

6
АБУ

АКАДЕМИЯ НАУК КИРГИЗСКОЙ ССР
СОВЕТ ПО ГЕОЛОГИИ И ГОРНОМУ ДЕЛУ ОБЪЕДИНЕННОГО
СОВЕТА ПО ТЕХНИЧЕСКИМ И ЕСТЕСТВЕННЫМ НАУКАМ

На правах рукописи

ГИСС РОБЕРТ ЕГОРОВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ
ДЕФОРМАЦИЙ СКАЛЬНЫХ СКЛОНОВ
И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ИХ ИЗУЧЕНИЯ

(в условиях района строительства Токтогульской ГЭС)

Специальность — 01.02.07. Механика грунтов,
горных пород и сыпучих материалов

А в т о р е ф е р а т
диссертации, представленной на соискание
ученой степени кандидата технических наук

Фрунзе 1975

АКАДЕМИЯ НАУК КИРГИЗСКОЙ ССР

СОВЕТ ПО ГЕОЛОГИИ И ГОРНОМУ ДЕЛУ ОБЪЕДИНЕННОГО
СОВЕТА ПО ТЕХНИЧЕСКИМ И ЕСТЕСТВЕННЫМ НАУКАМ

На правах рукописи

ГИСС РОБЕРТ ЕГОРОВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ДЕФОРМАЦИЙ
СКАЛЬНЫХ СКЛОНОВ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ИХ
ИЗУЧЕНИЯ

(в условиях района строительства Токтогульской ГЭС)

Специальность - 01.02.07. Механика грунтов,
горных пород и опущих материалов

А в т о р е ф е р а т

диссертации, представленной на соискание
ученой степени кандидата технических наук

Фрунзе - 1975

Работа выполнена в Институте физики и механики горных пород
АН Киргизской ССР.

Научный руководитель:
кандидат технических наук В.Я.Степанов

Официальные оппоненты:
доктор технических наук М.В.Курленя
кандидат технических наук Ш.А.Мамбетов

Ведущее предприятие:
Среднеазиатское отделение Гидропроекта
им. С.Я.Жука

Автореферат разослан "_____" _____ 1975 г.

Защита диссертации состоится "_____" _____ 1975 г.
на заседании Ученого Совета по геологии и горному делу Объединенного
Ученого Совета по техническим и естественным наукам Академии наук
Киргизской ССР (г.Фрунзе, бульвар Дзержинского, 30).

С диссертационной работой можно ознакомиться в библиотеке АН
Киргизской ССР (г.Фрунзе, бульвар Дзержинского, 30).

Отзыв, заверенный печатью, просим направлять в двух экземплярах
по адресу: г.Фрунзе, бульвар Дзержинского, 30. Институт геологии,
ученому секретарю.

Ученый секретарь Совета
по геологии и горному делу
кандидат геолого-минерало-
гических наук

В.В.Малыгин В.В.МАЛЫГИН

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В связи с все более интенсивным освоением горных районов, и особенно со строительством высоких плотин в узких горных каньонах, весьма важное значение приобрела проблема оценки длительной устойчивости высоких скальных склонов и контроля за их состоянием во времени.

Склоны в процессе своего развития, как и вся земная кора, далеко не всегда и не везде находятся в равновесии и покое, а в разное время и по весьма разнообразным причинам происходят нарушения равновесия верхних слоев пород и их деформации. Из инженерной практики известно немало случаев, когда деформации горных склонов приводили к катастрофическим последствиям. Примерами тому служат произошедшие в последние годы грандиозные оползни в долинах рек Вайонт (Италия), Височица (Югославия), Мохоч (Датгестан) и Зеравшан (Средняя Азия).

Во многих случаях причиной нарушения устойчивости склонов являются реологические процессы, протекающие в массивах горных пород на что неоднократно указывали многие исследователи. В одной из работ по вопросу устойчивости бортов карьеров профессор Г.Л. Фисенко пишет: "... даже в скальных породах опасным деформациям предшествуют длительно развивающиеся микродеформации ...". Это замечание вполне может быть отнесено и к скальным склонам. Существенное влияние на деформации высоких скальных склонов оказывают также современные тектонические процессы, землетрясения и взрывы, изменение температуры и влажности, а также факторы, обусловленные деятельностью человека в связи со строительством плотин и созданием крупных водохранилищ.

Под влиянием всех этих факторов массивы горных склонов непрерывно деформируются, при этом могут иметь место как обратимые, так и необратимые деформации. К сожалению, информация о деформациях скальных склонов и оснований в процессе возведения и эксплуатации высоких плотин, как у нас, так и за рубежом, не отличается полнотой. В зарубежной практике по настоящему за наблюдения деформаций склонов взялись только после грандиозных катастроф (Мальпасе, Вайонт), т.е. после 1960 г. в Советском Союзе такие наблюдения начались примерно в это же время в связи со строительством Братской ГЭС.



Настоящая работа посвящена исследованию деформаций высоких скальных склонов применительно к задачам гидротехнического строительства и является частью проблемы оценки, прогнозирования и обеспечения их устойчивости.

Целью работы является изучение основных закономерностей деформаций скальных склонов, разработка рекомендаций по их прогнозу и контролю за развитием во времени.

Основные вопросы работы сводятся к изучению основных закономерностей развития предположенных деформаций в крутых скальных склонах, определении их скорости и характера в конкретных инженерно-геологических условиях; исследованию влияния климатических условий и сейсмических сил на динамику деформирования скальных склонов, оценке характера распределения напряжений в скальных склонах, как фактора определяющего величину и скорость их деформирования; совершенствованию методики и разработке рекомендаций по проведению высокоточных натурных наблюдений с целью исследования характера деформирования скальных склонов и контроля их состояния как в период строительства, так и в период эксплуатации гидросооружений; разработке рекомендаций по прогнозу деформаций скальных склонов во времени на основе изучения их напряженного состояния и реологических параметров, полученных по результатам натурных наблюдений.

Общая методика исследований. При выполнении работы был использован комплексный метод исследований, включающий обобщение и анализ литературных данных, высокоточные натурные наблюдения за деформациями и изучение естественной напряженности скальных склонов на строительстве Токтогульской ГЭС методом разгрузки, обработку и интерпретацию результатов с привлечением методов механики сплошной среды. Для решения отдельных задач разработаны частные и усовершенствованы существующие рабочие методики.

Научная новизна. Установлено, что в скальных склонах в результате длительного действия напряжений развиваются деформации ползучести, определена их скорость и выявлен линейный характер. По данным о скорости деформаций ползучести скальных склонов и их напряженном состоянии вычислен коэффициент эффективной вязкости для пород различных групп сохранности. Предложена методика и построена номограмма для практических расчетов скорости смещений пород в зависимости от уровня напряжений, действующих в них, что дает возможность прогнозировать величину смещений отдельных участков склонов на любой момент времени.

Практическое значение работы. Установленные закономерности предположенных деформаций, разработанные рекомендации по их изучению и прогнозу необходимы для оценки длительной устойчивости высоких скальных склонов и обоснования инженерных мероприятий по предотвращению опасных последствий в местах строительства крупных плотин и других ответственных сооружений.

