

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

К. А. ГУЛАКЯН

МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ СМЕЩЕНИЙ В ГЛУБИНЕ
ОПОЛЗНЕВОГО МАССИВА

Характер смещения и кинематика движения грунтов в глубине массива является наиболее проблематичной областью в общем комплексе оползневых явлений.

Изучением этого вопроса занимаются достаточно долгое время, однако поиски наиболее универсального метода наблюдений, применение которого дало бы достоверные данные о смещениях в оползневом массиве, продолжают до сих пор.

Для правильной характеристики смещений в массиве оползневого склона наблюдения должны вестись на множестве пунктов, распределенных по глубине с достаточной частотой. Так как деформации в начальной стадии процесса очень невелики, наблюдения должны отличаться высокой точностью. В сочетании с наблюдениями за оползневыми смещениями на поверхности изучение деформаций в массиве оползня позволит выявить правильную картину динамики и механизма оползневого процесса.

В настоящей работе сделана попытка критически рассмотреть существующие методы изучения смещений в оползнях и дать рекомендации по их применению. В обзор включены также и методы, применяемые для изучения сдвижений горных пород в подрабатываемых горными выработками толщах и движения льда в теле ледника.

Методы изучения распределения оползневых смещений по глубине Е. П. Емельянова разделяет на две категории [4]. В первую категорию входят методы, позволяющие провести наблюдения лишь один раз. Таким является метод наблюдений за скважиной, заполненной отличным от окружающих грунтов материалом, деревянными или металлическими цилиндрами, отрезками труб и т. д. Наблюдения ведутся в этом случае путем раскапывания «реперов» по истечении достаточно длительного промежутка времени.

Несмотря на чрезвычайную наглядность этого способа, трудность доступа к объекту наблюдений (необходимость проходки часто глубоких шурфов) и, самое главное, однократность определения сильно снижают его ценность.

Ко второй категории Е. П. Емельяновой отнесены методы, позволяющие вести определение элементов смещений в оползневом массиве многократно. Многочисленные методы, выделенные по этому признаку (мно-

гие из которых предлагались авторами как универсальные) разделены нами на две большие группы четким определением сфер их применения: 1) методы, определяющие глубину расположения поверхности или зоны смещения и 2) методы, определяющие кинематику грунтов в массиве оползня (величину, направление и скорость перемещений различных точек в массиве) и пространственное положение поверхности или зоны смещения.

Методы, определяющие глубину расположения поверхности или зоны смещения

Одним из важных вопросов исследования оползней является определение глубины смещения. Для разрешения этого вопроса могут быть использованы методы, объединенные нами в первую группу.

а) Определение глубины смещения посредством полицилиндрических систем или гибких трубок

Е. П. Емельяновой рекомендован способ наблюдений за глубинными реперами—отрезками труб, помещенными в скважины. Наблюдения выполняются с помощью колонны буровых штанг, периодически опускаемых в скважину. Перемещение оползневых грунтов нарушает положение труб и спуск колонны штанг оказывается невозможным. По длине колонны устанавливается местонахождение сдвинувшегося отрезка трубы. Сходным с описанным является метод наблюдений за деформациями гибкой пластмассовой трубки или резинового шланга, пересекающего весь оползень (6, 11).

б) Определение глубины смещения «электрическими фиксаторами смещений»

Для определения глубины смещения в оползневом массиве Московской оползневой станцией применяется метод наблюдений за так называемыми «электрическими фиксаторами смещений» (6). Установка представляет собой систему тонких электрических проводов, опущенных в буровую скважину. Система состоит из осевого провода с присоединенными к нему через определенные интервалы отводами. При оползневом смещении происходит разрыв проводов на некоторой глубине. Поочередным включением в электрическую цепь каждого из отводов находится нарушенный участок системы, что определяет соответствующую глубину разрыва.

Описанные методы исследования оползней предназначены для определения весьма важных элементов оползневого смещения—возникновения процесса смещения и выделения области распространения деформаций в массиве оползневого склона. Однако необходимо отметить, что эти методы обладают одним существенным недостатком, это—небольшая точность измерения. Кроме того, конструкции указанных глубинных реперов позволяют определять расположение лишь верхней грани-

цы зоны смещения (или поверхности смещения), что делает малоприменимым применение этих методов для изучения оползней с широкой зоной смещения в глубине оползневой массы.

Для изучения глубинных оползневых смещений привлекаются также и геофизические методы исследований. В рассматриваемую группу включены сейсмический и акустический методы.

