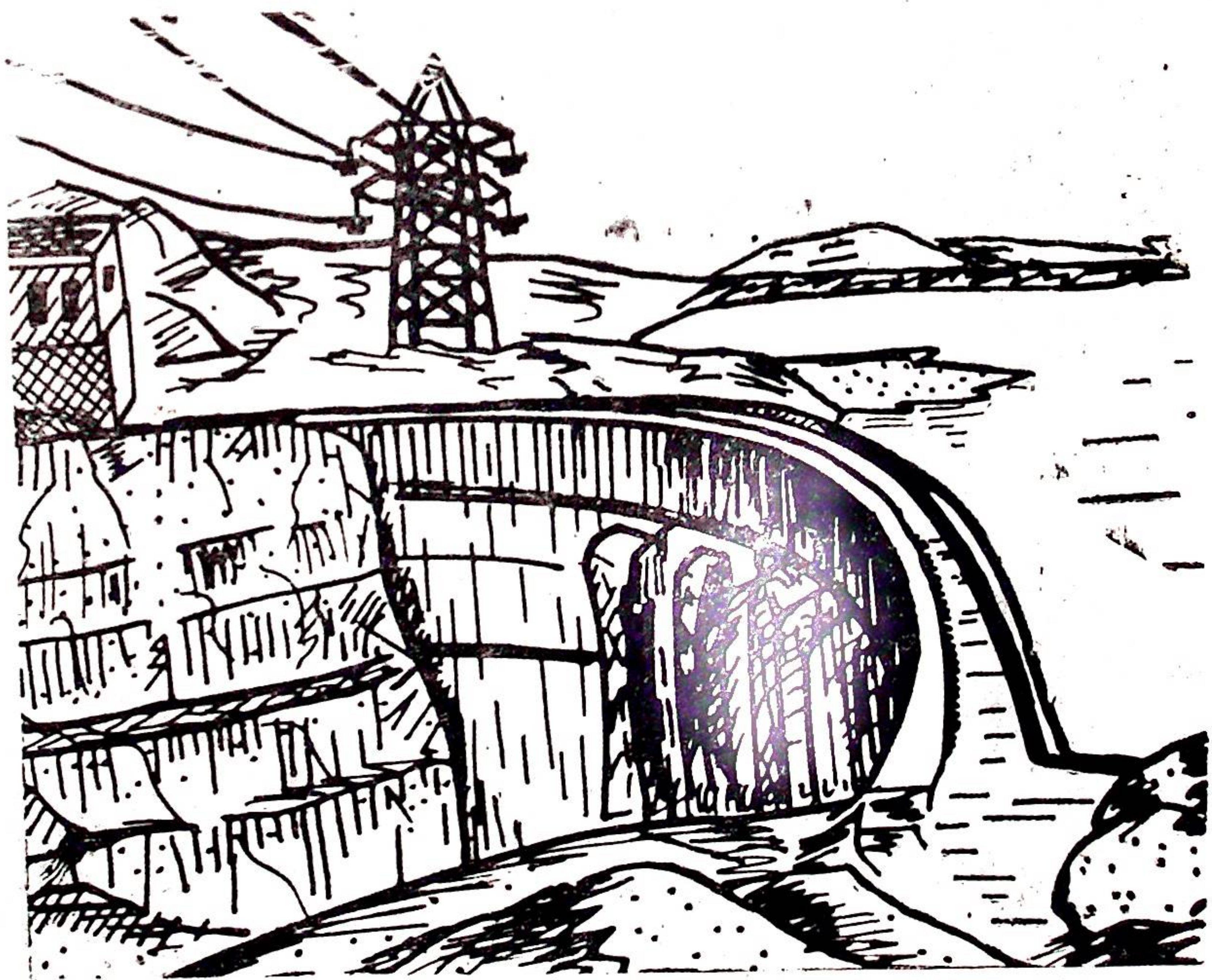


П-141

28



# ИНЖЕНЕРНО- ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДАГЕСТАНСКОЙ АССР



МАХАЧКАЛА, 1984

659

ИНЖЕНЕРНО-  
ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ  
ОСОБЕННОСТИ  
ДАГЕСТАНСКОЙ АССР  
В СВЯЗИ  
С ПРОМЫШЛЕННЫМ  
И ГИДРОТЕХНИЧЕСКИМ  
СТРОИТЕЛЬСТВОМ

Материалы республиканского совещания

## АННОТАЦИЯ

В сборнике публикуются материалы республиканского совещания по инженерно-геологическим особенностям Дагестанской АССР в связи со строительством промышленных и гидротехнических сооружений, состоявшегося в г. Махачкале 22—24 сентября 1982 года.

Сборник представляет интерес для широкого круга читателей, занимающихся изучением инженерно-геологических особенностей территории в связи со строительством гидротехнических и промышленных объектов в горных условиях с высокой сейсмичностью.

Редакционная коллегия:

В. А. Агамов, Г. Г. Бунин, Т. Б. Гаджиева, Ш. Ш. Загиров,  
Г. К. Керимов (отв. редактор), Д. А. Мирзоев (председатель),  
И. Л. Ревелис, С. Н. Чернышов.



## ПРЕДИСЛОВИЕ

В соответствии с принятыми XXVI съездом КПСС «Основными направлениями экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года» на территории Дагестанской АССР широким фронтом развернулось промышленное, гражданское и сельскохозяйственное строительство, сооружаются Миятлинская и Ирганайская ГЭС, ведутся проектные и подготовительные работы по другим гидроэлектростанциям Сулакского каскада. Проектируются сооружения курортной зоны на Каспийском побережье и первой ГеоТЭС на базе термальных вод, осуществляются широкомасштабные гидромелиоративные работы на Прикаспийской низменности.

За годы Советской власти и, главным образом, за две последние пятилетки на территории ДАССР построены и эксплуатируются крупные объекты, такие как Чиркейская ГЭС, канал им. Октябрьской революции, десятки крупных заводов, школы, больницы, жилые дома, оросительные системы и т. д. Ведется разведка и разработка горных пород для производства строительных материалов, которые используются для собственных нужд, и вывозятся за пределы республики.

На территории ДАССР в связи со строительством проведены большие геологические, инженерно-геологические и гидрогеологические исследования, выполненные Институтами геологии и проблем геотермии Дагестанского филиала АН СССР, Дагестанской комплексной геологической экспедицией ПГО «Севкавгеология», институтами Гидропроект имени С. Я. Жука (Ленинградское отделение), Даггражданпроект, Даггипроводхоз, Дагколхозпроект при участии сотрудников кафедры строительных материалов и инженерной геологии Дагестанского политехнического института и в ряде других организаций.

В Дагестанской комплексной геологической экспедиции составлена карта инженерно-геологического районирования проявлений экзогенных процессов горной части республики масштаба 1:200 000, Институтом геологии Дагестанского филиала АН СССР составлена карта сейсмического районирования ДАССР, Институтом Даггражданпроект совместно с Даг. ПТИ и МИСИ выполнены сейсмическое микрорайонирование г. Махачкалы, а совместно с лабораторией сейсмостойкости ЦНИИСКА—сейсмическое микрорайонирование г. Буйнакска и ведутся работы по составлению аналогичных карт других городов ДАССР.

