

МЕХАНИКА ГРУНТОВ

Г. И. ТЕР-СТЕПАНЯН

ИЗМЕРЕНИЕ ГЛУБИННОЙ ПОЛЗУЧЕСТИ СКЛОНОВ\*

*Цель наблюдений за движением оползней*

В последние годы увеличился интерес к наблюдениям за движением оползней. Эти наблюдения особенно целесообразны в тех случаях, когда склон находится в фазе глубинной ползучести, т. е. когда на нем происходят медленные подготовительные движения, предшествующие катастрофическим оползням.

Практический смысл таких наблюдений заключается в возможности выделения оползневых очагов, установления линии наибольших подвижек для правильного трассирования противооползневых сооружений, уточнения зон предстоящего развития оползней, предсказания периодов активизации, установления эффективности противооползневых мероприятий, осуществления стадийной борьбы с оползнями, создания службы краткосрочных прогнозов, необходимой для обеспечения безопасности движения поездов, нормальной работы деривационных каналов, эксплуатации нефтяных скважин и др.

Теоретическое значение наблюдений за гравитационными движениями грунта на склонах в фазе глубинной ползучести заключается в изучении внутреннего механизма оползней, выявлении роли оползневых очагов, установлении связи между характером смещения и пластикой подземного рельефа оползневого ложа, исследовании баланса земляных масс и его связи с изменением рельефа, изучении роли отдельных оползнеобразующих факторов в изменении общей степени сдвига склона, характеристики вязкости земляных масс и, наконец, более широких обобщений о свойствах грунта, как реологического тела.

Эффективность наблюдений за движением оползня тесно связана с их систематичностью и точностью. Чем точнее результаты наблюдений, тем раньше может быть замечена активизация оползня и тем успешнее могут быть осуществлены исследования оползней и завершены противооползневые мероприятия. Так как оползень не представляет собой единого жесткого тела, движение которого может быть вполне охарактеризовано скоростями или величинами смещения нескольких точек, наблю-

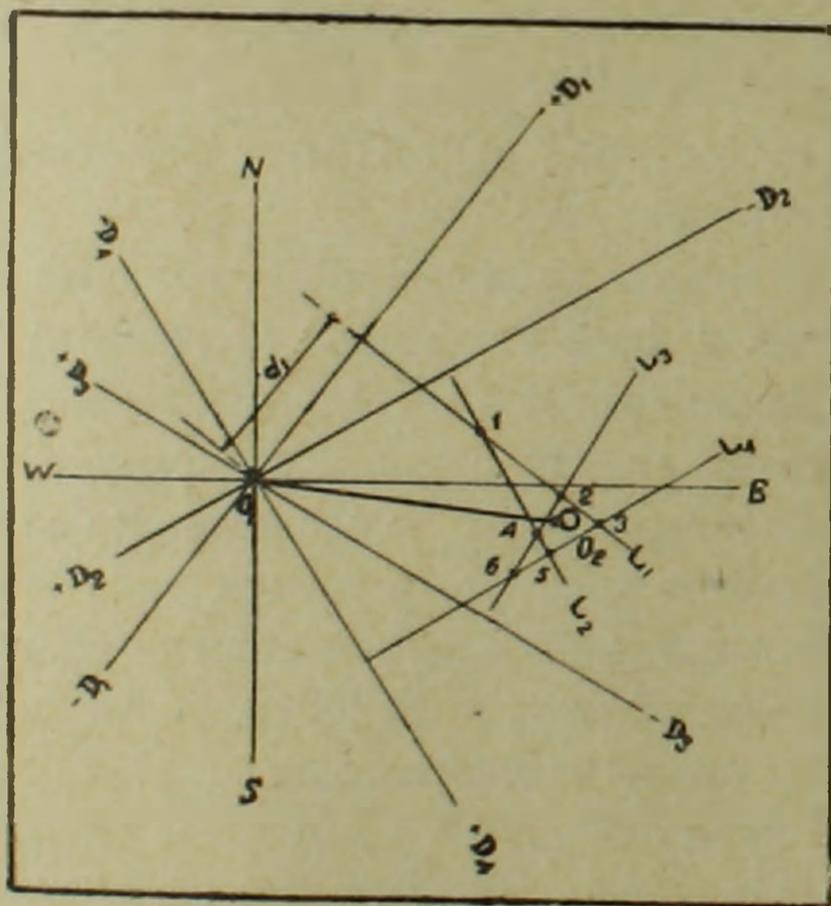
\* Доложено на Азиатском региональном конгрессе по механике грунтов и фундаментостроению 7.2.60 в Нью-Дели, Индия [5].