в) Сейсмический метод наблюдений

В настоящее время для ведения сейсморазведки малых глубин создана одноканальная микросейсмическая установка ОСУ-2, применяемая для нахождения зон деформаций в оползневом массиве (1). Установка позволяет вести визуальное наблюдение сейсмического сигнала и измерение времени пробега сейсмической волны между пунктами возбуждения и приема упругих колебаний. Этот метод применялся при изучении оползней Черноморского побережья Кавказа. При этом относительная точность определения глубины нарушений составляла 5—8%.

г) Метод прослушивания звуковых импульсов

Прослушивание звуковых импульсов, возникающих при образовании точечных разрушений и трещин в породах, как способ выявления оползневых деформаций и расположения зоны нарушений возможно как в жестких горных породах, так и в мягких грунтах. Исследования показали [7], что при возникновении нарушений в мягких породах регистрируемые звуковые импульсы менее резкие и продолжительные, чем в хрупких жестких породах.

Несмотря на несомненно положительный опыт использования сейсмического и акустического методов, их применение на оползнях должно производиться, на наш взгляд, очень осторожно ввиду возможности допущения значительных ошибок в определении рассматриваемых явлений. Так, сейсморазведкой определяются все нарушения, имеющиеся в пределах изучаемого участка независимо от их происхождения и времени возникновения. При прослушивании звуковых импульсов очень затруднительно установить точное местонахождение трещин и плоскостей скольжения. Применение сейсмического и акустического методов в настоящее время может быть рекомендовано лишь в комбинации с другими методами, уточняющими и дополняющими их.

Методы, определяющие кинематику грунтов в массиве оползня, и пространственное положение поверхности или зоны смещения

Во вторую группу объединены методы, позволяющие выявить ряд важных элементов смещения в оползневом массиве—распространение деформаций в глубине оползня, величину и скорость смещения, ход развития процесса смещения и др. Все эти методы основаны на наблюдениях за положением всевозможных глубинных реперов и наблюдатель-

ных устройств, отличающихся большим разнообразием в конструктивных формах и принципах работы.

Ниже рассмотрены некоторые наиболее примечательные конструкции наблюдательных устройств и глубинных реперов и описаны способы наблюдений.

а) Измерение перемещений при помощи тензометрических датчиков

Для изучения смещений оттаивающих грунтов на склонах, подверженных солифлюкции, Л. А. Жигаревым предлагается вести наблюдения с помощью прибора, названного им дифференциальным измерителем смещений [5]. Основание прибора закрепляется в устойчивых мерзлых грунтах. Смещающиеся массы оказывают давление на клапаны прибора, которые, вдвигаясь внутрь корпуса, деформируют электродатчики сопротивлений. Фиксация изменений сопротивлений в датчиках позволяет судить о величине давления грунта на клапаны, то есть о величине и скорости перемещений грунтов на различной глубине от поверхности.

Метод измерения перемещений посредством тензодатчиков применяется при изучении динамики солифлюкционных процессов, однако, учитывая сходство процессов пластического течения поверхностных накоплений на склонах и солифлюкационного течения, считаем вполне возможным применение указанного метода при исследовании оползневых деформаций поверхностных накоплений.

б) Периодические измерения искривлений ствола скважины

Изучение оползневых явлений показывает, что в большинстве случаев в начальной стадии оползневого процесса имеет место длительный период медленных деформаций без образования поверхностей скольжения. Указанное явление обычно предшествует фазе быстрых смещений, а нередко происходит и после этой фазы.

Для исследования подобных медленных оползневых смещений различными исследователями часто предлагается проведение наблюдений за искривлением ствола скважины. Необходимо отметить, что несмотря на многочисленные рекомендации, подобные измерения проводятся чрезвычайно редко и с малым успехом. Это объясняется отсутствием необходимого оборудования и точных приборов. Применяющиеся инклинометры с красящими жидкостями или кислотами неудобны и очень неточны.