Вместе с тем, координация работы многих организаций, выполняющих инженерно-геологические исследования на территории республики не проводится, не составлены инженерно-геологические карты ДАССР, которые могли бы служить основой для проведения дальнейших исследований. Прогнозирование неблагоприятных геологических процессов не всегда выполняется с достаточной надежностью, а проведение строительных и дру-

гих работ иногда выполняется без необходимых природоохранных мероприятий, что приводит к возникновению оползней, засолению грунтов, заилению водохранилищ, местному размыву берегов и т. п.

Обсуждению вопросов инженерно-геологических особенностей Дагестанской АССР в связи с промышленным и гидротехническим строительством и было посвящено республиканское совещание, состоявшееся 22—24 сентября 1982 года в г. Махачкале.

В совещании приняли участие 87 ученых, изыскателей, проектировщиков из 9 городов страны — Москвы, Ленинграда, Ростова, Тюмени, Орджоникидзе, Пятигорска, Воронежа, Грозного и Махачкалы. Было заслушано 14 пленарных и 22 стендовых докладов. В связи с многоплановостью обсуждаемых задач на совещании присутствовали геологи, инженеры-геологи, гидрогеологи, строители, геофизики, сейсмологи, географы, специалисты в области строительной механики, оснований и фундаментов и механики грунтов, гидромелиорации, водоснабжения и канализации и др.

В принятом постановлении совещания определены задачи и намечены мероприятия по улучшению инженерно-геологического обеспечения строительства промышленных и гидротехнических сооружений в Дагестане. Намечено организовать в XII пятилетке второе совещание, посвященное инженерно-геологическим проблемам ДАССР.

Участники совещания выразили благодарность Областному комитету партии, Совету Министров и Госстрою ДАССР за поддержку и помощь в проведении совещания, а также Оргкомитету, Московскому инженерно-строительному и Дагестанскому политехническому институтам за отличную работу по подготовке и проведению совещания и Институту геологии Дагестанского филиала АН СССР, взявшему на себя труд по изданию материалов совещания.

Н. Ф. Новиков, И. А. Пирогов,  
Л. В. Толмачев  
Ленгидропроект

## ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬСТВА ГИДРОУЗЛОВ В ДАГЕСТАНЕ

Основные водотоки горного Дагестана — Андийское и Аварское Койсу с притоком Кара-Койсу, образующие при слиянии р. Сулак, являются одним из перспективных районов гидроэнергетического освоения в СССР. Инженерно-геологические условия строительства каскадов гидроузлов в этом сложно построенном и тектонически активном регионе Альпийской складчатости, с сильной расчлененностью рельефа и большими перепадами высот, в глубоко врезаемых и узких долинах являются достаточно сложными.

Рассматриваемый район находится в Кавказской геосинклинальной области между интенсивно воздымающейся центральной ее частью и погружающимся Терско-Каспийским прогибом. Слагающие район породы морского происхождения в верхнем течении рассматриваемых рек приподняты на большую высоту и представлены филлитовыми и глинистыми сланцами, песчаниками и аргиллитами нижней и средней юры (Сланцевый Дагестан), в среднем и нижнем течении — терригенно-карбонатной толщей верхней юры и мела (Известняковый Дагестан). Осадочные породы смяты в складки и разорваны тектоническими нарушениями, в том числе и региональными разломами. Оси пликтивных и дизъюнктивных структур вытянуты в субширотном направлении. Реки почти вкрест простирания пересекают ряд структурных зон: горст Бокового хребта, зону флексур и простых асимметричных складок, зону моноклиально залегающих пород, зону коробчатых складок и зону брахискладок — первые три находятся в Сланцевом Дагестане, остальные две — в Известняковом (рис. 1, 2).

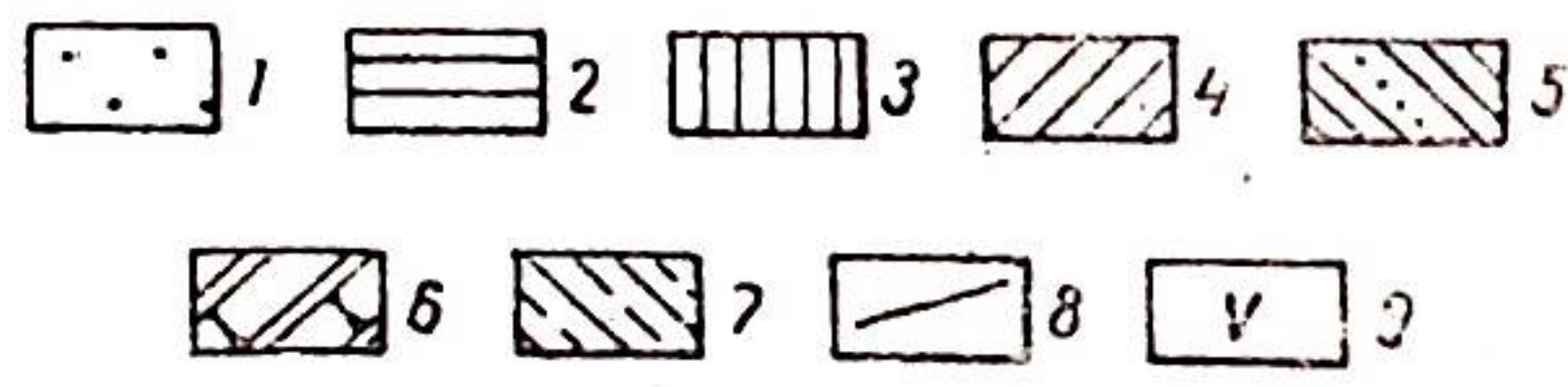
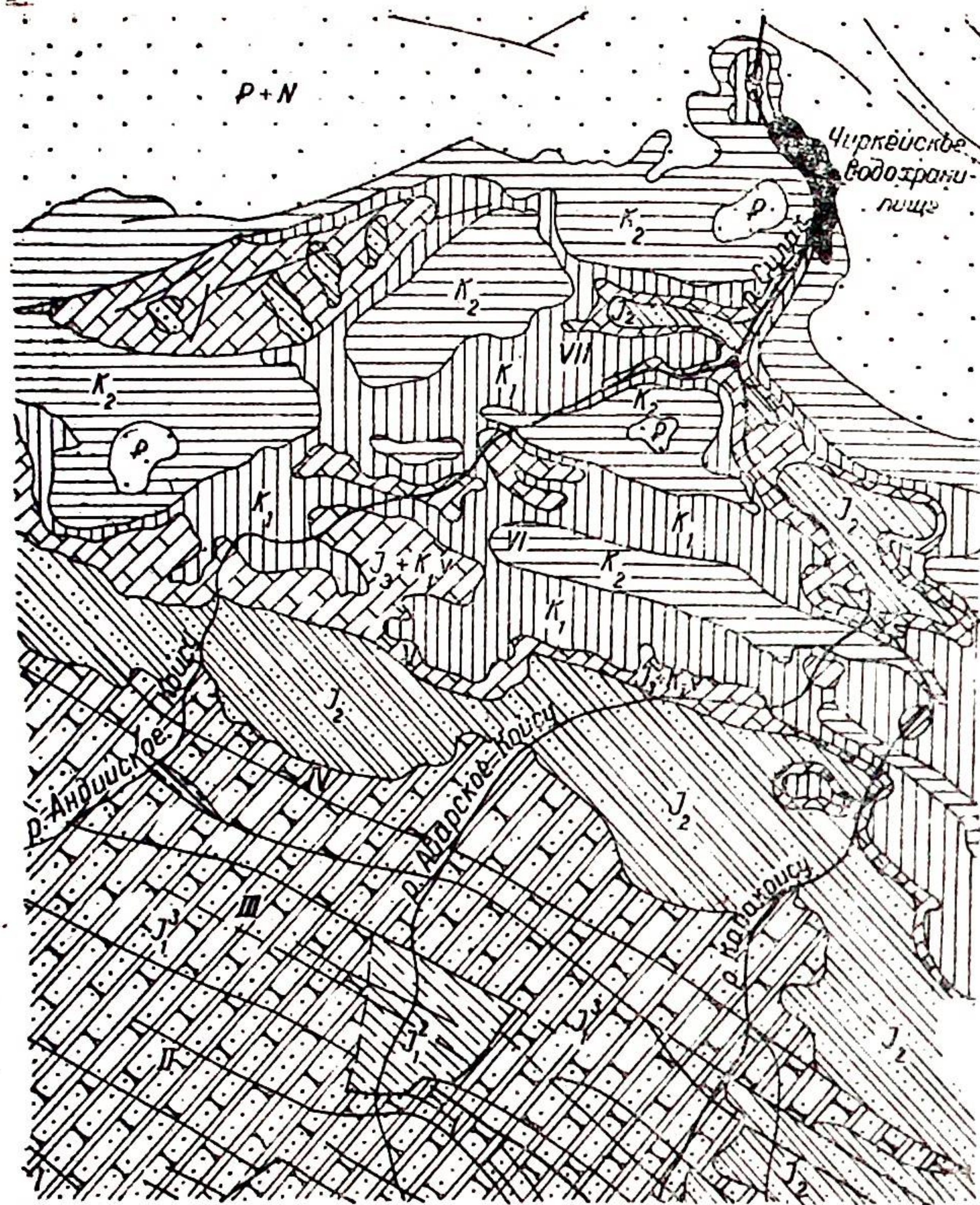