дения должны вестись на большом количестве пунктов. Скорость движения склонов в фазе глубинной ползучести также подвержена большим колебаниям, что вызывает необходимость ведения достаточно частых наблюдений за движением реперов. В результате объем работ на оползнях получается достаточно большим. Поэтому рациональный метод наблюдений должен с одной стороны быть нетрудоемким и с другой — гарантировать высокую точность результата.

### Методика наблюдений

Автор разработал дифференциальный графический метод проф. Н. Г. Келля, основанный на свойствах линий положений, и применял его в течение ряда лет на нескольких крупных оползнях. Этот метод заключается в графическом уравнивании разностей измеренных величин — направлений, углов, расстояний или отклонений. Для облегчения расчетов широко применяются номограммы. В настоящее время разработано несколько вариантов этого метода, находящих применение в зависимости от местных условий — методы прямых, обратных и взаимных засечек, полигонометрический и створный методы и др.

Принцип метода можно показать на примере уравнивания положения подвижной оползневой точки, наблюдаемой с 4 неподвижных опорных точек (фиг. 1). На чертеже линии перемещения  $D_i$  являются прямы-



Фиг. 1.

ми, перпендикулярными к направлениям из опорных точек на оползневую;  $d_i$  представляют собой линейные перемещения оползневой точки перпендикулярно лучу, вычисляемые по угловым разностям направлений

$$\delta_i, d_i = \frac{\delta_i}{g_i}, \text{ где } g_i \text{ — градиенты линии положений, наконец } L_i \text{ — линии}$$

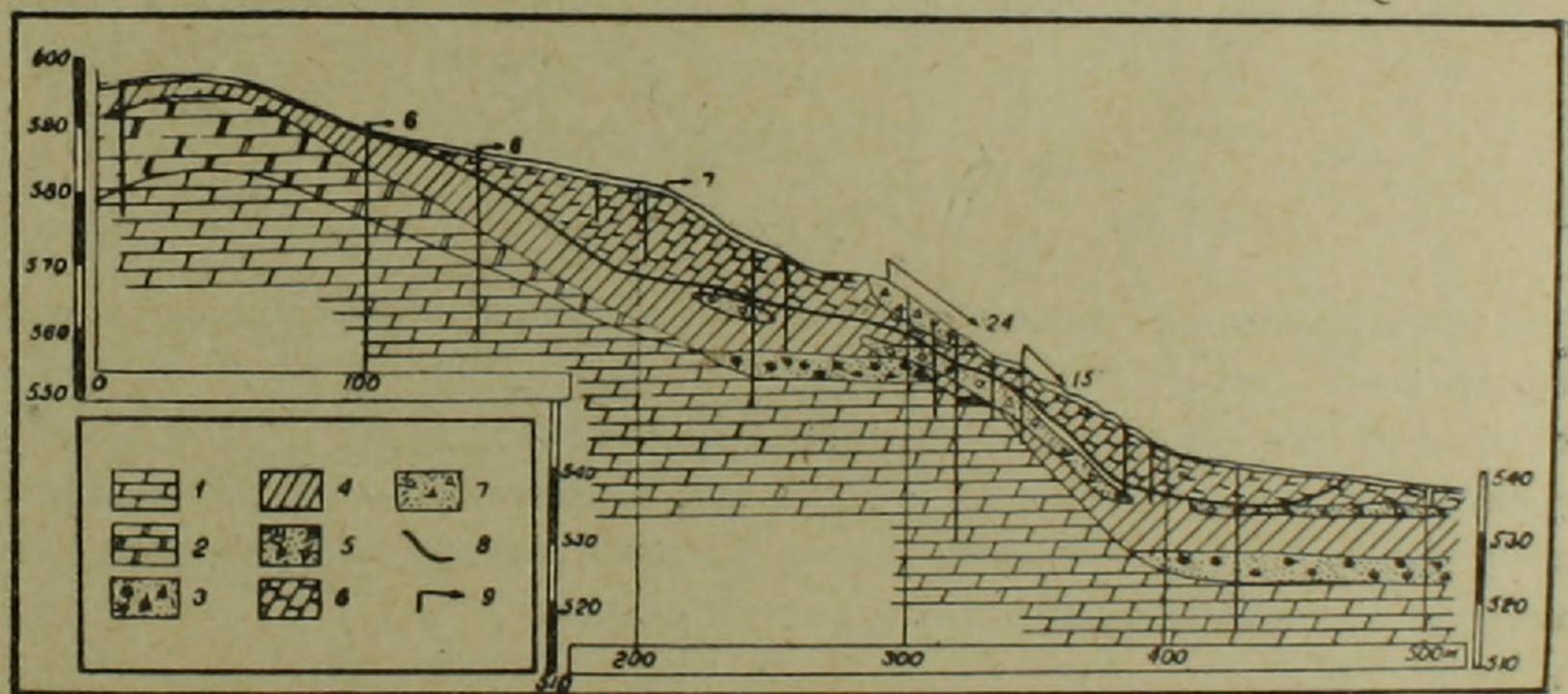
положений, направленные перпендикулярно линиям перемещений и, следовательно, вдоль луча.