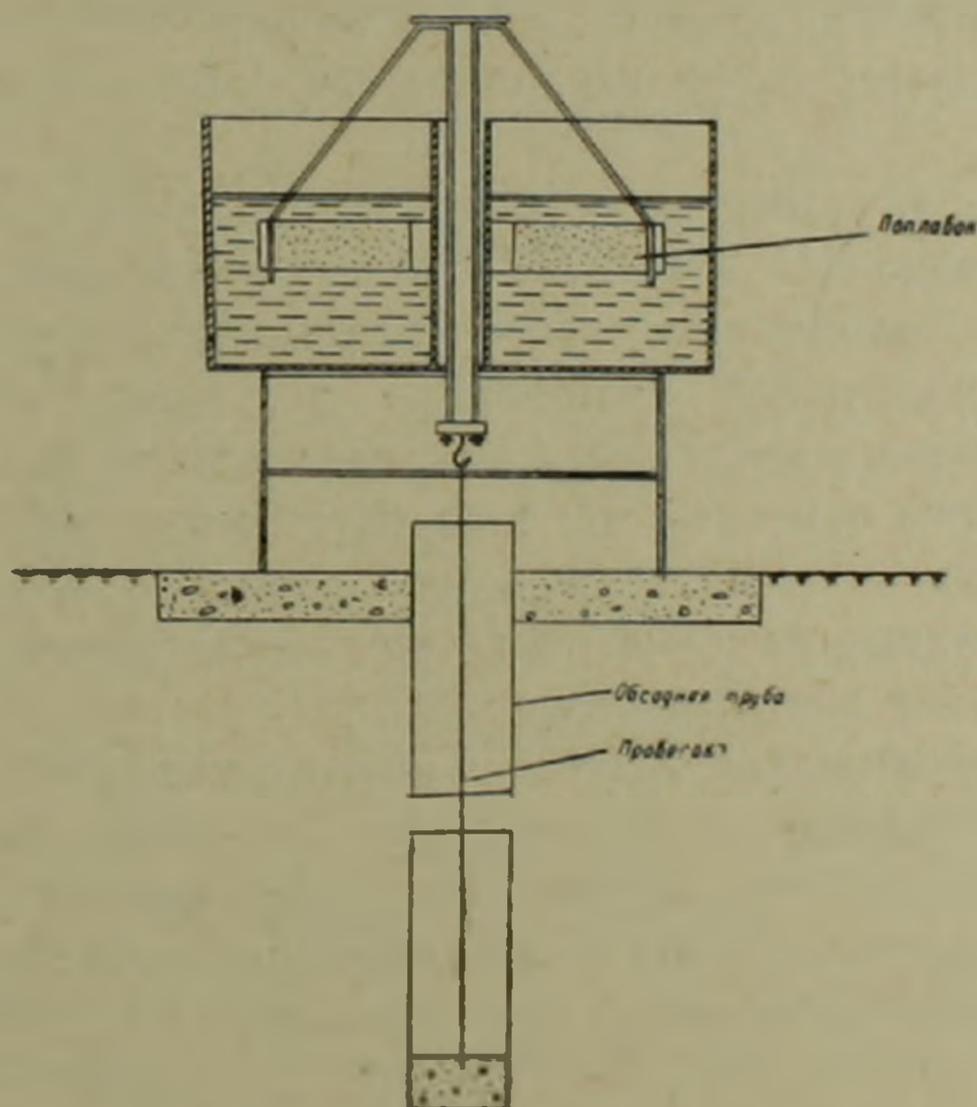
Наблюдения за искривлением ствола следует вести в скважинах, обсаженных гибкими трубами из пластических материалов (вполне возможна замена таких дорогостоящих в настоящее время труб толстостенными резиновыми рукавами). Большинство существующих систем инклинометров—гирскопических, маятниковых и др.—имеет достаточную точность измерений, но большая длина (свыше 1,5 м) делает невозможным опускание прибора при значительных углах искривления скважины.

С этой точки зрения мы считаем наиболее подходящим для измерения искривления ствола скважины на оползнях применение гироскопического датчика крена ДК-6М, выпускаемого отечественной промышленностью для нужд авиации. Гироскопический датчик позволит определить направление ствола (в вертикальной и горизонтальной плоскостях) немедленно по мере опускания в скважину. Технические данные прибора следующие: точность измерения зенитных углов $\pm 20''$; предел измерения зенитных углов $0-78^\circ$; диаметр прибора 150 мм, длина 228 мм (нормальное положение прибора, имеющего цилиндрическую форму, горизонтальное). Несколько большие габариты прибора потребуют бурения и обсадки специальных скважин диаметром 270—300 мм.

Определение деформаций ствола скважины, отражающих движение сползневых масс, производится с частотой, соответствующей темпу оползневого процесса. Такой способ изучения оползневых смещений в подготовительной стадии процесса при правильном оборудовании скважины (обсадка гибкими трубами) и применении точных инклинометров является весьма перспективным.