Рис. 1

Схематическая геологическая карта бассейна р. Сулака.  
 1—8 — комплексы пород: 1 — филлитовый ( $J_{1p}$ ), 2 — песчанниковый ( $J_{1t_1}$ ), 3 — аргиллито-песчанниковый ( $J_{1t_{2+3}}$ ), 4 — песчаниково-аргиллитовый ( $J_2$ ), 5 — известняково-доломитовый ( $J_3$ ), 6 — известняково-песчанниковый ( $K_1$ ), 7 — мергелисто-известняковый ( $K_2$ ), 8 — мергелисто-песчано-глинистый ( $p$ ); 10 — номер структурной зоны: I — горст Главного хребта, II — Бежитинский грабен, III — горст Бокового хребта, IV — зона флексур и простых асимметричных складок, V — зона моноклинально залегающих пород, VI — зона коробчатых складок, VII — зона брахискладок.

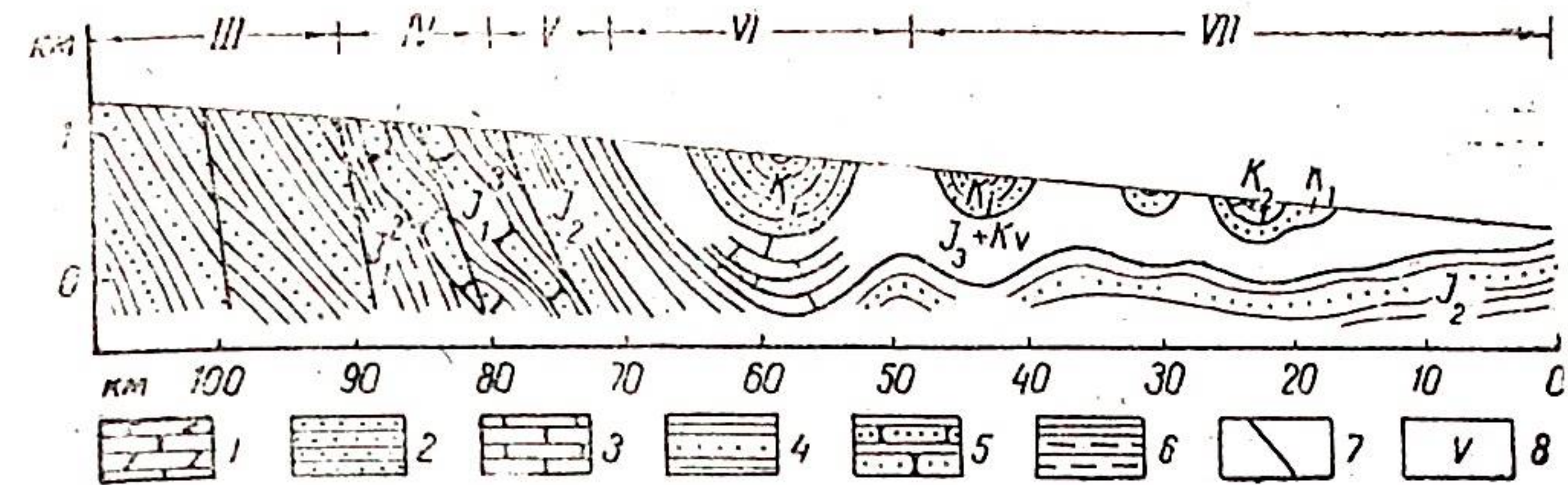


Рис. 2

Схематический геологический разрез вдоль реки Андийское Койсу. 1—6 — комплексы пород: 1 — филлитовый ( $J_{1p}$ ), 2 — песчанниковый ( $J_{1t_1}$ ), 3 — аргиллито-песчанниковый ( $J_{1t_{2+3}}$ ), 4 — песчаниково-аргиллитовый ( $J_2$ ), 5 — известняково-доломитовый ( $J_3$ ), 6 — известняково-песчанниковый ( $K_1$ ); 7 — Цумада-Урукский разлом, 8 — номер структурной зоны (см. рис. 1).

Основными геологическими факторами, существенно влияющими на инженерно-геологическую оценку условий строительства гидоразделов в данном районе являются: литологический состав пород осадочной толщи; тектоническая дислоцированность пород, складчатые и разрывные структуры; современные тектонические движения; геологические процессы и явления (обвалы, оползни, сели, карст, сейсмическая активность).