Реализация работы. Результаты исследований использованы при проектировании и строительстве Токтогульской ГЭС. По рекомендованной методике в период строительства осуществлялся контроль за состоянием оползне- и обвалоопасных массивов скальных склонов в районе расположения основных сооружений. Результаты также использованы при составлении проекта натурных наблюдений на период эксплуатации гидроузла.

Апробация работы. Основное содержание докладывалось и было одобрено: на научно-технической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения В.И.Ленина "Повышение эффективности горных работ в Киргизии", Фрунзе, 1970г; на III и V семинарах по измерению напряжений в массиве горных пород, Новосибирск, 1971, 1975гг; на III-IV межведомственных совещаниях по изучению современных движений на геодинимических полигонах, Алма-Ата, 1971 г.; Таллин, 1973 г.; на Республиканской конференции Совета научно-технических обществ "Молодежь советского Киргизстана в борьбе за технический прогресс", посвященной 50-летию образования СССР, Фрунзе, 1973г.; на техническом совещании при главном инженере дирекции строящейся Токтогульской ГЭС в 1975 году; на заседании научно-методического семинара по физике и механике горных пород и на Ученом Совете Института физики и механики горных пород АН Киргизской ССР в 1973-75 гг.

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликовано 7 работ.

Объем работы. Реферируемая работа состоит из пяти глав, изложенных на 140 страницах машинописного текста с 46 рисунками и 13 таблицами, библиографии из 131 наименования.

Работа выполнялась в течение 6 лет в Институте физики и механики горных пород АН Киргизской ССР и на строительстве Токтогульской ГЭС.

В первой главе выполнен анализ ряда примеров деформаций естественных склонов и бортов карьеров, имевших место в инженерной практике; рассмотрены основные факторы, влияющие на деформации, природа и механизм деформирования; сделан обзор методов изучения деформаций склонов.

В большинстве случаев основной причиной потери устойчивости склонами является длительная ползучесть олагающих их массивов пород и деформация может быть обнаружена на ранних стадиях развития. В работах М.Н.Гольдштейна, Е.П.Емельяновой, Г.С.Золотарева, Н.Н.Куваева, Н.Н.Маслова, А.М.Мочалова, Л.Мюллера, С.Н.Никитина, Л.Сукеева, Г.С.Тер-Степаняна, К.Терцаги, Г.Л.Фисенко, О.Эйде и других установлены основные закономерности оползневых деформаций, изучены предоползневые деформации бортов карьеров и естественных склонов, сложенных слабыми породами, разработаны методы их прогноза.

Несмотря на то, что процесс деформирования крутых скальных склонов, предшествующий катастрофическим подвижкам, играет решающую роль в потере их устойчивости, он до настоящего времени практически не изучался. Основными факторами, определяющими процесс развития деформаций в склонах, являются геологическое строение, величина и характер распределения напряжения в них, прочностные и деформационные свойства пород, подземные воды, сейсмический режим и климатические условия района. Влияние многих из этих факторов изучено еще недостаточно.

Напряженное состояние склонов является одним из основных факторов, хотя до недавнего времени ему не уделяли должного внимания и лишь в последнее время приступили к его изучению. Наиболее широкий комплекс исследований напряженного состояния склонов, как фактора определяющего их прочность и устойчивость, выполнен в МГУ под руководством профессора Г.С.Золотарева, теоретические и экспериментальные исследования выполнены также во ВНИГе им. Б.Е.Веденеева, Гидропроекте им. С.Я.Жука, МИСИ им. В.В.Куйбышева, Институте физики и механики горных пород АН Киргизской ССР и других организациях. В результате этих исследований установлены основные закономерности в распределении напряжений в склонах, влияние отдельных факторов и изучено напряженное состояние склонов в конкретных инженерно-геологических условиях.

Для своевременного обнаружения деформаций склонов во времени,

обусловленных действующими в них напряжениями, ведутся наблюдения с помощью геодезических и специальных методов измерения смещений. Из оценки этих методов следует, что они нуждаются в дальнейшем совершенствовании. Геодезические методы позволяют вести наблюдения за смещениями массивов горных пород на большой площади, но не обладают достаточной точностью, что не позволяет, особенно в крутых скальных склонах, обнаружить деформации на ранних стадиях и, в необходимых случаях, заранее провести необходимые мероприятия по предотвращению возможных аварий.

Некоторые из специальных методов дают возможность измерять деформации пород с большой точностью, но на незначительных базах, что позволяет фиксировать деформации лишь небольших блоков пород, зачастую разнонаправленные и не дают возможности обнаружить смещения больших массивов, оползание которых представляет опасность. К тому же точность измерений при применении этих методов существенно зависит от ряда факторов, исключить которые далеко не всегда удается.

Выполненный анализ и обзор позволил определить цель, основные вопросы и методику исследований.

Во второй главе кратко изложена инженерно-геологическая характеристика района строительства Токтогульской ГЭС и методика высокоточных наблюдений за деформациями скальных склонов.

Участок строительства основных сооружений Токтогульского гидроузла расположен в узком V-образном ущелье с очень крутыми (60-80°) склонами. Относительное превышение подораздельных частей над отметкой коренного ложа составляет 900-1600 м.

Массив пород, олагающий склоны и основание участка строительства представлен мраморизованными известняками нижнекаменноугольного возраста и характеризуется блочным строением. Крупными тектоническими трещинами, имеющими мощность зоны дробления порядка 5 м, участок разбит на отдельные структурные блоки среднего размера 55 x 55 x 60 м, которые в свою очередь более мелкими трещинами этих же систем разбиты на блоки размером 2,5 x 2,5 x 8 м.

По характеру сохранности горных пород выделяются две зоны с существенно различными характеристиками:

- а) зона разуплотнения, образованная действием сил бортового отпора, сил гравитации и процессов выветривания;
- б) зона сохранных пород.

По результатам многочисленных исследований, выполненных различными организациями, физико-механические свойства горных пород в зависимости от степени сохранности, изменяются в широких пределах. Основные физико-механические характеристики горных пород участка строительства сведены в табл. I.

Таблица I

Основные физико-механические характеристики горных пород участка строительства Токтогульской ГЭС

№ пп	Физико-механические характеристики	Предел изменения
1.	Статический модуль деформации $E_{ст} \cdot 10^3$, кг/см ²	10 - 150
2.	Динамический модуль упругости $E_{дин} \cdot 10^3$, кг/см ²	190 - 630
3.	Скорость продольной волны V_p , км/сек	2,25 - 5,40
4.	Скорость поперечной волны V_s , км/сек	0,95 - 2,85
5.	Предел прочности на одноосное сжатие $\sigma_{сжм}$, кг/см ²	748 - 1178
6.	Сцепление C_1 , кг/см ²	0,55 - 3,50
7.	Коэффициент трения, μ	0,60 - 1,00

Сложность горно-геологического строения, современное состояние массивов горных пород, длительно действующие разгрузки и выветривание predisполагают к возникновению в склонах оползней и обвалов.

С целью обнаружения длительно развивающихся микродеформаций, предшествующих катастрофическим подвижкам, перспективным представляется использование высокоточных геофизических методов, применяемых в сейсмологии при изучении предвестников землетрясений (штанговые деформографы и наклономеры), а также гидростатического нивелирования.