в) Измерение смещений при помощи поплавковых реперов

На оползнях такого же типа, как в предыдущем примере, могут быть рекомендованы для использования скважины с поплавковыми репера-



Фиг. 1. Поплавковый проволоочный репер.

ми*. Впервые такие реперы для исследования оползневых деформаций были применены Институтом геологических наук АН Арм. ССР на оползнях Черноморского побережья.

* Реперы подобного типа применяются в геодезии при высокоточном нивелировании с целью определения вертикальных сдвижений в глубине массива.

Проволочный поплавковый репер состоит из антикоррозионной проволоки, закрепленной в забое скважины. Выведенный наружу свободный конец проволоки прикрепляется к поплавку, плавающему в кольцевой ванне с водой. Положение туго натянутой поплавком проволоки и устья скважины фиксируется путем геодезической привязки к поверхностной наблюдательной сети. При оползневом смещении происходит изменение пространственного положения проволоки и устья скважины. Сравнение начальных координат с координатами, полученными при последующих наблюдениях, позволит выявить величину, скорость и направление смещения в оползне на глубине и на поверхности. Анализ ряда поплавковых реперов, заложенных на различные горизонты, позволит определить глубину зоны смещения, скорость и величины смещений на различных глубинах и др. При правильной установке реперов, строго вертикальном положении скважин и их большом диаметре они могут стать точным инструментом для исследования деформаций в глубине оползня в начальной стадии развития.

г) Периодические определения положений магнитных и электрических реперов

Наблюдения за смещениями в массиве оползня часто рекомендуется осуществлять при помощи магнитных и электрических реперов, закладываемых на различные горизонты [8]. В дальнейшем местонахождение реперов определяется путем периодической съемки изолиний силовых полей.

Наблюдения за магнитными реперами проводятся при помощи магнитометра с поверхности. Очевидно, что при небольших смещениях точное определение положения каждого репера очень затруднительно из-за наложения силовых полей. Достоверные результаты о ходе развития оползневого процесса могут быть получены спустя длительное время. Необходимо также отметить, что этот метод может быть использован лишь на «мелких» оползнях, так как при глубоком заложении магнитных реперов обнаружение их невозможно из-за недостаточной чувствительности применяемых магнитометров.

При использовании электрических реперов каждый из них заряжается поочередно и становится возможным вести наблюдения непрерывно с момента закладки. Следует учесть, что при съемке силовых полей электрических реперов возможно искажение картины распределения силового поля вследствие анизотропности среды.

д) Изучение смещений посредством наблюдений за радиоактивными марками

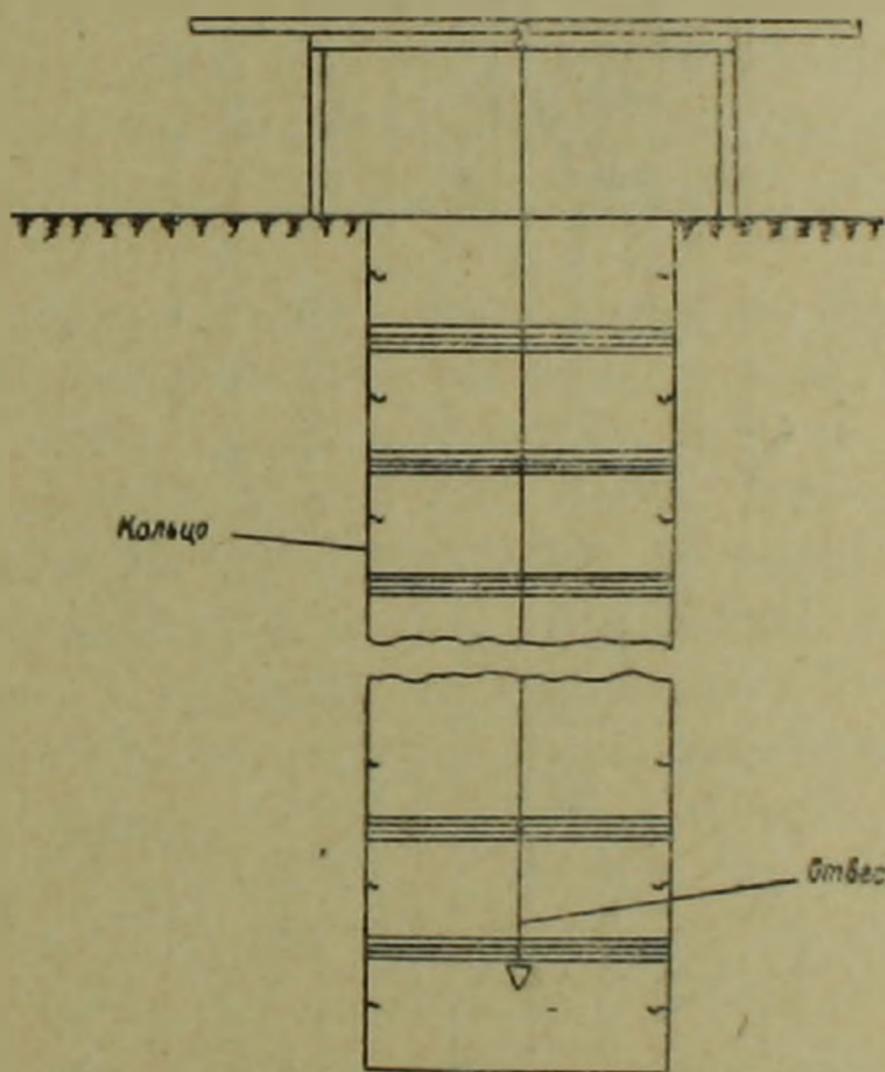
Н. Я. Денисовым и Г. А. Паушкиным [3] рассмотрены возможности применения гамма-локации для изучения процесса оползневого смещения на глубине. Ими использован принцип прямолинейного распространения гамма-излучений.