Точки 1, 2.... пересечения линий положения образуют фигуру смещения, которая должна быть графически уравнена с учетом весов засечек. При большом количестве лучей (обычно свыше 4) производится уравнивание линий положения путем замены их двумя эквивалентными. Метод сочетает простоту с достаточной точностью, и позволяет получать положение оползневых точек с погрешностью порядка 2—4 миллиметра. Эта точность позволяет полноценно использовать результаты наблюдений, производимых через каждые 2—4 месяца.

### Влияние формы оползневого ложа

В случае оползней в однородных глинах, форма оползневого ложа определяется напряженным состоянием склона, т. е. геометрическими элементами поверхности склона и свойствами грунтов. Однако, во многих случаях слоистых и неоднородных грунтов и сложных по геологическому строению склонов, на форму поверхности ложа сильное влияние оказывает пластика подземного рельефа более прочных пород, залегающих под рыхлыми поверхностными образованиями.

Связь между пластикой рельефа оползневого ложа и характером движения оползневых масс была изучена на крупном оползне, происходившем в рыхлых продуктах выветривания олигоценых глин (фиг. 2). В



Фиг. 2.

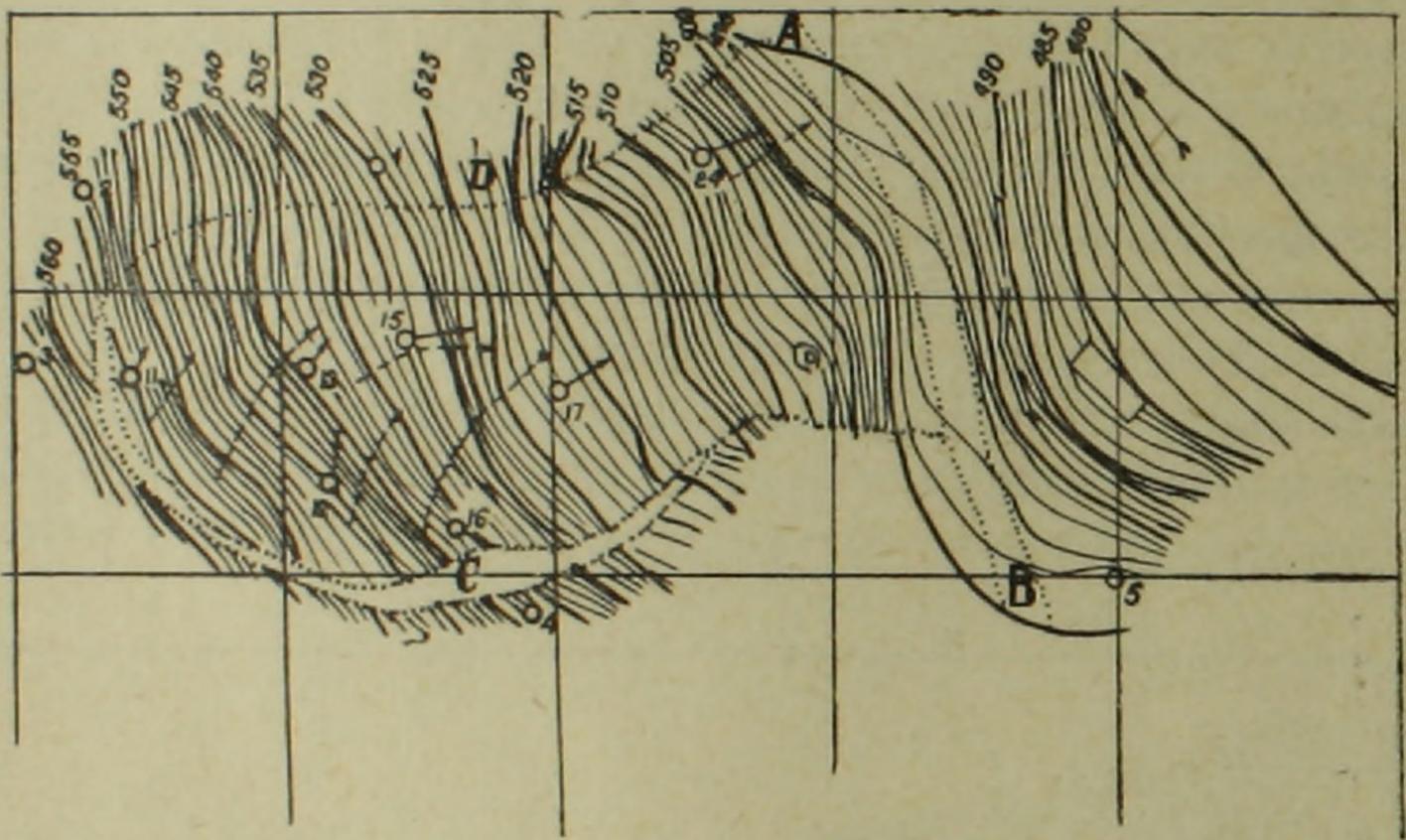
основании разреза залегают плотные серые глинистые мергели олигоцена 1, в верхней части прикрытые желтым элювием 2 тех-же пород. К склону прислонены две рисские и одна вюрмская аллювиальные террасы 3. Эти относительные прочные породы прикрыты плащем делювиальных глин и суглинков 4, в котором протягивается полоса пролювиальных отложений 5. Выше расположены оползневые массы 6, представленные перемятыми глинами и суглинками; они ограничены поверхностью скольжения 8, образующей перегиб над подземным выступом аллювиальных