Для измерения горизонтальных деформаций использованы штанговые деформографы большой базы (до 25 м) с прямой непрерывной фотооптической регистрацией. Точность определения деформаций с по-

мощью деформографов для интервала порядка года по результатам исследований Л.А.Латыниной равна $5 \cdot 10^{-7}$; вертикальные смещения измерялись стационарно установленными гидростатическими нивелирами с базой до 32 м. По результатам наблюдений, проведенных на Токтогульской ГЭС, ошибка определения вертикальных деформаций группой из четырех приборов за год не превышает ± 10 мк. Для регистрации наклонов отдельных элементов склонов были использованы наклономеры конструкции В.Ф.Бончковского и А.Е.Остроумовского, точность измерения которых в термостатированных условиях составляет $\pm 2''$ в год. Кроме того на отметке 870 м проводилось периодическое нивелирование по реперам, заложенным в стенках штолен, переносными гидростатическими нивелирами конструкции Мейсера (ГДР).

В связи с тем, что примененные приборы отличаются высокой чувствительностью к изменениям температуры, влажности и давления, они устанавливались в специальных наблюдательных станциях, оборудованных в геологических штольнях. Наблюдательные станции отделены от дневной поверхности двойными бутобетонными перегородками со стороны поверхности и такими же перемычками, но с дверями со стороны массива. Двери утолщены стекловатой и обиты дермантином.

Наблюдательные станции были заложены в левом склоне в створе строительства на отметках 815 и 870 м, расположенных на высоте 125 и 180 м от уровня реки. Станции приурочены к наиболее характерным местам склона: трещинам различного генетического типа и различной ориентировки, ненарушенному массиву, породам различной степени сохранности.

В третьей главе приведены результаты наблюдений и установлены основные закономерности деформаций высоких скальных склонов во времени. Результаты наблюдений показывают, что в скальных склонах развиваются деформации ползучести, в результате которых происходит смещение массивов горных пород в сторону свободной поверхности. На фоне общего медленного движения всего склона в сторону долины реки имеют место более интенсивные локальные движения отдельных блоков. Скорости смещений массивов горных пород возрастают по мере приближения к дневной поверхности, т.е. в зоне разуплотненных пород, при удалении вглубь массива (в его ненарушенной части) заметно убывают и на глубине 100-150 м практически затухают.

ют. Характерные графики общего хода вертикальных и горизонтальных смещений, полученные по одной из станций (станция № I, гидростатические нивелиры и деформограф с базой измерения II м, пересекающие тектонические трещины 995 и 995а и зоны их влияния) представлены на рис. 1-2. Подобные результаты получены и по другим

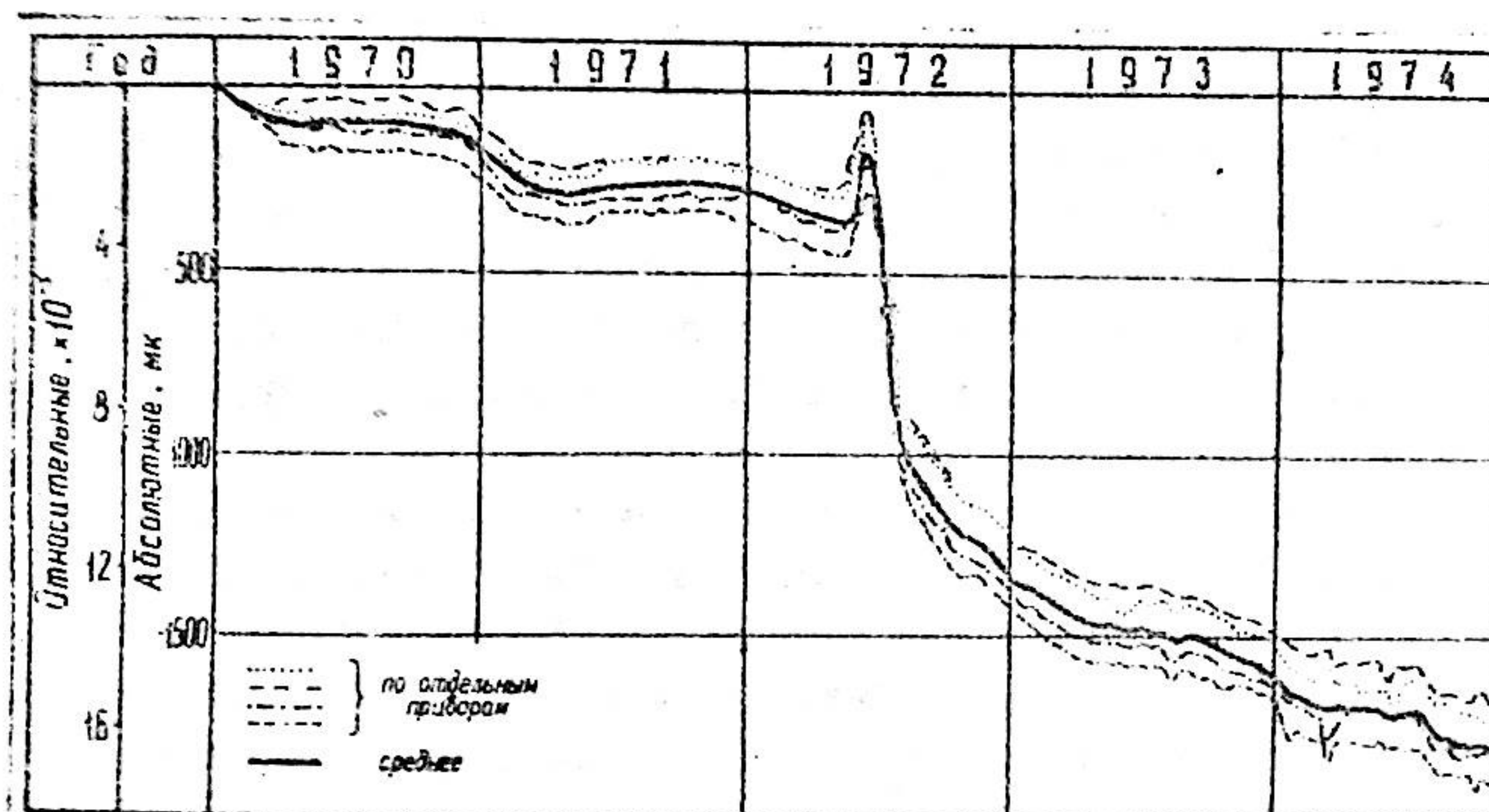


Рис. 1. Вертикальные деформации по трещинам 995 и 995а и в зоне их влияния.