Источники гамма-излучений последовательно закладываются в буровую скважину через интервалы в 0,5—1,0 м. Их высотное положение фиксируется гамма-локатором, опускаемым в скважину, пробуренную параллельно первой. В дальнейшем, для определения положения радиоактивных источников, периодически пробуриваются две скважины на предполагаемом участке нахождения радиоактивных марок, в которые опускается локатор, и устанавливается их высотное и плановое положение.

Существенным недостатком этого метода является чрезвычайная сложность обнаружения марок после смещения и большой объем буровых работ, что отражается на эффективности применения.

е) Измерение смещений при помощи секционной обсадки шурфа

Для наблюдений за глубинными смещениями в оползневом массиве сооружаются специальные выработки круглого сечения диаметром 1,0—1,5 м, обсаженные бетонными или металлическими кольцами высотой 0,4—0,5 м, не имеющими жестких вертикальных связей [4]. Кон-



Фиг. 2. Секционная обсадка шурфа.

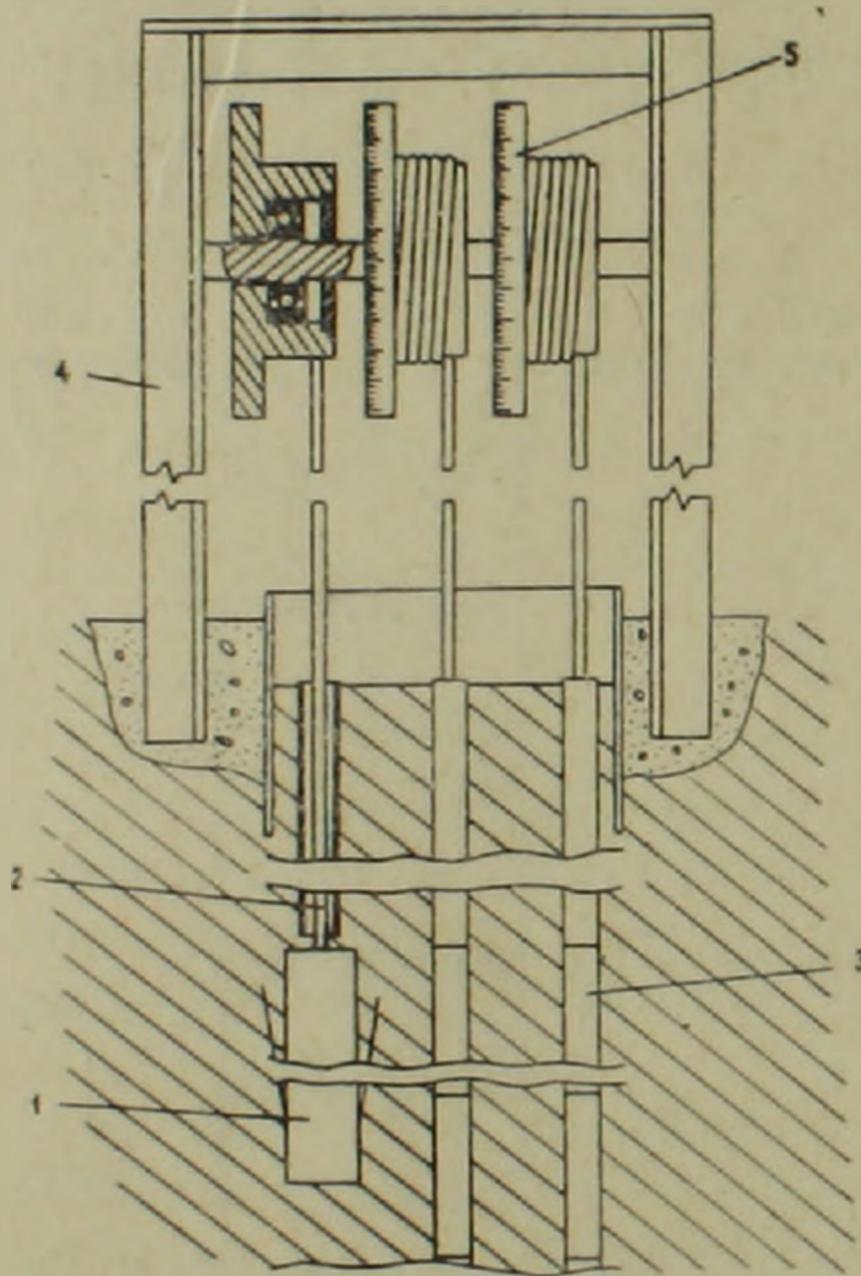
струкция установки позволяет кольцам, подчиняясь общему движению грунтов на оползневом склоне, свободно перемещаться относительно друг друга.