рисских террас. В средней части профиля видна сплошная масса железнодорожного балласта 7.

Стрелками показана скорость смещения оползневого тела в миллиметрах в месяц. Наклон векторов увеличен в 2,5 раза, согласно отношения вертикального и горизонтального масштабов чертежа. Отчетливо видна связь между наклоном ложа оползня и соответствующим наклоном вектора смещения.

Наблюдения на оползне велись в 1941—1948 годах и позволили поддерживать безопасное движение поездов на магистральной линии до окончания строительства противооползневых сооружений.

Связь между очертанием оползневого ложа в плане и направлением векторов смещения оползневых масс была показана на оползне склона, развивающемся в продуктах выветривания эоценовых глин (фиг. 3).

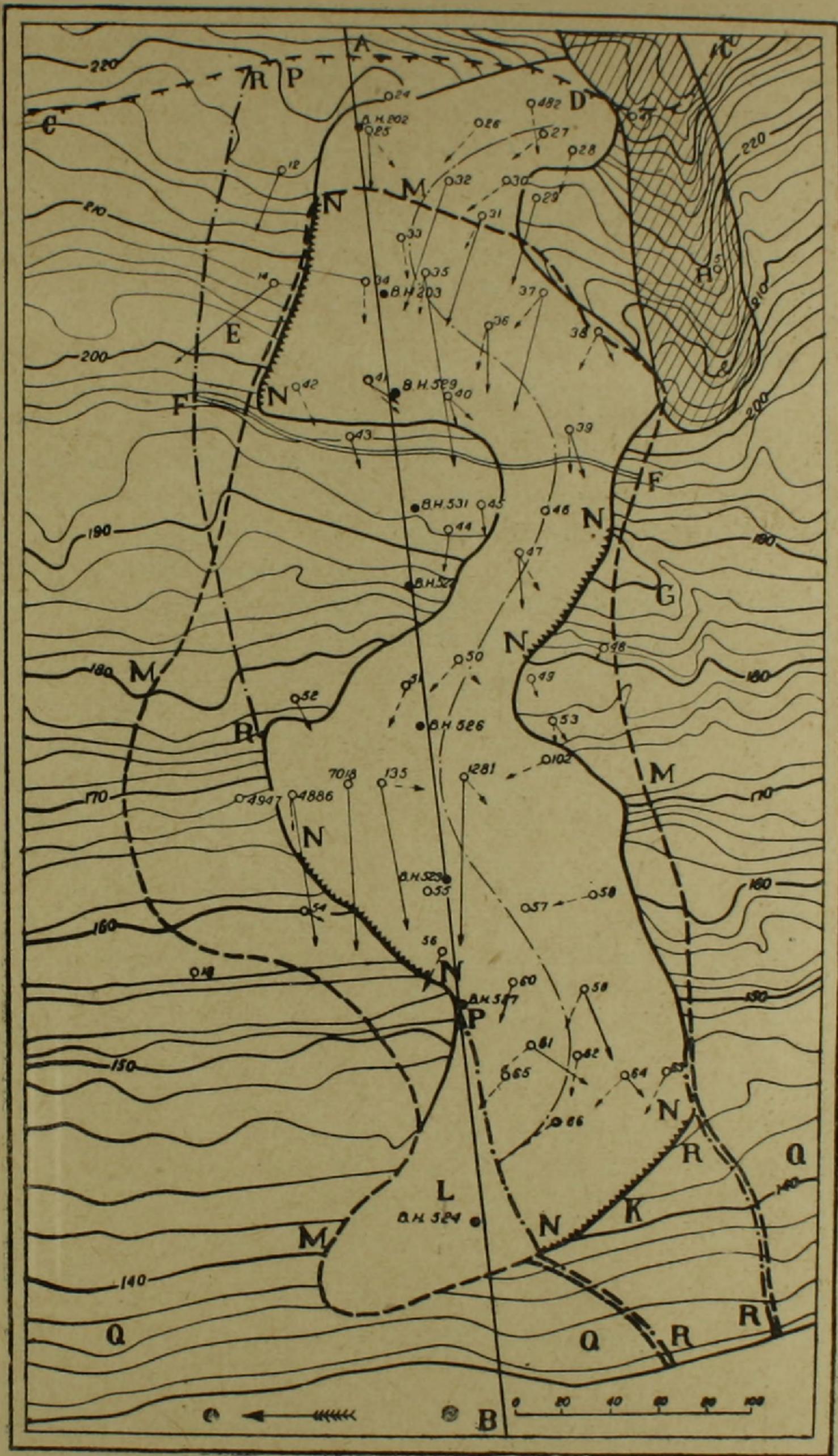


Фиг. 3.

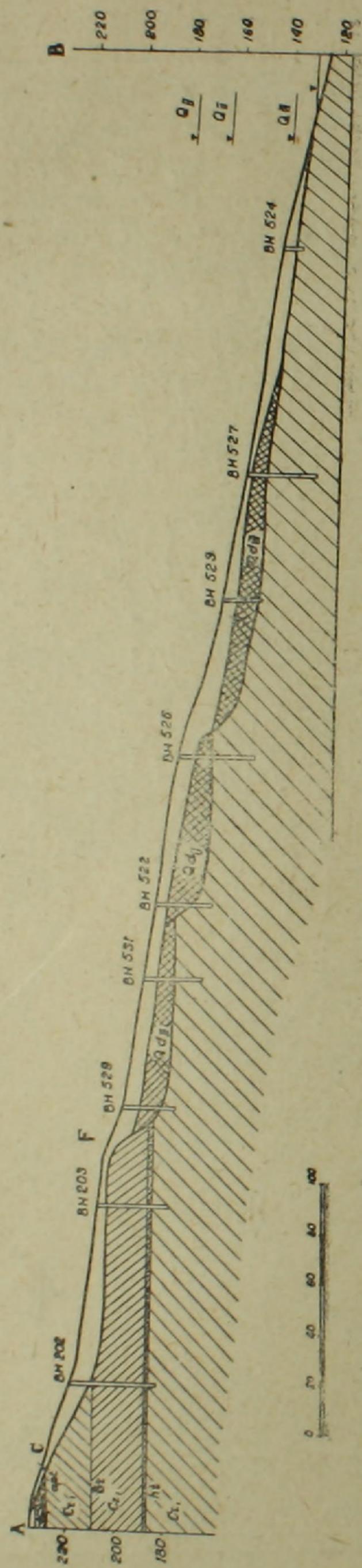
Оползень возник вследствие подрезки крутого склона при проведении автомобильной дороги АВ. Наблюдения велись в 1955—1957 гг. В связи с особенностями геологического строения участка, стенка отрыва С образовалась у правого борта. Земляные массы направляются вначале к левому борту D, где встречают сопротивление своему перемещению и изменяют направление движения вниз по склону.

#### *Влияние интенсивности оползнеобразующих факторов*

Влияние изменения интенсивности притока подземных вод на характер движения земляных масс было обнаружено на крупном оползне-потоке. Высокий берег реки сложен песчано-глинистыми породами нижнего мела, легко поддающимся выветриванию. На склоне развиты оползни нескольких типов (план — фиг. 4 и разрез по АВ — фиг. 5). Внизу, над коренными породами располагаются погребенные оползни-блоки (фиг. 5), образовавшиеся в рисское ( $Q_{II}$ ) и вюрмское ( $Q_{III}$ ) время, связанные с соответствующими уровнями реки в это время ( $Q_{II}$ ) и ( $Q_{III}$ );



Фиг. 4.



Фиг. 5.