Особенностями состава пород являются: 1) частое переслаивание различных литологических разностей как в терригенной толще (филлитовые и глинистые сланцы, песчаники, алевролиты, аргиллиты), так и в карбонатной (известняки, доломиты, мергели, карбонатные брекчии, глины); 2) наличие водорастворимых карбонатных и сульфатных отложений; 3) присутствие слабых глинистых и аргиллитовых прослоев. Пестрота литологического состава обуславливает неоднородность оснований сооружений и анизотропию физико-механических свойств пород в пределах более менее однородных пачек. Основная масса терригенных и карбонатных пород обладает достаточной прочностью в массиве для использования их в качестве оснований и среды для гидротехнических сооружений. Однако, прослойки и пачки глин, мергелей, аргиллитов, карбонатных брекчий со слабым глинисто-карбонатным цементом и загипсованных песчаников, требуют индивидуальной оценки. Перечисленные породы могут снижать свои прочностные свойства в условиях водонасыщения. Наиболее благоприятными породами для размещения подпорных сооружений

следних, указанное обстоятельство заставляет отказаться от рассмотрения бетонных вариантов и рекомендовать строительство подпорных сооружений из местных стройматериалов с устройством в рыхлых отложениях глубоких, тщательно выполненных противофильтрационных завес. Деформация террас и локальные переуглубления русел рек позволяют говорить о проявлении современных дифференцированных тектонических движений по отдельным разломам. Этот вопрос требует обстоятельного изучения с тем, чтобы не разместить основные сооружения гидроузла, особенно бетонные, на разных структурно-тектонических блоках. Сейсмичность района оценивается фоновой балльностью 7 (магнитуда до 5,5), однако, учитывая опыт строительства гидротехнических сооружений в сейсмоопасных районах, оценка сейсмичности на отдельных участках может измениться в сторону повышения.

Глубокое эрозионное расчленение рельефа, тектоническая дислоцированность осадочных толщ, особенности литологического состава пород, заключающиеся в чередовании прочных и слабых разностей, падение пород в сторону долины предопределили широкое развитие в районе оползневых явлений в породах коренной основы. Рыхлые обвальнo-осыпные и делювиальные накопления на склонах также периодически приходят в движение, которое существенно облегчается, если в нижней части таких отложений присутствуют глинистые прослойки, образовавшиеся за счет разложения древесины и щебня аргиллитов. Провоцируют оползание подготовленных к движению участков склонов сейсмические удары и инженерная деятельность человека — подрезка склонов при прокладке дорог, ведение взрывных работ, обводнение (оползни в районе Миатлинской и Чиркейской ГЭС). В пределах Известнякового Дагестана преобладают оползни соскальзывания по поверхностям напластования более прочных пород. В Сланцевом Дагестане более широко развиты оползневые явления в четвертичных отложениях — потоки, сплывы, осовы.

Для глубоких ущелий и каньонов с крутыми бортами, выработанных реками главным образом в карбонатных породах, характерно развитие обвалов. Отчленению блоков пород от крутых склонов способствует развитие трещин бортового отпора. В стадию подготовки обвала на склоне образуются потенциально-неустойчивые массивы. Оценка устойчивости оползневых и обвальных склонов является одной из наиболее трудно решаемых инженерно-геологических задач.

Подверженность осадочных, особенно глинистых, пород выветриванию и континентальность климата, обуславливают большое количество мелкообломочного материала, который атмосферными осадками и при таянии снега транспортируется по логам и поступает в основные водные артерии, вызывая проблему заиления будущих водохранилищ. Атмосферные

осадки имеют характер ливней, что нередко вызывает селевые потоки.

В пределах Известнякового Дагестана установлено развитие карста в известняках и доломитах, а также проявление карстовых явлений в гипсах. Наиболее распространенной формой карстопоявления в карбонатных породах является кавернозность, объем пустот при этом нередко достигает 3—10% от объема породы, в сильно закарстованных разностях — 10—25, местами до 30%. Приуроченность кавернозности к определенным слоям и независимость от уровней террас свидетельствует о древнем ее возрасте и отсутствии связи с современным эрозионным врезом реки. Замкнутый характер кавернозности позволяет полагать, что известняки даже в сильной степени подвергшиеся такому закарстованию не будут обладать значительной водопроницаемостью. В то же время вскрытые реками массивы карбонатных пород, «зажатые» в слабо проницаемых терригенных отложениях, являются участками разгрузки подземных вод. На этих участках обычно развит карст, имеющий этажность и приуроченный в большинстве случаев к тектоническим нарушениям (Миатлинское ущелье). В пределах тектонических блоков современного относительного опускания поверхностные водотоки на закарстованных участках могут быть подвешены относительно подземных вод (Ирганайская ГЭС).

Гидрогеологические условия региона в целом характеризуются этажностью развития водоносных горизонтов, слабой их водообильностью, низким положением уровня подземных вод на водораздельных участках. Для верхней гидродинамической зоны свободного водообмена, находящейся выше эрозионного вреза гидрографической сети в Сланцевом Дагестане, характерно наличие пресных гидрокарбонатных вод, для Известнякового Дагестана — сульфатно-кальциевых с минерализацией до 3 г/л, обязанных своим составом процессу выщелачивания гипсов. Выходы источников из зоны затрудненного водообмена повсеместно характеризуются хлоридно-натриевым составом с минерализацией до 30 г/л. Подземные воды обладают агрессивностью по отношению к бетонным конструкциям.

Инженерно-геологические условия создания водохранилищ в породах терригенной формации в целом благоприятные, хотя процесс затопления бортов и вызовет оживление оползневых и обвальных явлений. Потери на фильтрацию в борта водохранилищ будут носить временный характер, связанный с водонасыщением пород. При создании водохранилищ в породах карбонатной формации необходима оценка утечки воды из водохранилищ через закарстованные участки.

Грамотный прогноз инженерно-геологических условий строительства гидротехнических сооружений на этой обшир-

ной и относительно слабо изученной территории возможен только на базе типизации природных условий — на инженерно-геологическом районировании, выполненном по ряду признаков с максимальным использованием сведений по построенным и строящимся здесь гидроузлам и с привлечением аналогов из других подобных районов.

УДК 624.131 (470.67)

М. Г. Магомедов, Р. Ф. Ревякина, Н. А. Дгебуадзе

Дагестангражданпроект

## ПРОБЛЕМЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ ГРАЖДАНСКОГО И ПРОМЫШЛЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В ДАГЕСТАНСКОЙ АССР

Дагестанская Автономная Советская Социалистическая Республика расположена в восточной части Северного Кавказа, занимая северо-восточные склоны Главного Кавказского хребта и юго-западную часть Прикаспийской низменности. Общая площадь республики составляет 50,3 тыс. км<sup>2</sup>.