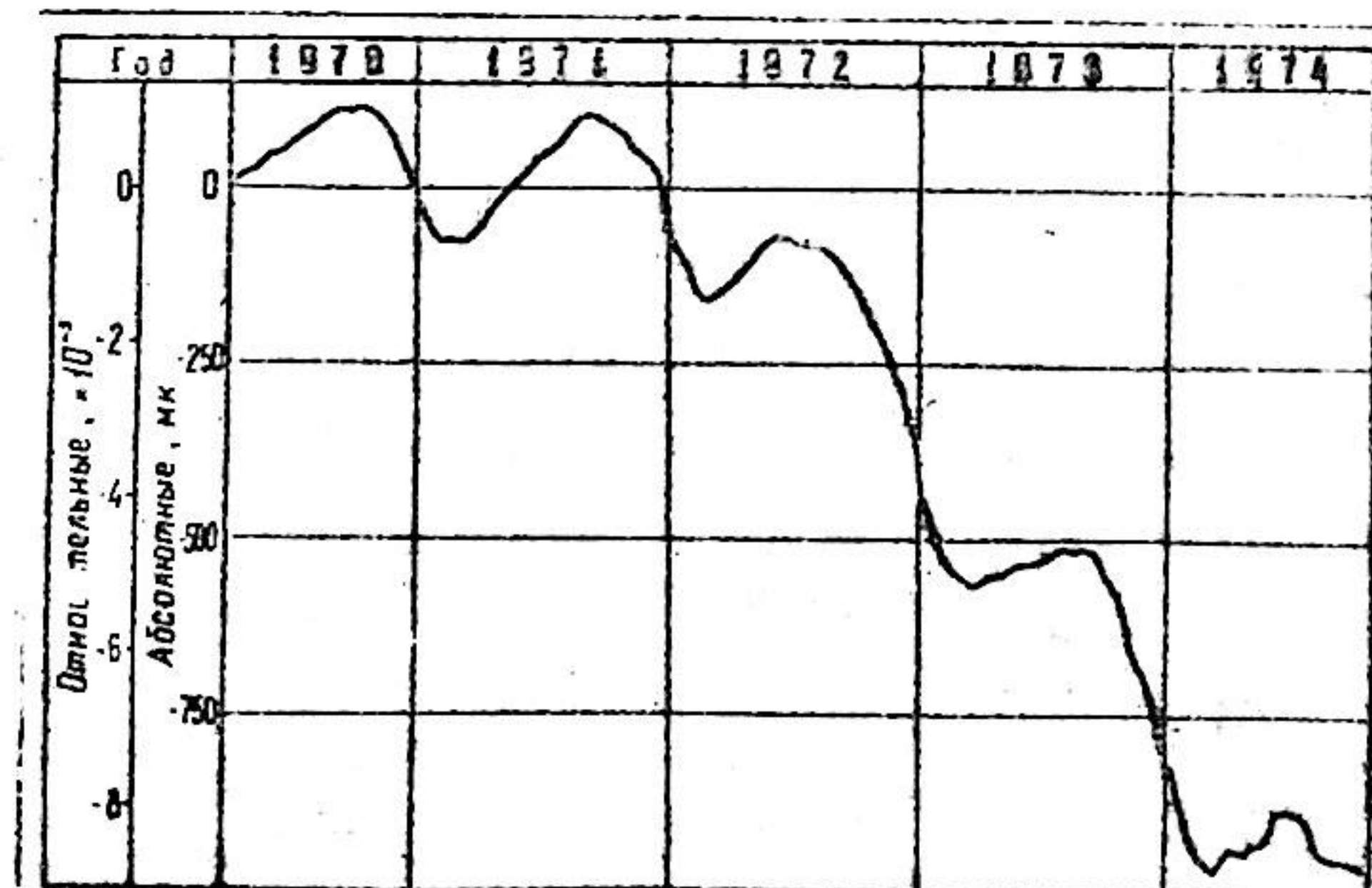


Рис. 2. Горизонтальные деформации по трещинам 995 и 995а и в зоне их влияния.

станциям. В табл. 2 приведены скорости деформаций пород различной категории сохранности, полученные по результатам выполненных исследований.

Таблица 2

Относительные деформации известняков Токтогульской ГЭС

№ ст.	Место наблюдения	Группа сохранности пород	Вертикальные составляющие $\cdot 10^{-5}$ 1/год	Горизонтальные составляющие $\cdot 10^{-5}$ 1/год	Результирующее $\cdot 10^{-5}$ 1/год	Направление смещения (от вертикали)
1.	Очень трещиноватые известняки. Ст. № 4	I	2	-	-	-
2.	Зоны тектонических трещин 995 и 995а. Известняки сильно трещиноватые. Ст. № I	II	1,5	-0,25	1,52	-9°
3.	Зоны тектонической трещины № 69. Известняки повышенной и средней трещиноватости. Ст. № 2.	III	0,75	0,7	1,02	43°
4.	Монолитный, слаботрещиноватый известняк. Ст. № 3	IV	0,25	-0,04	0,25	-9°

На фоне общего хода смещений выделяются обратимые сезонные деформации. Ход сезонных деформаций по приборам, установленным на разном удалении от дневной поверхности, хорошо согласуется с ходом внешней температуры и повторяет его с некоторым запаздыванием. Период запаздывания для станций, расположенных на разном удалении от дневной поверхности, увеличивается по мере удаления вглубь массива от полумесяца на расстоянии 20-25 м до двух месяцев на расстоянии 70-95 м от дневной поверхности. Амплитуда периодических сезонных деформаций по мере удаления вглубь массива уменьшается и изменяется в относительных деформациях.

циях от $12 \cdot 10^{-6}$ на удалении 5-35 м от дневной поверхности, до $2 \cdot 10^{-6}$ на удалении 70-95 м. Столь значительные сезонные деформации связаны с нарушением разуплотненной зоны склонов, где проводились наблюдения.

Из практики известно, что часто причиной крупных обвалов и оползней служат землетрясения. С целью оценки влияния землетрясений на деформацию склонов в районе строительства Токтогульской ГЭС были собраны основные данные о землетрясениях, зарегистрированных в период наблюдений вблизи данного района. Координаты эпицентра, глубина и энергетический класс землетрясений были получены от отдела сейсмологии Института геологии АН Киргизской ССР.

Бальность землетрясений в местах наблюдений вычислялась по формуле, предложенной Н.В.Шебалиной

$$J_0 - J_i = S \lg \frac{\sqrt{\Delta^2 + h^2}}{h} \quad (I)$$

где J_0 - интенсивность землетрясения в эпицентре, баллы;

J_i - интенсивность землетрясений в рассматриваемой точке, баллы;

Δ - расстояние до эпицентра, км;

h - глубина очага землетрясения, км;

S - коэффициент, для Средней Азии равный 3,8.

Анализ деформаций склонов после землетрясений, интенсивность которых за весь период наблюдений для исследуемого района не превышала 4-х баллов, показал, что после землетрясений имеет место как незначительное увеличение, так и уменьшение скорости деформаций. Изменение скорости деформаций такого же порядка наблюдалось и в периоды, когда землетрясений не было. Поэтому можно считать, что землетрясения интенсивностью до 4-х баллов не оказывают существенного влияния на процесс деформирования склонов.

С целью изучения влияния сейсмических нагрузок большей интенсивности на характер деформаций склонов были проведены специальные наблюдения за смещениями по наиболее опасным трещинам в период и после промышленных взрывов, которые проводились вблизи этих трещин в связи с горнопроходческими работами.