Этот метод применялся Институтом геологических наук АН Армянской ССР при изучении оползней Черноморского побережья. Наблюдения велись по способу, предложенному Г. И. Тер-Степаняном. Верхнее кольцо включалось в геодезическую сеть в качестве наблюдательной точки и устанавливались его точные координаты в каждом цикле наблюдений. При помощи отвеса определялись положения остальных колец

относительно верхнего. Сравнение результатов в разных циклах наблюдений позволило выявить глубину, направление и скорость смещения грунтов.

Слабой стороной этого метода является ограниченный срок службы установки; наблюдения прекращаются при величине смещения, равном радиусу колец, кроме того, невозможность проходки для наблюдательных целей выработок глубиной в несколько десятков метров делает неосуществимым изучение глубоких оползней. Следует также отметить затруднительность проведения наблюдений на участках с высоким уровнем грунтовых вод.

Ознакомление со всеми известными методами изучения глубинных деформаций подвижных масс и анализ их показали, что существующие методы не могут быть признаны полностью удачными и отвечающими требованиям универсальности. В большинстве своем они имеют ограниченное применение или же очень трудоемки и использование их часто сопряжено с большими сложностями. Эти обстоятельства убедили нас в



Фиг. 3. Глубинные реперы с выведенными на поверхность тросами. 1—репер, 2—трос, 3—предохранительная трубка, 4—монтажная рама, 5—блок со шкалой.

необходимости найти новое решение проблемы. Методика исследования глубинных оползневых смещений должна обеспечить легкость производства наблюдений, возможность измерений на различной глубине и в разных диапазонах, малую затрату средств и труда. Применяемые устройства должны отличаться простотой конструкций.

В качестве такого метода мы предлагаем метод, основанный на

принципе использования глубинных реперов с выведенными на поверхность тросами.

Методика изучения глубинных оползневых смещений посредством реперов с выведенными на поверхность тросами

Рекомендуемая установка является модификацией устройства, применяемого для измерения сдвижений в толще пород под влиянием горных выработок (9). Установка состоит из следующих основных частей: а) Репер—бетонный или металлический цилиндр, диаметром 40—50 мм и высотой 300—400 мм. Цилиндр снабжен металлическими пластинами-упорами, направленными под острым углом кверху. Упоры предназначены для точной фиксации репера в грунте. б) Гибкий стальной трос служит для соединения репера с поверхностью. в) Металлические трубки, диаметром 10—12 мм и длиной 500 мм. Реперный трос пропускается сквозь ряд трубок, служащих для предохранения троса от обжатия грунтов. (Металлические трубки рекомендованы лишь из соображения большей доступности, гораздо предпочтительнее замена металлических трубок пластмассовыми, учитывая их легкость и гибкость). г) Монтажная рама, служащая для крепления выведенных тросов и регистрирующего устройства. На раме смонтирована ось с блоками, посаженными на подшипниках.