За последние два—три десятилетия Дагестан превратился в республику с развитой машиностроительной, пищевой, радио- и приборостроительной промышленностью. Значительно возрос жилищно-бытовой фонд, образовались десятки новых населенных пунктов сельского и городского типа. Значительно расширились границы крупных городов. На реке Сулак завершено строительство Чирюртовской и Чиркейской ГЭС, начато строительство Миатлинской и Ирганайской ГЭС. Построены и строятся промышленные объекты в городах и районцентрах: в Махачкале, Дербенте, Кизилюрте, Ботлихе, Хасавюрте, Кизляре и т. д.

Во всех городах, а также в больших сельских населенных пунктах ведется строительство общественных и жилых зданий с числом этажей 3—4—5. В столице республики в г. Махачкале возводятся здания в 5, 9 и 12 этажей, а здание гостиницы «Ленинград» — 18 этажей. В настоящее время завершен проект 20-этажного здания «Дома связи». В перспективе намечено освоение прибрежной полосы Каспийского моря, где от г. Махачкалы до дельты реки Самур предполагается строительство всесоюзного курорта-здравницы на 1,5 млн. отдыхающих в год.

Широкий размах строительства потребовал выполнения больших объемов инженерно-геологических изысканий.

Для инженерно-геологического обоснования строительства ежегодно в республике выполняются работы на сумму 1—1,2 млн. рублей, из которых на долю института «Дагестангражданпроект» приходится 200—300 тысяч рублей. Несмотря на то, что на территории республики проводятся большие объемы инженерно-геологических работ, результаты изыска-

ний не всегда попадают в Дагестан, чем наносится большой ущерб решению проблемы детальной инженерно-геологической изученности.

С учетом возросших темпов строительства, намеченных на будущие пятилетки, а также уже выполненных объемов инженерно-геологических работ, в настоящее время стала актуальной необходимость составления комплекса инженерно-геологических карт всей территории республики. В институте «Дагестангражданпроект» накоплен определенный опыт сбора, систематизации и обобщения материалов инженерно-геологических изысканий. Для крупных городов республики: Махачкалы, Дербента и Буйнакска были составлены комплексные инженерно-геологические карты в масштабе 1:5000. Опыт показывает, что использование этих карт значительно повышает качество изысканий и достоверность выдаваемых проектировщикам данных.

По характеру рельефа Дагестан делится на две основные части: южную — горную и северную — низменную.

Горная часть республики представляет собой сложную систему складчатых хребтов. Мощный комплекс отложений горной части Дагестана, формирование которого произошло на протяжении мезозоя и кайнозоя, в целом характеризуется многообразием литологического состава отложений. Грунты представлены темно-серыми аспидными сланцами, песчаниками, глинами, известняками, мергелями и т. д. Все эти породы перемяты в складки и сильно дислоцированы. Кроме отложений коренной основы в горной области развиты и четвертичные образования, мощность которых порой превышает несколько десятков метров.

В условиях сильно расчлененного рельефа горной области широко развиты различные эндогенные и экзогенные процессы и явления.

Эндогенные процессы, связанные с внутренними силами недр земли, выражаются в геотектонических движениях и в современных сейсмических явлениях. Наличие крутых склонов создает благоприятные условия для проявления таких экзогенных геологических процессов, как оползней, обвалов, осыпей, селей и т. д.

Второй геоморфологической единицей республики является Прикаспийская низменность, которая окаймляет горную часть Дагестана с севера и северо-востока. Северная часть Прикаспийской низменности, занимающая большую часть площади, носит название Терско-Кумско-Сулакской, а южная часть, где горы наиболее близко подходят к морю — Приморской низменности.

В геологическом строении Прикаспийской низменности принимают участие четвертичные бакинские, хазарские, хвалыцкие, новокаспийские и современные отложения. По лито-

логическому составу четвертичные отложения весьма пестрые и представлены фациально-изменчивой толщей, с преобладанием глинистого материала. Пески встречаются в основном в виде линз и тонких прослоев. Грунтовые воды залегают на глубинах 0,5—3,0 м. Воды минерализованные, в большинстве случаев по отношению к бетонам обладают сульфатной агрессивностью.

Основные проблемы инженерной геологии, гражданского и промышленного строительства на территории Дагестанской АССР можно свести к решению следующих задач:

1. Материалы инженерно-геологических изысканий, выполняемые как республиканскими, так и союзными проектно-изыскательскими учреждениями, необходимо сосредоточить в одной организации Дагестана.

2. Составить инженерно-геологическую карту для всей территории республики и продолжить инициативу института «Дагестангражданпроект» по составлению комплекта инженерно-геологических карт для городов и крупных населенных пунктов Дагестана.

3. Составить региональные таблицы нормативных и расчетных характеристик для грунтов, распространенных в пределах территории республики.

4. Установить корреляционные зависимости между лабораторными и полевыми испытаниями грунтов.

5. Образовать сети скважин, для наблюдения за режимом грунтовых вод, и определения химсостава по сезонам года.

6. На прибрежной полосе Дагестанского побережья Каспия произвести комплекс геолого-гидрогеологических наблюдений для определения зоны безопасной застройки, в связи с развертыванием курортного строительства.

7. Произвести сейсмомикрорайонирование наиболее перспективных районов для строительства.

Б. Н. Магдиев, А. Х. Магомедов, Б. Д. Тагиров

ДКГЭ

## ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ КУРОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА НА ДАГЕСТАНСКОМ ПОБЕРЕЖЬЕ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

Дагестанское побережье Каспийского моря играет большую роль в народном хозяйстве республики. Его географическое положение определяет благоприятные условия как для развития сельского хозяйства, так и для строительства санаторно-курортных объектов.

В инженерно-геологическом отношении эта территория изучена ещё слабо. Общие инженерно-геологические условия её отражены на карте районирования в м-бе 1:200 000, составленной П. В. Царёвым и А. И. Клименко в качестве приложения к IX тому «Гидрогеология СССР» и в «Отчёте по инженерно-геологическому обследованию Горного Дагестана с целью специального инженерно-геологического районирования в м-бе 1:200 000 (1972—74 гг.)», написанном Б. Д. Тагировым. Другие работы, более крупного масштаба и детальные, проводились эпизодически и являлись строго специализированными (дорожное, мелиоративное, промышленное и гражданское строительство и т. п.). Её освоение без надлежащего инженерно-геологического обоснования может привести к нарушению установившегося динамического равновесия.

Немаловажное значение имеет также такое рациональное распределение территории между различными отраслями народного хозяйства, при котором минимальные затраты средств на инженерную подготовку смогли бы обеспечить основные требования по охране природы.

По структурно-тектоническим признакам Дагестанское побережье Каспийского моря относится к региону юго-восточной части Терско-Кумского передового прогиба (Прикаспийская низменность). По геоморфологическим особенностям этот регион представлен одной областью морских и речных террас в пределах Прикаспийской низменности. К этой области относятся абразионно-аккумулятивный берег Каспий-

ского моря к югу от г. Махачкалы и аккумулятивный берег аллювиально-морских равнин дельты р. Сулак.