Для сопоставимости результатов наблюдений от взрывов различного количества ВВ и проведенных на разном удалении от трещины,

сейсмический эффект взрывов J оценивался в баллах по формуле С.В.Медведева:

$$L_1 - 5 \lg \frac{z}{\sqrt{c}} \leq J \leq L_2 - 5 \lg \frac{z}{\sqrt{c}} \quad (2)$$

где z - расстояние, м;

c - количество ВВ, кг.

Для мгновенных подземных взрывов

$$L_1 = 10,3, \quad L_2 = 11,3.$$

Результаты наблюдений показали, что проведение серии взрывов приводит к значительному увеличению скоростей деформаций по тектоническим трещинам (рис. 1-2). После взрывов скорости деформации постепенно уменьшались и по истечении некоторого времени достигали величин, имевших место до взрывов. При взрывах, сейсмический эффект которых для тектонической трещины на горизонте наблюдений оценивался 8 и более баллов, скорости смещений достигали 50 мк в сутки, т.е. превышали обычные скорости в 15-20 раз. С другой стороны взрывы, максимальная интенсивность которых для трещины оценивалась семью и менее баллами, не оказали заметного влияния на скорости деформаций.

Проведенными исследованиями определены скорости деформаций в наиболее характерных местах склонов. Путем расчетов могут быть установлены скорости деформаций и дан прогноз смещений на определенный срок для всего склона. Для проведения таких расчетов необходимо располагать данными о напряженном состоянии склонов.

В четвертой главе описаны результаты исследования напряженного состояния горных склонов района строительства Токтогульской ГЭС методом разгрузки. Для исследования напряженного состояния склонов был применен метод ВНИМИ, сущность которого заключается в измерении деформаций упругого восстановления на торце выбуриваемого керна.

Переход от измеренных деформаций к напряженному состоянию осуществляется по известным формулам теории упругости, в которые входят упругие характеристики горных пород - модуль Юнга E и коэффициент Пуассона μ . При этом модуль Юнга и коэффициент Пуассона предполагаются постоянными, не зависящими от величины действующих напряжений. Однако, как показали последние исследования многих авторов (Л.С.Бурштейн, В.Дитце, К.Хёфер, В.Брайс

и др.), E и μ для большинства горных пород являются не константами, а параметрами, зависящими от величины и вида напряженного состояния (растяжение или сжатие, одноосное или трехосное).

В результате обработки диаграмм сжатия цилиндрических образцов известняков^{*} Токтогульской ГЭС для нескольких циклов нагрузки-разгрузки также была обнаружена зависимость модуля упругости и коэффициента Пуассона от величины приложенной нагрузки. Для испытанных известняков предел упругости составлял 60% от разрушающей нагрузки. В значительной части опытов при испытании образцов даже в диапазоне до 60% от разрушающей нагрузки наблюдался рост модуля Юнга с увеличением нагрузки. Модуль Юнга определялся по деформации при разгрузке образца. Указанная зависимость для нескольких образцов представлена на рис. 3. Математическая обра-

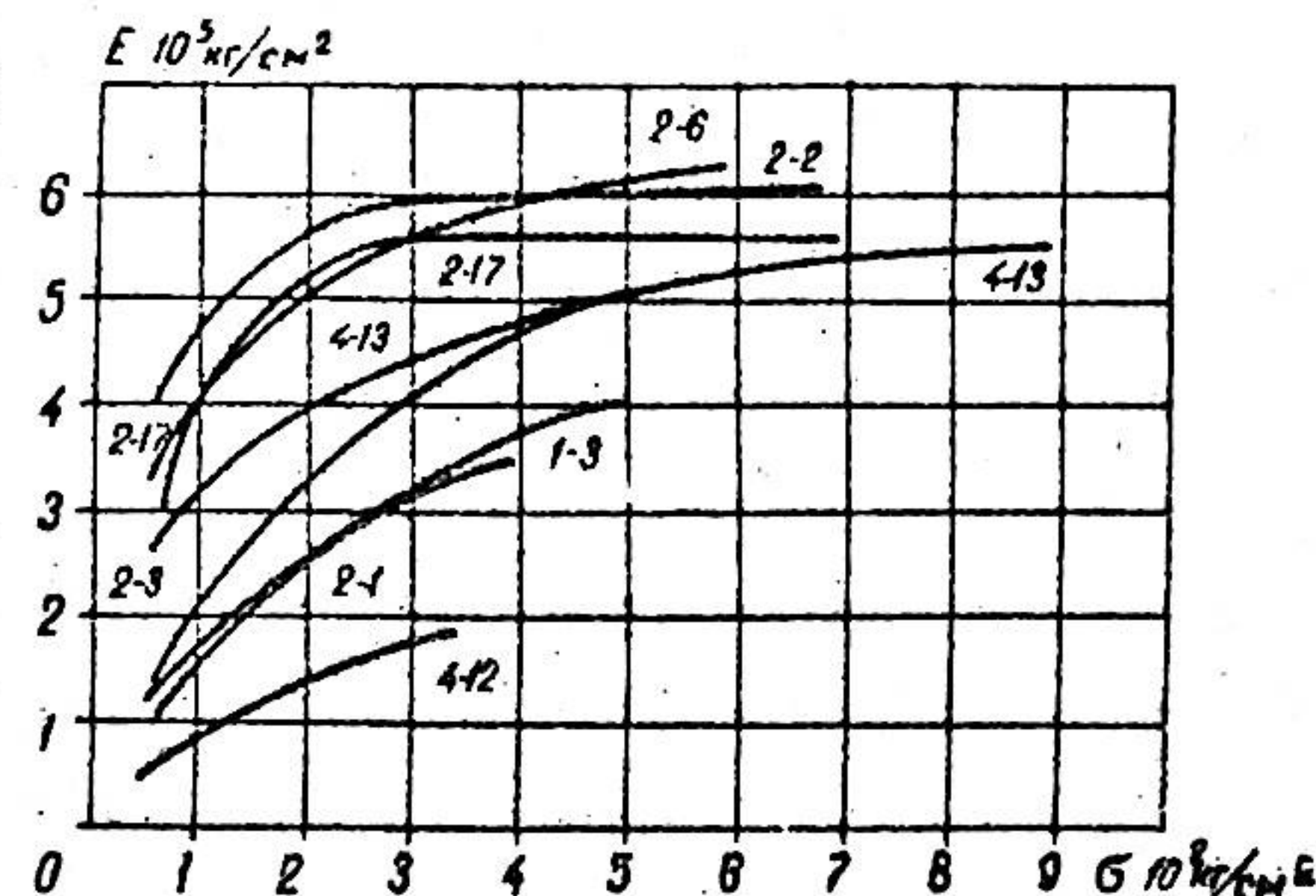


Рис. 3. Зависимость модуля Юнга известняков от нагрузки

ботка экспериментальных данных показала, что зависимость модуля Юнга от действующего в данном направлении напряжения может быть представлена следующим выражением:

$$E = \frac{E_0}{a\sigma + b}, \quad (3)$$

где a и b — некоторые физические константы данной породы, определяемые экспериментально для каждого образца.