Выведенные наружу тросы наматываются на блоки. Каждый блок снабжен измерительной шкалой с миллиметровыми делениями. Вращение блоков фиксируется по шкале, для увеличения сигнала периметр шкалы 1,5—2 раза больше периметра блока. Для облегчения отсчета блоки целесообразно снабдить счетчиками оборотов.

Установка реперов производится следующим образом. На забой буровой скважины, пройденной до необходимой глубины, опускается репер, закрепленный на тросе. Трос, пропущенный сквозь предохранительные трубки, закрепляется в натянутом состоянии таким образом, чтобы репер и отрезки трубок представляли собой вертикальную прямую линию. Обсадные трубы приподнимают над забоем, освобождая некоторую часть скважины от обсадки. Свободная от обсадки часть скважины заполняется измельченным грунтом и плотно утрамбовывается, тем самым репер оказывается прочно соединенным с окружающей породой. Далее, приподнимая обсадные трубы, таким же образом устанавливают второй и последующие реперы на необходимом расстоянии друг от друга. Предварительная обсадка и постепенное удаление обсадных труб необходимы для предохранения скважины от обрушения. В буровую скважину диаметром не более 150 мм рекомендуется закладывать группы по три репера, при увеличении диаметра скважины число реперов соответственно увеличивается. Нижний репер системы закладывается в устойчивом основании склона, остальные—распределяются таким образом, чтобы получить наиболее полные данные об элементах оползневого смещения. По окончании закладки реперов обсадные трубы

полностью удаляются. Над устьем скважины закрепляется монтажная рама с блоками. Свободные концы тросов наматываются на блоки, которые застопориваются специальными стопорами. Монтажная рама включается в наблюдательную геодезическую сеть в качестве наблюдательной точки, координаты которой устанавливаются в каждом цикле наблюдений.

При дифференцированном движении грунтовых масс в оползне реперы, установленные на различных горизонтах, перемещаются на различные величины. Передвижение тросов относительно рамы отражает смещение самого репера с окружающей породой и определяется при помощи меток, нанесенных на трос с интервалами 0,5 м, более маленькие величины (сантиметры и миллиметры) измеряются по шкале на блоке. Анализ передвижений тросов позволит определить величины и скорость смещений в вертикальном разрезе оползневого массива на различных горизонтах.

Применение предлагаемого метода дает возможность: 1) измерения смещения практически на любой глубине от поверхности, 2) измерений с достаточной точностью в любом диапазоне и 3) получения непрерывной во времени картины оползневых деформаций.

Следует, конечно, учитывать, что измеряемые величины сдвижения реперных тросов могут различаться от истинных величин смещения реперов из-за невозможности определения вертикальной и горизонтальной составляющих перемещения. Однако, это обстоятельство представляется нам несущественным ввиду того, что наблюдения за глубинными реперами будут контролироваться измерением перемещений поверхностных реперов. В такой комбинации наблюдений определение направления смещений не представляет большой сложности.

В настоящее время метод изучения смещений в массиве оползня глубинными реперами с выведенными на поверхность тросами проходит испытания на оползнях различных типов в Поволжье, Москве, на Северном Кавказе. Уже получены интересные результаты по наблюдениям за глубинными реперами на оползне в Одессе, уточнившие представления о механизме оползневого процесса [2].

Институт геологических наук
АН Армянской ССР

Поступила 25.IX.1964.

Կ. Ա. ԳՈՒԼԱԿՅԱՆ

ՍՈՂՔԱՅԻՆ ԶԱՆԴՎԱԾԻ ՆԵՐՍՈՒՄ ՏԵՂԻ ՈՒՆԵՑԱԾ ՇԱՐԺՈՒՄՆԵՐԻ
ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅԱՆ ՄԵԹՈԴՆԵՐԸ

Ա մ ֆ ո ֆ ո ս մ

Սողանքային երևույթների կոմպլեքսում խորրային տեղաշարժումների բնույթի որոշումը հանդիսանում է ամենակարևոր հարցերից մեկը: Զնայած այս հարցի ուսումնասիրությանը դրազվում են բազմազան երկար ժամանակ, սակայն մինչև այժմ չի գտնված որևէ մի ունիվերսալ մեթոդ, որի կիրառումը