Очертания береговой линии определяются главным образом структурными особенностями и наличием устойчивых к разрушению пород. Бухтообразные участки с береговыми аккумулятивными формами приурочены к крыльям седел, разделяющим антиклинальное поднятие, и к участкам развития легко размываемых пород. В связи с регрессией моря и понижением его уровня за последние 35—40 лет на Дагестанском побережье усилился процесс аккумуляции пляжевых отложений. К югу от г. Дербента, в районе дельты р. Самура, берег носит аккумулятивный характер с широким пляжем.

Развитие экзогенных геологических процессов в этой области почти отсутствует, за исключением нескольких мелких участков, не представляющих опасность для народнохозяйственных объектов. Однако, русла рек при выносе по ним мощных селевых потоков представляют серьезную опасность.

По распространению формаций коренной основы и генетических типов четвертичных отложений в этой области выделены шесть инженерно-геологических районов.

**Район 1** — преимущественного развития нижне-молассовой формации ( $P_3-N^c$ ); сложен пластичными с полускальными породами олигоцена и миоцена (глинами, песками, песчаниками, мергелями, известняками и ракушечниками). Олигоценовые отложения представлены темными кофейного цвета карбонатными глинами хадумского горизонта мощностью 8—15 м.

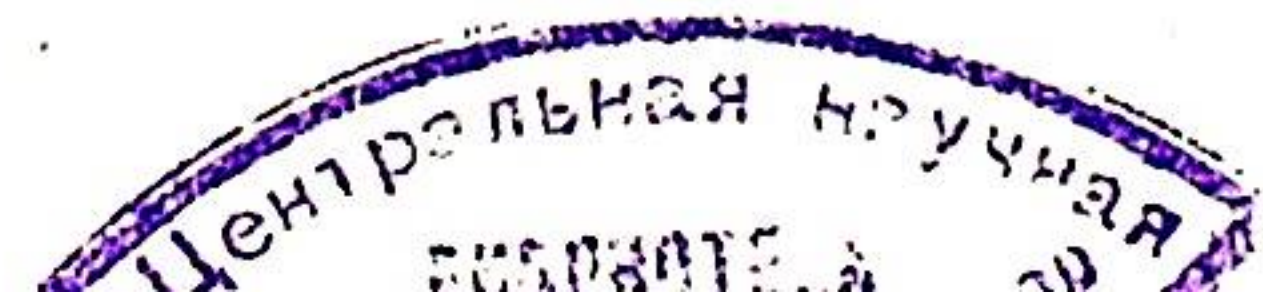
Миоценовые отложения в основном представлены темно-серыми, серыми и серо-шоколадными известковистыми глинами, глинистыми песками и ракушечниками, глинами с прослоями мергелей сарматского, акчагыльского и апшеронского ярусов.

Известняки и песчаники сармата характеризуются высокой прочностью.

**Район 2** — преимущественного развития полигенетических субаэральных (аллювиально-пролювиальных, морских и др.) отложений четвертичного возраста ( $sa Q$ ); сложен раздельнозернистыми со связными породами, представленными галечниками, песками, супесями и суглинками.

**Район 3** — преимущественного развития аллювиальных отложений рек Сулака, Самура, Шура-Озень, Улучая и др. ( $a Q_{I-II}$ ,  $a Q_{IV}$ ), сложен галечниками, песками, конгломератами, супесями, илами.

В отличие от аллювиальных отложений области широких речных долин горной части республики, отложения данного района содержат больше мелкодисперсной фракции (глинисто-пылеватые и илы), менее подвижны. Течение вод в этом районе относительно спокойное и мелко-дисперсные фракции



заполняют каркас аллювия. На таких участках поймы рек аллювий маловоден из-за его плохих фильтрационных свойств.

**Район 4** — преимущественного развития аллювиально-морских отложений четвертичного возраста (am Q<sub>III</sub>); сложен переслаивающимися галечниками, гравием, песками, супесями и суглинками. Эти отложения слагают ряд террас в прибрежной зоне.

**Район 5** — преимущественного развития морских отложений четвертичного возраста (m Q<sub>I-III</sub>, m Q<sub>IV</sub>); сложен галечниками, конгломератами, песками, глинами, битой ракушкой бакинского, хазарского и хвалынского ярусов и распространён узкой полосой от г. Махачкалы до Самура.

В связи с быстрым понижением уровня Каспийского моря в прибрежной зоне создан особый режим. Берега в основном аккумулятивные, низкие и песчаные, с террасами. Отложения древних террас залегают на известняках сармата, поверхность которых полого наклонена к морю. Выходы известняков прослеживаются на всем протяжении берега в виде отдельных скал и гребней.

**Район 6** — преимущественного развития пылеватых песков эоловых отложений (V Q<sub>IV</sub>). В него включены участки возле г. Каспийска, на левом берегу Шура-Озень и вблизи с. Кумторкала — песчаный бархан Сарыкум.

В гидрогеологическом отношении рассматриваемая территория изучена относительно лучше. В 1958-59 гг. здесь была проведена гидрогеологическая съёмка м-ба 1:100 000, а в 1977-79 гг. — поисковые работы на пресные подземные воды Сергокалинской площади для водоснабжения г. Избербаша и курортных зон Манасского и Каякентского взморьев. Проведенными работами выявлены следующие основные источники вод, которые используются как для питьевых целей, так и для производственных нужд промышленных предприятий:

1. Гашинский водозабор, расположенный в приустьевой части реки Гамри-Озень на расстоянии 25 км к югу от г. Избербаша. Дебит составляет 2300 м<sup>3</sup>/сут. с минерализацией 0.3—0.4 г/л и жёсткостью 4.5 мг-экв/л.

2. Водозабор «Уч-Евлах», находящийся в 7 км южнее города Избербаша и сооружённый на базе Тукачинских родников, выходящих из верхнесарматских известняков. Дебит составляет 990 м<sup>3</sup>/сут с минерализацией 1.8 г/л и жёсткостью до 16 мг-экв/л.

3. Водозабор «Пресняки», расположенный в 4.5 км севернее города Избербаша, на базе родников, приуроченных к известнякам верхнесарматских отложений. С этого водозабора для производственных нужд завода ДагЗЭТО подаёт-

ся 560 м<sup>3</sup>/сут. воды с минерализацией 2.7 г/л и жёсткостью 24 мг-экв/л.

4. Водозабор в районе дома отдыха «Чайка» на базе родников, приуроченных к известнякам-ракушечникам верхнесарматского комплекса. Здесь отмечаются выходы около 40 родников. Дебит каждого из них составляет от 0.1—0.3 л/сек, до 1.0—3.0 л/сек. Часть этих родников каптирована и используется для водоснабжения дома отдыха «Чайка» и санатория «Каспий». Дебит каптированных родников составляет 750—800 м<sup>3</sup>/сут. По некаптированным родникам (их более 30) экспедицией в период с мая по август месяцы четыре раза были произведены замеры дебитов и один раз определен химический состав вод. Суммарный дебит некаптированных родников в мае месяце составлял около 1000 м<sup>3</sup>/сут., а к концу августа он уменьшился почти в два раза. Минерализация колеблется от 0.81 г/л до 1.82 г/л, жёсткость от 7.55 мг-экв/л до 18.2 мг-экв/л.