они представлены смещенными и раздробленными пачками и глыбами глин и песчаников (альб, апт и неоком). Выветрелые коренные породы и в особенности смещенные пачки при увлажнении образуют постоянно-действующие оползни-потоки, мощностью 3—5 м при угле склона 10—12°.

Наблюдения за подвижкой одного из оползней-потоков были проведены с 1951 по 1959 годы. Его подвижки вызываются главным образом питанием водой из водоносного аптского горизонта, выклинивающегося на склоне под покровом коллювиальных накоплений; линия контакта этого горизонта обозначена на карте СС. Сама поверхность аптской плиты неровная; ее наиболее пониженная часть находится у D.

В первые годы наблюдений (1951—1952) на склон из пункта D поступало небольшое количество воды. В оползневом покрове выделилась узкая полоса грунта длиной до 500 м и шириной от 50 до 150 м, находившаяся в активном состоянии. На плане эта полоса показана без горизонталей; тонкие пунктирные стрелки изображают измеренные векторы смещения за этот период, в натуральную величину. Движение земляных масс напоминало течение реки в межень, когда струи извиваются в русле, отклоняясь берегами.

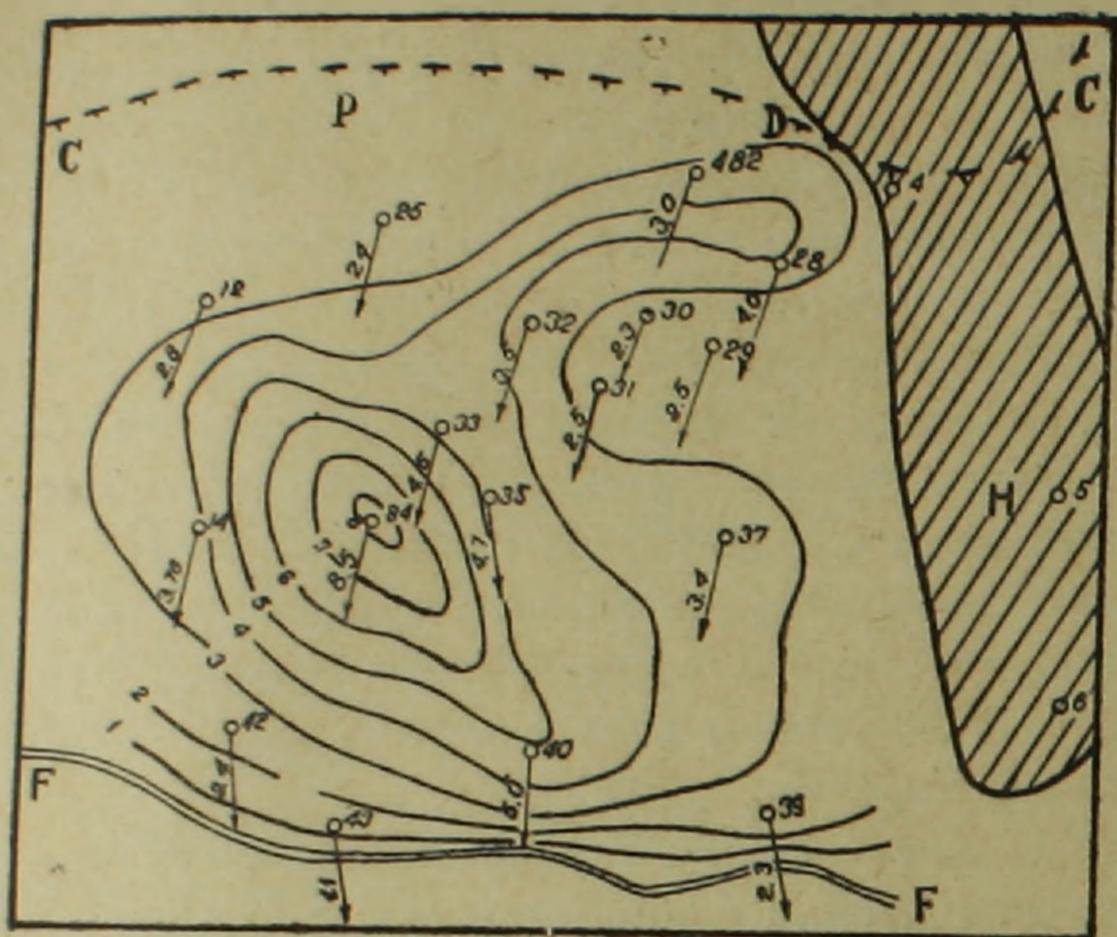
Земляной поток вначале направляется к правому борту, где он встречает сопротивление старых оползневых масс в E и отклоняется вниз по склону. Здесь смещающиеся массы наталкиваются на подземный выступ, образованный бровкой погребенного рисского оползня и состоящий из плотных песчаных глин баррема (F, фиг. 5). Земляные массы скапливаются перед этой преградой, наступая на нее широким фронтом и прорывают ее в районе репера № 39; еще один выступ имеется в районе репера № 42 (фиг. 4).

