճեղքվածքները փակ են:

Տիպ 4c—բարձրացված սեղմման և սահքի մեղքվածքներ առաջանում են սողանքի եզրի մոտ, երբ զանգվածի տեղաշարժման անկյունը եզրի հետ ավելի մեծ է քան նախորդ դեպքում: Հիմնական ճեղքվածքը նույնպես ունի երկրորդական ճեղքվածքներ: Բացի դրանից, անշարժ գրունտի կողմից գոյանում է մի հողաթումբ, որը բաղկացած է նախորդ տեղաշարժված և ճեղքվածքի անշարժ ուսին ամրացած գրունտից (նկ. 5):

Տիպ. 5b—հորիզոնակ սն սեղմման մեղքվածքներ զարգանում են սողանքի միջին և ներքին մասերում, որտեղ դիտվում է հողալին զանգվածների շարժման տեղական դանդաղում (նկ. 4, g): Այդ տիպի ճեղքվածքներն իրենցից ներկայացնում են զույգ տրորված հողաթմբեր, որոնք ձգվում են սողանքի ուղղութանն ուղղահայաց (նկ. 5):

Տիպ 5c—բարձրացված սեղմման մեղքվածքներ առաջանում են սողանքի ստորին մասում, երբ շարժվող հողալին զանգվածները սահում են անշարժ գրունտի վրա (նկ. 4, h): Հիմնական ճեղքվածքը հորիզոնական կամ թեք դիրք ունի, նա ուղեկցվում է մի շարք երկրորդական ճեղքվածքներով, որոնք շառավղալին ուղղութամբ կտրատում են ճեղքվածքի շարժվող ուսը (նկ. 5):

Ճեղքվածքները վերլուծելիս պետք է աչքի առաջ ունենալ, որ սողանքային պրոցեսի ընթացքում զանգվածի տարբեր մասերը կարող են փոխել իրենց տեղաշարժման ուղղությունը, ուստի և ճեղքվածքները ստանում են նոր մորֆոլոգիական գծեր:

Սողանքային ճեղքվածքների քարտեզ կազմելիս կարող են օգտագործվել հատուկ նշաններ (նկ. 6): Քարտեզ կազմելիս շարժվող ուսի վրա նկարվում են սլաքներ, որոնք ցույց են տալիս լրիվ դեֆորմացիայի վիտորի ուղղությունը: Այդ սլաքները թույլ են տալիս հողալին զանգվածների հետազրծեր գծագրել:

Նկ. 7 ներկայացնում է մի սողանքի ճեղքվածքային քարտեզ, որի վերլուծությունը տրվում է ստորև: Սողանքը սկսվում է երկու ինքնուրույն A և B կրկեսներով, որոնք բաժանվում են C միջկրկեսային կատարով: Ստորին մասում սողացող զանգվածները կազմում են մի ընդհանուր D լեզու: Սողանքի աջ A կողմը ավելի ակտիվ է, քան՝ ձախը, քանի որ եզրային a սահքի ճեղքվածքը շարունակվում է B մասի վրա: Ձախ B մասն ավելի խոր է, քան աջ A մասը, քանի որ այստեղ առաջացել է զարգացած b իջեցված ձգման ճեղքվածք, որը անշատում է նստող վերին մասը շարժվող զանգվածից, բացի դրանից, ավելի ցած սկսվում է զարգանալ մի փոքր c հորիզոնական ձգման ճեղքվածք, որը նույն բնույթն ունի: Անշատվող զանգվածը նստում է ազատ տարածության մեջ, որը բացվում է d իջեցված ձգման ճեղքվածքի երկարութամբ:

C միջսողանքային կատարը շարունակվում է սողանքային մարմնի տակ և կազմում է կալուն ապարներից կազմված E ստորերկրյա ելուստ: Այդ ելու-

ստի հետ կապված են *e* հորիզոնական սեղմման ճեղքվածքը և դարպացած *f* իջեցված ձգման ճեղքվածքը: *E* ելուստին զուգահեռ անցնում է մի ուրիշ, ավելի քիչ արտահայտված ելուստ, որի հետ կապված է *g* հորիզոնական ձրգման ճեղքվածքը: Սողանքի ստորին մասում նկատվում է, աչ կողմից *h* բարձրացված սեղմման և սահքի ճեղքվածք, իսկ ձախ կողմից *i* բարձրացված սեղմման ճեղքվածք: Դրանք նույնպես ապացուցում են, որ սողանքի ձախ մասը շատ ավելի խորն է, քան աչ մասը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Войденов В. И., Разв. недр, 1936, 24: 14—16.
2. Еврейсков В. Е., Изв. Сибирск. технол. инст., Томск, 1929, 50 (3): 7—17.
3. Емельянова Е. П., Методическое руководство по стационарному изучению оползней, М., 1956.
4. Рогозин И. С., Тр. Моск. геол. упр., 1939, в. 28.
5. Тер-Степанян Г. И., Изв. АН АрмССР, естеств. науки, 1946, 10: 65—79.
6. Тер-Степанян Г. И., Изв. АН АрмССР, физ. мат. естеств. и техн. науки, 1948, 1 (1): 17—20.
7. Тер-Степанян Г. И., Изв. АН АрмССР, геол. и геогр. науки, 1957, 10 (4): 101—114.
8. Krauskopf K. B., Feitler S. and Griggs A. B., Journ. Geol., 1939, 47 (6): 631—648.