Воды этих родников, стекая по склону, затапливают и заболачивают территорию дома отдыха «Чайка», а также прилегающие участки. Для решения вопроса использования вод всех родников на этом участке для целей водоснабжения курортной зоны, возможностей подсчёта и утверждения их запасов, а также предотвращения возможностей проявления таких геологических процессов, как оползни и заболачивание, экспедицией в 1982 году начаты работы по организации режимной станции для ведения гидрогеологических, метеорологических и инженерно-геологических наблюдений в многолетнем разрезе.

Кроме того, в прибрежной зоне от Махачкалы до Самура пробурены порядка 40 гидрогеологических скважин на пресные подземные воды для питьевых целей, а в отдельных населенных пунктах (ДагОгни, Мамедкала и др.) во многих дворах домов частного сектора пробурены скважины на грунтовые воды и используются для хозяйственно-бытовых нужд. Обычно эти воды залегают на глубине от 5—6 до 10—12 м и имеют высокую минерализацию. Использовать их для питьевых целей не желательно.

## ВЫВОДЫ

1. Дагестанское побережье Каспийского моря в инженерно-геологическом и гидрогеологическом отношении изучено недостаточно для обоснования строительства курортных комплексов.

2. Хотя это побережье является относительно устойчивым с инженерно-геологической точки зрения, решение инженер-

Э. В. Запорожченко, М. А. Андрушин,  
Г. А. Дербинян  
Севкавгипроводхоз

### ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В ТЕРСКО-СУЛАКСКОЙ НИЗМЕННОСТИ

В комплексе инженерных изысканий в Дагестане важное место занимают инженерно-геологические и гидрогеологические исследования, связанные с обоснованием проектов гидромелиоративного строительства. Эти исследования проводятся здесь на протяжении многих лет институтами «Даггипроводхоз», «Севкавгипроводхоз», «Южгипроводхоз» и другими организациями.

Наиболее крупным очагом гидромелиоративного строительства в автономной республике является Терско-Сулакская низменность, где расположено 16 оросительных систем (Старо-Теречная, Держинская, Сулу-Чубутлинская и др.). Суммарная валовая площадь всех систем достигает 1190 тыс. га. Ирригационный фонд — 650 тыс. га, из них 232 тыс. га орошается. Суммарный забор воды на системы из Терека и Сулака достигает 4 км<sup>3</sup> в год или в среднем около 17 тыс. м<sup>3</sup> га. Столь большие «нагрузки» от орошения вызывают серьезные изменения в почвенно-мелиоративной и гидрогеологической обстановке на территории низменности.

В ближайшее десятилетие в рассматриваемом регионе предстоит реконструировать оросительные системы на площади более 200 тыс. га. Под влияние мелиорации попадут крупные массивы. Ни один из видов инженерной деятельности, в том числе и гидроэнергетическое строительство, не конкурирует с мелиорацией по территориальной масштабности изменений, вносимых в природные условия.

Особенность инженерно-геологических процессов на мелиорируемых землях — проявление их на фоне неизбежного изменения влажностного режима в массиве горных пород — вытекает из существа мелиораций: увлажнения пород при орошении, понижения степени водонасыщенности при осушении, вследствие чего формируются новые мелиоративно-гидрогеологические условия в толще пород до первого регионального водоупора. Инженерно-геологические процессы при

ных задач по его защите от разрушения должно быть поставлено на научную основу, а к его исследованию нужно приступить безотлагательно.

3. Перед началом строительства столь крупных курортных комплексов считаем необходимым произвести изучение, анализ и прогноз гидрогеологического режима моря (уровневый режим, режим волнения и др.), а также анализ и прогноз развития абразионно-аккумулятивных процессов.

4. Упорядочить существующую систему водоснабжения баз отдыха. Необходимо перевести все базы отдыха на централизованное водоснабжение. Скважины, пробуренные для баз отдыха, как правило, самоизливающиеся, а вода с высокой минерализацией. До централизованного водоснабжения всех баз отдыха необходимо поставить все скважины на крановоднафрагменный режим, а воды использовать для хозяйственно-бытовых нужд, но не для питья.

других видах строительной деятельности (промышленной, гражданской, дорожной и пр.) могут происходить и без коренного изменения профиля влажности, гидродинамики подземных вод, последнее является лишь частным случаем или последствием некоторых мероприятий, тогда как в мелиорации — фактором, обязательно учитываемым в прогнозах.

Территория Терско-Сулакской низменности представляет равнину с незначительным уклоном (в среднем 0,0003) в северо-восточном направлении и заметным повышением в прирусловых частях рр. Терек и Сулак. Абсолютные отметки территории меняются от 0 до 28 м. Рельеф территории, в основном, спокойный, но с блюдцеобразными понижениями, образованными в результате периодических разливов рек.

Климат территории пустынный и полупустынный. Среднегодовое количество осадков — 307 мм. Осадки обеспеченностью 75% — 232 мм.

Почвы Терско-Сулакской низменности, в основном, луговые и лугово-степные в различной степени засоленные. Мощность гумусовых горизонтов составляет 30—40 см, реже — 50—60 см. Содержание гумуса не превышает 2—3%, местами — 3,6—3,7%. До 60% территории занимают сильнозасоленные и солончаковые почвы.

Из современных неблагоприятных геологических процессов следует отметить заболачивание, приуроченное к пониженным участкам рельефа. Заболоченности питаются грунтовыми и поверхностными водами (разливы) и местами покрыты зарослями тростника, осоки и пр. влаголюбивой растительности.

В геологическом строении территории принимают участие современные озерно-аллювиальные образования, отличающиеся крайней неоднородностью литологического состава, частым переслаиванием и выклиниванием отдельных слоев. Разведочными выработками, расположенными даже сравнительно близко друг к другу (2—5 м), часто вскрываются породы различного литологического состава или породы литологически одинаковые, но различные по мощности.

Современные озерно-аллювиальные отложения представлены всеми разностями мелкообломочных пород — от глин до песков. В распространении этих пород, как правило, наблюдается следующая закономерность: глины и тяжелые суглинки приурочены к пониженным элементам рельефа, аккумулярующим тонко отмученные осадки разливов, легкие разности, наоборот, — к повышенным участкам — прирусловым валам рек и их многочисленным сухоречьям.

По данным разведочных работ на территории третьей очереди Старо-Теречной оросительной системы в верхней пятиметровой толще на долю глин приходится 20,5, суглинков — 35,2, супесей — 16,8, песков — 27,5%.

На глубине нескольких десятков метров озерно-аллювиальные отложения подстилаются древне-каспийскими образованиями.