^{*} Испытания проводились в лаборатории физико-механических свойств горных пород ИФМГи АН Киргизской ССР.

Учет нелинейности деформирования горных пород при расчете напряжений по измеренным деформациям может быть осуществлен как по формуле (3), так и путем введения значения модуля Юнга, определенного из диаграммы $\sigma - \epsilon$, соответствующего деформации, полученной при разгрузке.

Опытные скважины бурились из геологических штолен таким образом, чтобы можно было получить горизонтальные напряжения в направлении параллельно (скв. № 1, 4, 5, 6) и перпендикулярно (скв. № 2, 3, 7) к оклоу. По деформациям разгрузки определены величины и направление главных нормальных напряжений σ_{max} , σ_{min} , максимальных касательных напряжений τ_{max} . На рис. 4 представлены максимальные касательные напряжения по скважинам, полученные в результате экспериментов.

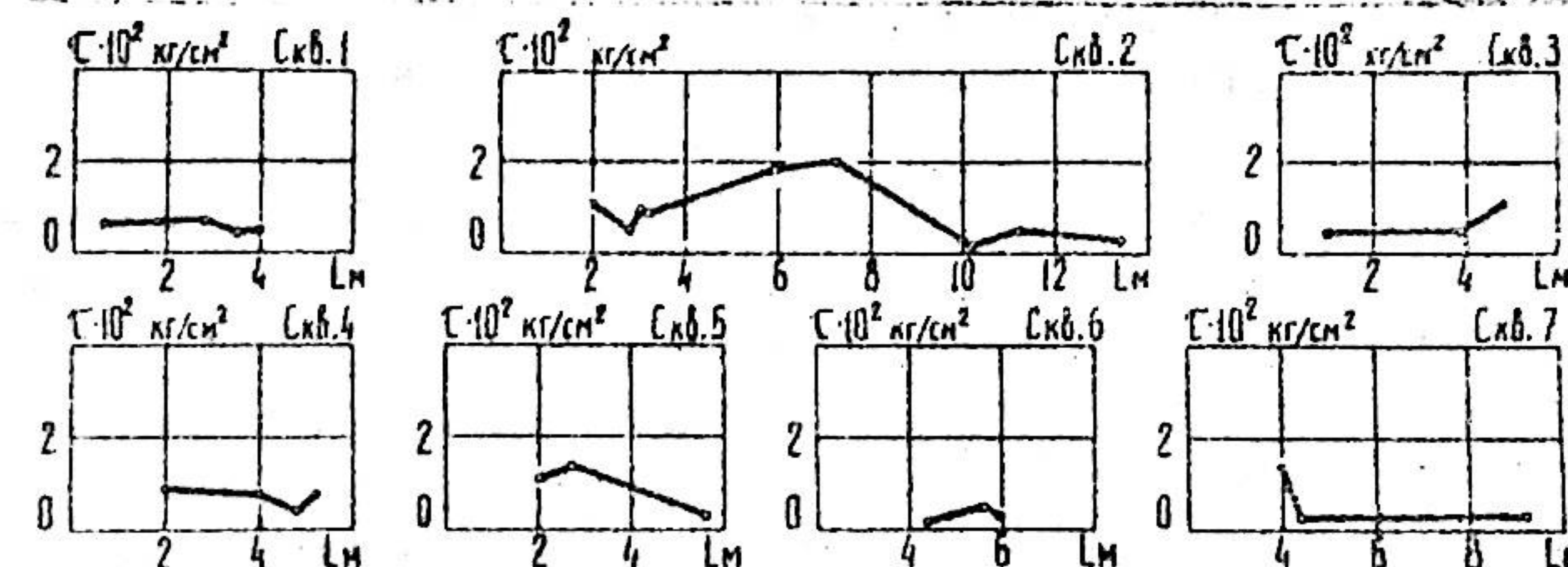


Рис. 4. Распределение максимальных касательных напряжений по скважинам.

Среднее значение максимальных нормальных напряжений для скважин № 1, 2, 5 равно 177 кг/см^2 , для скважин 3, 4, 6 — 171 кг/см^2 , для скважины 7 — 127 кг/см^2 , величина μ_H для этих участков соответственно равна: $65-70 \text{ кг/см}^2$, $60-65 \text{ кг/см}^2$ и $45-50 \text{ кг/см}^2$. Таким образом, замеренные максимальные нормальные напряжения во всех случаях превышают рассчитанные по весу выходящих пород. В плоскости перпендикулярной реки максимальные главные напряжения ориентированы преимущественно вертикально, в вертикальной плоскости параллельной реки максимальные главные напряжения преимущественно направлены меридианально, т.е. их направление совпадает с течением реки.

Общая картина распределения напряжений в оклоу совпадает с

принципиальной схемой, предложенной ранее В.М.Кутеповым, в которой выделяется три зоны. У поверхности склона выделяется зона пониженных напряжений, которая переходит в зону повышенных напряжений. За зоной повышенных напряжений следует вначале зона слабоизмененных напряжений, а затем область практически неизменных напряжений, где речной врез не повлиял на величины и характер распределения естественных напряжений.

Сравнение средних значений напряжений, полученных нами по результатам разгрузки, с величинами напряжений, полученных в плоских сечениях склонов методом фотоупругости (И.Т.Айтматов, Н.Карагулов) и путем расчетов по методу конечных элементов (В.Я.Степанов, С.А.Балалаева) показало их практически близкую сходимость. Напряжения, определенные методом разгрузки превышают полученные в результате моделирования на оптически активных материалах и расчетов на ЭВМ методом конечных элементов на 20-25%, что может быть объяснено влиянием тектонических напряжений, которые в аналитической и физической моделях не учитываются. Поэтому представляется правомерным при необходимости использовать в дальнейших расчетах напряжения, полученные различными методами.

В пятой главе определены интегральные реологические характеристики массивов горных пород, разработаны рекомендации по прогнозу деформаций скальных склонов - контролю за их развитием во времени и обработке результатов наблюдений.

Осуществление прогноза деформаций склонов во времени осуществляется с использованием тех или иных расчетных методов. Так как строительство крупных плотин в узких каньонах горных рек в нашей стране было начато в последние 10-15 лет, мы в настоящее время не располагаем методами прогноза смещений скальных склонов, строго апробированными практикой. Нет таких методов и за рубежом. В литературе приводятся различные, довольно сложные реологические модели, описывающие деформации разных горных пород. Поскольку период формирования склонов, а следовательно и развитие деформаций ползучести их велик, очевидно, упругими деформациями и деформациями упругого последействия можно пренебречь.

Результаты выполненных нами наблюдений длительных деформаций скальных склонов показали, что для прогноза величин пластич-

ческих деформаций во времени может быть использована формула

$$\gamma_{i,m} = \frac{\tau_i}{2\eta} \cdot t, \quad (4)$$

где τ_i - интенсивность действующих касательных напряжений,
 η - коэффициент эффективной вязкости при пластической деформации,
 t - время.

Возможность использования этой зависимости для прогноза деформаций больших массивов пород и значительных промежутков времени наблюдений убедительно доказано В.А.Магницким, М.В.Гэзовским и др.