По всему протяжению этой бровки наблюдается типичный землепад (FF, фиг. 4), состоящий из нагромождения земляных блоков, рассеченных глубокими трещинами; он внешне напоминает ледопад. При этом энергия падения гасится и дальнейшее смещение делается более замедленным. Пройдя землепад, оползневые массы встречаются с подземным продолжением G межоползневого гребня H, отклоняются вправо и достигают речной террасы K, где отклоняются вправо и вливаются в выступ L, образованный оползнем 1948 г. Границы этого оползня обозначены на карте пунктиром MM. Ось земляного потока 1951—1952 гг. показана тонкой штрих-пунктирной линией, а участки бортов потока, в которых он встречает сопротивление и отклоняется — зубчатыми линиями NN.

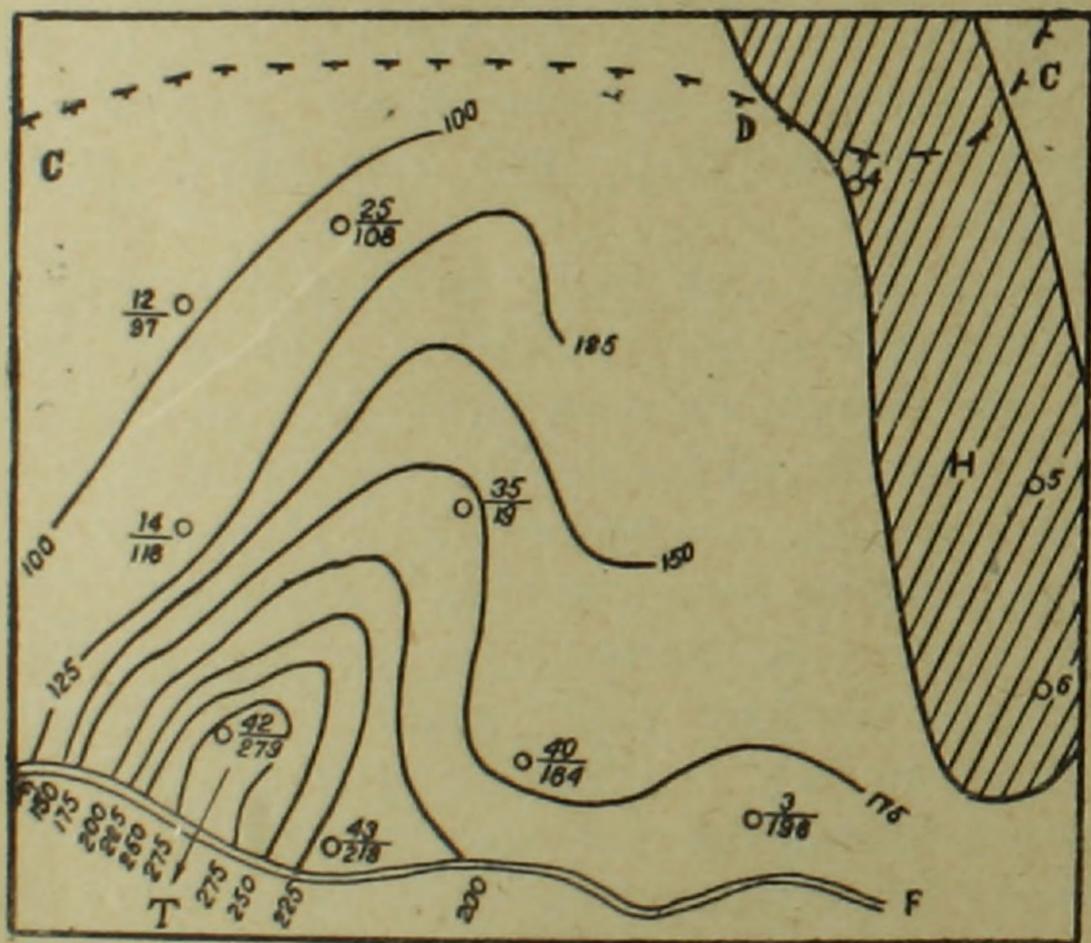
К 1954 г. приток воды из аптского горизонта увеличился и она стала поступать в земляное тело по всему протяжению контакта СС аптского горизонта на участке PD (фиг. 4). Наблюдения показали, что там, где движущиеся массы оказывали давление на неустойчивые грунты старых оползней правого борта, эти породы были вовлечены в движение и область глубинной ползучести расширилась. В нижней части склона земляные массы прорвали сопротивление, оказываемое речной террасой Q и стали вливаться в реку (штрихпунктирная линия RR на фиг. 4). Наобо-

рот у левого борта, где сопротивление оказывалось жестким выступом коренных пород G, область глубинной ползучести не расширялась.