թույլ տար սողանքների խորքում տեղաշարժերի մասին ճիշտ պատկերացում կազմել:

Ներկա աշխատանքում փորձ է արված բնարկել սողանքներում տեղաշարժերի ուսումնասիրությունների հայտնի մեթոդները և պարզել նրանց կիրառման հնարավորությունները:

Գոյություն ունեցող մեթոդները, որոնք թույլ են տալիս բազմակի որոշել տեղաշարժման էլեմենտները սողանքային զանգվածում, բաժանվում են 2 մեծ խմբերի:

1. Մեթոդներ, որոնց օգնությամբ որոշվում են տեղաշարժման մակերևույթի կամ զոնայի դիրքի խորությունը. 2. մեթոդներ, որոնք որոշում են գրունտների կինեմատիկան սողանքի զանգվածում և տեղաշարժման մակերևույթի կամ զոնայի տարածական դիրքը:

Սողանքային զանգվածում տեղաշարժման ուսումնասիրության գոյություն ունեցող մեթոդների անալիզը համոզեց մեզ գտնել հարցի նոր լուծում, որը պետք է ասպահովի դիտումների հեշտ կատարում, հնարավորություն տա շափել դեֆորմացիաները տարբեր խորությունների վրա, ընդ որում ծախսել մինիմալ միջոցներ ու աշխատանք: Օգտագործվող սարքավորումները պետք է ունենան պարզ կոնստրուկցիա:

Իբրև այդպիսի ունիվերսալ մեթոդ մենք առաջարկում ենք մի մեթոդ, որը հիմնված է խորքային նիշերի (օժտված մետաղյա ճոպաններով, որոնք դուրս են բերված մակերես) օգտագործման սկզբունքի վրա:

Առաջարկվող մեթոդի կիրառումը հնարավորություն է տալիս՝ 1. տեղաշարժման շափումներ կատարել մակերեսից ցանկացած խորության վրա, 2. շափումներ կատարել ցանկացած դիապազոնով և 3. ստանալ սողանքների դեֆորմացիայի անընդհատ պատկերը:

Ներկայումս սողանքային տեղաշարժերի ուսումնասիրության այս մեթոդն օգտագործվում է տարբեր տիպի սողանքների վրա (Պովոլժիե, Մոսկվա և Օդեսա): Արդեն ստացված են հետաքրքիր արդյունքներ Օդեսայի սողանքի ուսումնասիրության ժամանակ, որոնց միջոցով ճշտվել է մեր պատկերացումը այդ սողանքի մեխանիզմի մասին:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Азими Ш. А., Огильви А. А. Опыт применения одноканальной сейсмической установки при инженерно-геологических исследованиях. Разведка и охрана недр, № 14, 1962.
2. Гулакян К. А. Опыт определения глубины и механизма оползневого смещения в Одессе. Автореферат доклада. Бюллетень Московского общества испытателей природы, № 3, 1964.
3. Денисов Н. Я., Паушкин Г. А. Применение гамма-локации для изучения динамики оползней потоков. Оползни и борьба с ними, Ставрополь, 1964.
4. Емельянова Е. П. Методическое руководство по стационарному изучению оползней. Гостгеолтехиздат, 1956.
5. Жигарев Л. А. Экспериментальное исследование скоростей движения грунтовых масс на солифлюкционных склонах. Труды Ин-та мерзлотоведения, т. № 16, 1960.
6. Кюнтцель В. В., Новиков П. А. Методика наблюдений за оползневыми смещениями с помощью глубинных реперов. Оползни и борьба с ними, Ставрополь, 1964.
7. Никитин С. Н. Опыт применения звукометрической станции для оценки устойчивости бортов карьеров. Изв. ВУЗ «Горный журнал», № 6, 1958.

8. Огильви А. А., Нетунахин В. И. К вопросу о возможностях применения геофизических методов разведки при изучении оползней. Вестник ЛГУ, № 5, вып. 3, 1954.
9. Петухов И. М. Некоторые новые методы и приборы для измерения сдвижения горных пород. Труды ВНИМИ, т. XXVII, 1953.
10. Perutz M. F. Direct measurement of the velocity distribution in a vertical profile through a glacier. I. *Glaciol.*, 1950, v. № 7.
11. Rudberg S. Some observations concerning mass movement on slopes in Sweden. *Geol. fören i Stockholm förhandl.*, 1958, 80, № 1.