Коэффициенты эффективной вязкости для различных групп сохранности пород скальных склонов Токтогульской ГЭС вычислены нами по скоростям пластических деформаций, полученных путем исключения из общего хода смещений сезонных периодических деформаций.

Интенсивность действующих в склонах касательных напряжений для зон, в которых проводились измерения деформаций во времени, определены по результатам выполненных нами натурных измерений методом разгрузки и расчетов напряженного состояния склонов методом конечных элементов, выполненных В.Я.Степановым и С.А.Балалаевой. В таблице 3 приведены скорости относительных деформаций, интенсивность касательных напряжений и вычисленные по ним коэффициенты эффективной вязкости для основных групп сохранности пород района строительства гидроузла плотины.

Таблица 3
Коэффициенты эффективной вязкости известняков
Токтогульской ГЭС

Группа сохранности пород	Скорость относительных деформаций, $1/\text{год} \cdot 10^{-5}$	Интенсивность касательных напряжений, кг/см^2	Коэффициенты эффективной вязкости пород, пуаз
1	2	3	4
I	2,00 - 1,75	10	$(0,8 - 1,2) \cdot 10^{16}$
I - II	1,75 - 1,50	15	$(1,2 - 1,9) \cdot 10^{16}$
II	1,50 - 1,25	20	$(1,9 - 3,0) \cdot 10^{16}$

I	2	3	4
II - III	1,25 - 0,75	27	$(3,0 - 6,5) \cdot 10^{16}$
III	0,75 - 0,50	34	$(6,5 - 13,3) \cdot 10^{16}$
III - IV	0,50 - 0,25	51	$(1,3 - 3,8) \cdot 10^{17}$
IV	0,25 - 0,10	68	$(0,4 - 2,1) \cdot 10^{18}$

Из таблицы видно, что коэффициенты эффективной вязкости известняков района строительства Токтогульской ГЭС изменяются в широких пределах от $0,8 \cdot 10^{16}$ до $2,1 \cdot 10^{18}$ пуаз, увеличиваясь при удалении от поверхности склона вглубь массива, т.е. по мере уменьшения трещиноватости пород и, наоборот, уменьшаясь для пород зон тектонического дробления и тектонических разрывов.

Знание поля напряжений в склоне и коэффициенты вязкости основных разновидностей слагающих его пород позволяет прогнозировать смещение любого участка склонов во времени. Для практического прогноза построена номограмма, представленная на рис. 5,

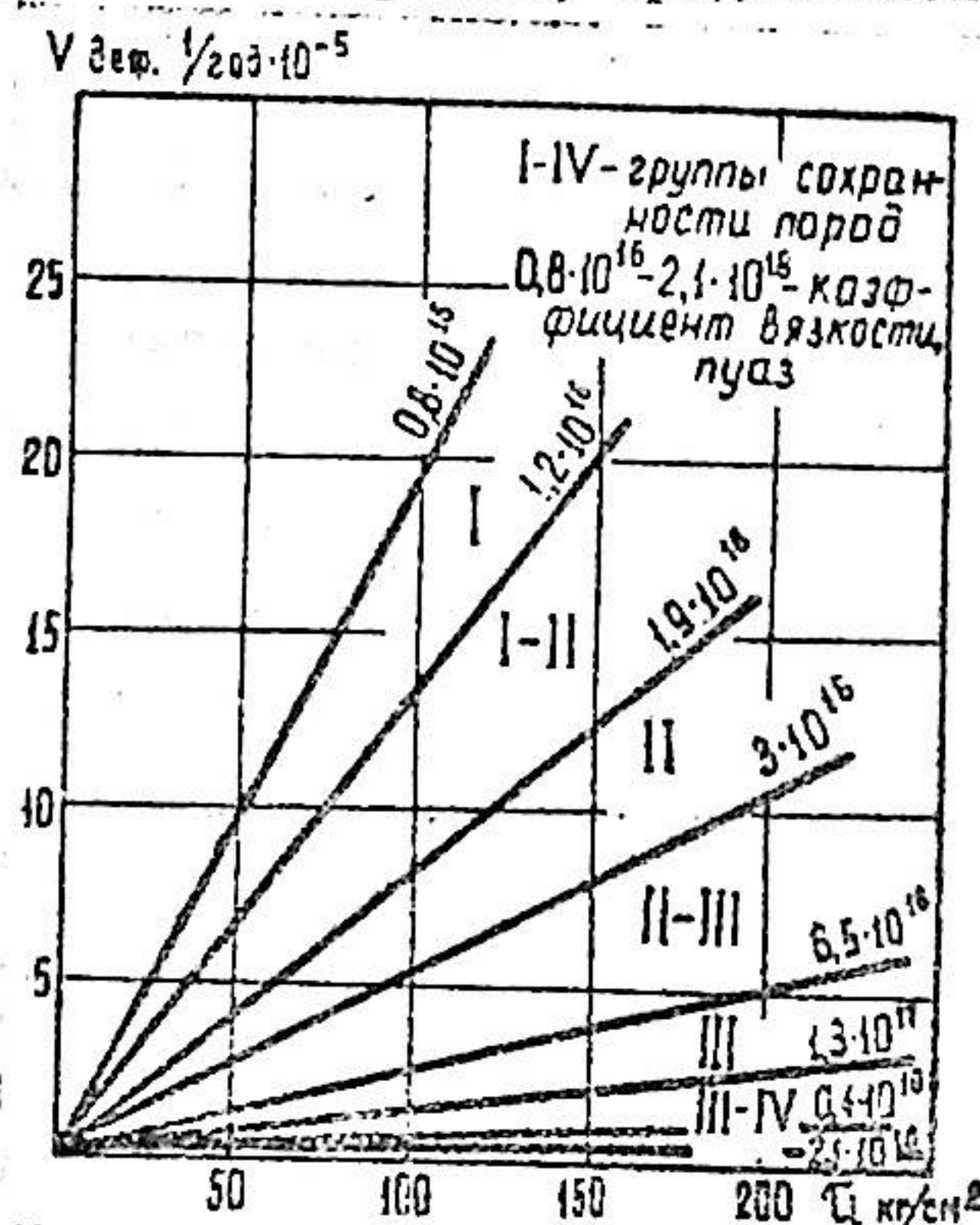


Рис. 5. Номограмма для определения скоростей смещений.

которая позволяет определить скорость относительных деформаций для любого участка склонов района строительства Токтогульской

ГЭС при различных известных уровнях напряжений, действующих в них. Величины смещений за определенный отрезок времени отдельных участков склонов находятся интегрированием скоростей смещений, определенных по номограмме 5.

Приборы, рекомендуемые для проведения высокоточных натурных наблюдений за процессом деформирования скальных склонов (штанговые деформографы и гидростатические нивелиры), весьма чувствительны к колебаниям температуры, поэтому при оборудовании наблюдательных станций необходимо выполнение определенных требований термической изоляции. Несмотря на это, при резком изменении температуры внешнего воздуха, значительно может измениться и температура внутри станции, что в свою очередь повлияет на конечный результат измерения деформаций. Поэтому при обработке результатов наблюдений необходимо учитывать колебание температуры и вводить поправки по приведенным в работе формулам.