Движение земляных масс напоминает течение реки в паводок, когда вода затопляет низкие извилистые берега и идет сплошным выпрямив-



Фиг. 6.



Фиг. 7.

шимся потоком. Сильное увеличение скорости наблюдалось в районе репера № 35 и был сделан прогноз активизации оползня на этом участке.

Прогноз оправдался через несколько месяцев. Оползень развился в зоне, расположенной по склону выше землепада FF (фиг. 6). Стрелки у реперов показывают направление движения масс, а замкнутые линии, обозначенные цифрами 1, 2... 8, являются изолиниями смещений в мет-

рах. Очаг оползания расположен у репера № 34. Значение землепада FF в гашении энергии движения сохраняется, равно как и роль источника D питания склона подземными водами.

Последние наблюдения 1959 г. показали продолжающуюся активизацию этой части оползневого склона (фиг. 7). Направление движения оползневых реперов сохранилось. На чертеже показаны линии равных значений ускорений движения оползня  $a = \frac{S_1}{S_2}$  в ‰, где  $S_1$  — величина смещений за 1954—1955 гг., а  $S_2$  — тоже за 1955—1959 гг. Чертеж наглядно показывает, что наибольшая активизация наблюдается в районе репера № 42, где величина общего смещения увеличилась почти в 3 раза, сравнительно с другими участками склона. Жирная стрелка показывает вероятное направление предстоящей активизации оползня.

Институт геологических наук  
АН Армянской ССР

Поступила 14.IV.1960.

Գ. Ի. ՏԵՐ-ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ

## ԼԱՆՋԵՐԻ ԽՈՐՔԱՅԻՆ ՍՈՂՔԻ ՉԱՓՈՒՄԸ

### Ա մ փ ո փ ու մ

Նշվում է լանջերի խորքային սողքի զարգացման պիտումների գործնական և տեսական նշանակությունը: Համառոտակի նկարագրվում է սողանքային նիշերի տեղաշարժման դիֆերենցիալ գրաֆիկական մեթոդի սկզբունքները, ինչպես նաև սողանքների վրա կատարված դիտումների որոշ արդյունքները:

Ներքնակի բարդ սլորոֆիլ ունեցող խոշոր սողանքի վրա ապացուցված է, որ տեղաշարժման վեկտորների թեքությունը հետևում է սողանքային ներքնակի համապատասխան մասերի թեքությանը:

Սողանքի կողմնոցներից մեկում ցույց տրվող դիմադրության հետևանքով հայտնաբերված է հողային զանգվածի շարժման ուղղության փոփոխությունը:

Խոշոր սողանքի վրա խորքային ջրերի ինտեսիվ հոսքի ավելացման կապակցությամբ ապացուցված է շարժման բնույթի փոփոխությունը: Կանխատեսվեց սողումը, որը հաստատվեց մի քանի ամիս հետո: Դիտվեց սողանքային ոջախի առաջացումն ու միգրացիան և գուշակվեց սողանքի ապագա զարգացման ուղղությունը:

### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Гольдштейн М. Н. и Тер-Степанян Г. И. Длительная прочность глин и глубинная ползучесть склонов. Матер. к IV Междунар. конгр. по механ. грун. и фундамен-тостр. Изд. АН СССР, стр. 43—51, М., 1957.
2. Келль Н. Г. Методы геодезического определения смещений при изучении движений оползней. Л., 1936.

3. Терцаги К. Механизм оползней. Сб. «Проблемы инженерной геологии». Вып. 1. Изд. ИЛ, стр. 174—219, М., 1958.
4. Ter-Stepanian G. Discussion on Earth Dams, Slopes and Open Excavations, Proc. 4 th Intern. Confer. Soil Mech. Found. Engng., v. 111, p. 256, London, 1957.
5. Ter-Stepanian G. Measurement of Depth Creep of Slopes, First Regional Conference (Asia). Intern. Soc. Soil Mech. Found. Engng., pap. 1 (c), iii, New-Delhi, India, 1960.