Приборы с фотооптической регистрацией (деформографы и наклономеры) позволяют получить высокую точность и в благоприятных условиях обеспечивают непрерывность контроля за развитием деформаций. Однако, в производственных условиях, в силу целого ряда причин (отключение электроэнергии, взрывы и т.д.) не всегда удается получить непрерывную запись. В тех случаях, когда время разрыва в регистрации деформаций не превышает суток, разрыв в записи может быть восстановлен путем линейного интерполирования. При продолжительных (несколько суток) и частых разрывах вполне удовлетворительно для инженерной практики смещения $s(t)$ могут быть вычислены для всего промежутка $[0, T]$ по средним значениям скорости на интервалах этого промежутка

$$s(t) = \frac{f(t_0) + f(t_1)}{2} (t_1 - t_0) + \frac{f(t_1) + f(t_2)}{2} (t_2 - t_1) + \dots + \frac{f(t_{n-1}) + f(t_n)}{2} (t_n - t_{n-1}), \quad (5)$$

здесь $t_0, t_1, t_2, \dots, t_n$ - интервалы времени промежутка $[0, T]$, в которых получены записи смещений горных пород, а $f(t_0), f(t_1), f(t_2), \dots, f(t_n)$ - скорости смещений на этих интервалах.

При постановке и проведении высокоточных специальных наблюдений на Токтогульской ГЭС большая помощь была оказана автору старшим научным сотрудником ИФЗ АН СССР, канд. физико-математических наук Л.А.Латыниной, научным сотрудником этого института Н.А.Жариновым, ведущими специалистами Гидропроекта им. С.Я.Жука и Сао Гидропроекта, дирекции Токтогульской ГЭС и управления "Нарын гидроэнергострой". В проведении экспериментальных исследований и обработке результатов принимали участие сотрудники лаборатории устойчивости горных склонов и оснований Института физики и механики горных пород АН Киргизской ССР.

Автор приносит искреннюю благодарность всем товарищам, оказавшим помощь в выполнении работы.

В а к л ю ч е н и е

Основные результаты исследований, выполненных в соответствии с поставленными в работе задачами, можно сформулировать следующим образом:

1. Скальные склоны не находятся в состоянии равновесия, а в результате длительного действия напряжений в них развиваются пластические деформации, которые оказывают решающее влияние на общую устойчивость массивов горных пород.

2. В результате непрерывных высокоточных наблюдений, проведенных в течение пяти лет на строительстве Токтогульского гидроузла установлено, что смещения склонов развиваются в сторону долины реки. Определена скорость этих деформаций и установлен их линейный характер. Наиболее интенсивные смещения наблюдаются по имеющимся трещинам.

3. На фоне медленных направленных движений массивов склонов имеют место периодические сезонные деформации с годовым циклом. Ход этих деформаций с некоторым запаздыванием повторяет ход внешней температуры. Период запаздывания увеличивается по мере удаления вглубь массива от полмесяца на расстоянии 20-25 м до двух месяцев на расстоянии 70-95 м от дневной поверхности. Амплитуды сезонных деформаций массивов склонов имеют наибольшее значение в нарушенной приповерхностной зоне и резко убывают по мере удаления от дневной поверхности.

4. Динамические нагрузки от землетрясений и взрывов, сейсмический эффект которых в районе исследований не превышал семи баллов, не оказывают существенного влияния на процесс деформирования склонов, при их интенсивности более семи баллов резко (в 15-20 раз) увеличиваются скорости смещения отдельных массивов по крупным тектоническим трещинам.

5. Для пород участка строительства Токтогульской ГЭС, также как для многих других районов, установлена зависимость модуля упругости от величины и вида напряженного состояния. При исследовании распределения напряжений в массивах горных пород методом разгрузки предложены методы учета этой зависимости. Методом разгрузки в районе строительства Токтогульского гидроузла определены величины и направления главных напряжений в характерных участках склонов.

6. По результатам натурных измерений скорости пластических деформаций скальных склонов, выполненных на больших базах, и данных о их напряженном состоянии вычислен коэффициент эффективной вязкости для пород различных групп прочности.

7. Предложена методика и построена номограмма для практических расчетов скорости смещений пород в зависимости от уровня напряжений, действующих в них, что дает возможность прогнозировать величину смещений отдельных участков склонов на любой момент времени.

8. Доказана эффективность высокоточных стационарных наблюдений за деформациями скальных склонов с помощью деформографов и гидростатических нивелиров. Сформулированы основные требования к оборудованию наблюдательных станций и установке приборов. Усовершенствована методика обработки результатов.

9. Результаты исследований были использованы при проектировании Токтогульского гидроузла и организации службы инженерных наблюдений за деформациями склонов каньона р.Нарын в районе Токтогульской ГЭС в период ее строительства и эксплуатации. Результаты работы также могут найти применение при проектировании и строительстве других объектов в подобных инженерно-геологических условиях.

Основные положения диссертации опубликованы в
следующих работах

1. Исследование напряженно-деформированного состояния скальных склонов с целью оценки и прогнозирования их устойчивости. Научно-техническая конференция, посвященная 100-летию со дня рождения В.И.Ленина "Повышение эффективности горных работ в Киргизии" (Тезисы докладов). Изд-во "ИЛИМ", Фрунзе, 1970 (соавтор В.Я.Степанов).
2. К оценке напряженного состояния скальных склонов в районе строительства Токтогульской ГЭС. Сб. "Исследования по физике и механике горных пород", Изд-во "ИЛИМ", Фрунзе, 1971 (соавтор В.Я.Степанов).
3. Зависимость упругих характеристик некоторых горных пород от величины действующих напряжений и интерпретация результатов разгрузки. Сб. "Измерение напряжений в массиве горных пород", Новосибирск, 1972 (соавтор В.Я.Степанов).
4. Напряженное состояние горных склонов. В кн. "Напряженно-деформированное состояние горных пород при добыче полезных ископаемых и гидротехническом строительстве", Гл. I, Изд-во "ИЛИМ", Фрунзе, 1973 (соавторы В.Я.Степанов, С.А.Белалаева).
5. Измерение деформаций земной коры на Токтогульской ГЭС. Сб. "Современные движения земной коры на геодинамических полигонах", Алма-Ата, 1973 (соавторы Н.А.Жаринов, Л.А.Латынина, В.Я.Степанов).
6. О смещениях и деформациях на Токтогульской ГЭС. Сб. "Современные движения земной коры", № 5, Тарту, 1973 (соавторы Н.А.Жаринов, В.Я.Степанов).
7. Приближенный метод заполнения разрывов в регистрации деформаций горных пород высокоточными геофизическими приборами. Сб. "Молодежь Советского Киргизстана в борьбе за технический прогресс", Фрунзе, 1974.

ПОДПИСАНО В ПЕЧАТЬ 11/VIII 1975 Г. ФОРМАТ БУМА-
ГИ 60×90/16. ОБЪЕМ 1,5 П. Л. Д — 07619. ЗАКАЗ 2374.
ТИРАЖ 200 ЭКЗ.

Г. ФРУНЗЕ, ТИП. АН КИРГИЗ. ССР
УЛ. ПУШКИНА, 144