На большей части территории глубина залегания грунтовых вод колеблется от 1 до 3 м. Минерализация грунтовых вод чаще 20—50 г/л. Химический состав грунтовых вод хлоридно-натриевый, реже — сульфатно-натриевый.

Глинистые дельтово-аллювиальные отложения отличаются высокой влажностью (в среднем 25—32%) и низкой плотностью (в среднем 1,35—1,40 т/м<sup>3</sup>). Эти особенности свойств глинистых отложений обусловлены генезисом, возрастом и современной физико-географической обстановкой.

В гранулометрическом составе песков преобладают фракции размером 0,25—0,1 мм, на долю которых приходится в среднем 55,7%. Содержание глинистой фракции (менее 0,005 мм) — 0,4%.

Используемые для орошения земель речные воды Терека и Сулака пресные, гидрокарбонатно-натриевые.

Рост сельскохозяйственного производства в бассейне р. Терек привел к заметному увеличению среднегодовой минерализации речных вод от 0,33 г/л в 1950 г. до 0,50 г/л в 1980 г. (Каргалинский гидроузел). По расчету Е. А. Леонова [3], выполненному методом статистического прогнозирования с учетом влияния хозяйственной деятельности, в рассматриваемом створе ожидается дальнейшее повышение среднегодового содержания сухого остатка в терской воде до 0,6—0,75 г/л в 2000 году.

В целом территория Терско-Сулакской низменности характеризуется неблагоприятными инженерно-геологическими и мелиоративно-гидрогеологическими условиями, связанными с близким залеганием минерализованных агрессивных по отношению к бетону грунтовых вод, слабой и весьма слабой дренированностью (по классификации Д. М. Каца) земель, преобладанием в верхней части разреза засоленных почвогрунтов.

Ниже на основе многолетнего опыта работ Севкавгипроводхоза рассматриваются основные инженерно-геологические и гидрогеологические проблемы гидромелиоративного строительства на Терско-Сулакской низменности.

### Рассоление почв и их сельскохозяйственное использование

Многолетний опыт мелиоративного освоения земель Терско-Сулакской низменности показывает, что эффективным средством рассоления почв могут быть предварительные

промывки на фоне горизонтального дренажа. Применение вертикального дренажа здесь затруднено в связи с пестрым литологическим строением территории и преобладанием в целом слабопроницаемых пород. Стоимость промывки на Старо-Теречной оросительной системе составляет около 20% от общих затрат на мелиоративное освоение орошаемых земель. Продолжительность промывок каждого гектара на фоне построенной дренажной сети при норме 6—10 тыс. м<sup>3</sup> воды и фактическом модуле дренажного стока близком 0,3 га л/сек. достигает около 250 суток. Практически на рассоление верхнего слоя почвогрунтов требуется от одного до двух лет.

В связи с этим заслуживает внимания разработанный и внедренный институтом «Севкавгипроводхоз» в ряде хозяйств Кизлярского района новый метод освоения засоленных земель полевых севооборотов путем возделывания риса без предварительной промывки почв перед посевом. По этому прогрессивному методу, одобренному Минводхозом СССР, на засоленных землях строится сеть для возделывания риса на период освоения (2 года), а в дальнейшем на рассоленных землях размещаются поля полевых севооборотов. Урожайность риса в период освоения засоленных земель в специализированных рисоводческих совхозах «Путь Ленина», «Горьковский» и «Огузерский» составила в среднем 30,2 ц/га [1]. Срок окупаемости каждого введенного в эксплуатацию гектара оросительной сети был сокращен с 7—8 лет по утвержденному проекту до 3—5 лет.

Наличие засоленных земель, более жаркое и продолжительное лето (по сравнению с известным в стране районом рисосеяния — Кубанью), сухая и теплая осень (осадков в период уборки риса выпадает в два раза меньше, чем в низовьях Кубани), наличие трудовых ресурсов — все это свидетельствует о целесообразности дальнейшего развития рисосеяния в равнинной зоне Дагестана. В настоящее время рассоляющая культура — рис — возделывается на площади 25 тыс. га. С точки зрения рассоления почв и улучшения их мелиоративного состояния площадь под посевы риса целесообразно расширить до 170 тыс. га, что составляет более 50% общего ирригационного фонда.

### Обвалование рек

В комплексе мероприятий по использованию водных и земельных ресурсов Терско-Сулакской низменности важное место отводится обвалованию речных русел для предотвращения паводковых разливов. Этим неблагоприятным гидро-

логическим процессам способствует высокое гипсометрическое положение русел по сравнению с прилегающей местностью. Русло р. Новый Терек сформировалось в 1914 году в результате прорыва правого берега (Каргалинский прорыв). По мнению Д. А. Мирзоева [4] прорыву способствовало небольшое тектоническое поднятие земной коры в районе г. Кизляра, на пути прежнего основного русла. Известно, что гидрографическая сеть сама по себе является очень тонким и чутким фиксатором новейших и современных движений, реагирующим на самые незначительные изменения наклонов земной поверхности.

Оградительные валы на р. Терек возводятся из местных грунтов на обоих берегах. Высота валов 4—5 м, удаленность от береговой бровки 200—500 м.

Близкое залегание грунтовых вод, высокая влажность грунтов, большое содержание в них органических веществ, широкое развитие заболоченностей являются осложняющим обстоятельством с точки зрения поисков месторождений местных строительных материалов для отсыпки валов. На практике строительные грунты часто приходится подвозить из карьеров, удаленных на расстоянии до 3—5 км от места строительства валов. В связи с этим практический интерес в качестве строительного материала представляют новейшие аллювиальные отложения, выстилающие русло р. Терек и представленные типичной русловой фацией — сравнительно отмытыми, согласно СНиП П-15—74, однородными разностилями мелко-среднезернистых песков. По данным анализов 133 проб средневзвешенный диаметр фракций составляет 0,3 мм. Мощность песков в русле реки довольно изменчивая — колеблется от 0 до 8 м и более. Гидрологические наблюдения на водомерных постах показывают, что русловый аллювий — это подвижный слой, легко размываемый, перемещаемый водой во время паводков и вновь отлагаемый при спадах.

Русловые теречные пески могут быть использованы для возведения противопаводковых валов намывным способом. Прогнозная объемная масса скелета намывных теречных песков, вычисленная по методике треста «Гидромеханизация» [2], равна 1,48—1,50 т/м<sup>3</sup>.

Намывной способ возведения валов в низовьях р. Терек весьма перспективен. При таком способе строительства одновременно удастся очистить речное русло от наносов, и, тем самым, увеличить его пропускную способность.

### Провальные деформации

В низовьях Терека и Сулака наблюдаются своеобразные провальные явления, генетически связанные с трещинова-

тостью озерно-аллювиальных глин. Внешне эти явления выражены деформациями пород на дне каналов и на орошаемых участках (Держинская, Шамхал-Янги-Юртовская, Тальминская и др. оросительные системы). Провальные воронки имеют различную форму в плане от округлой до эллипсовидной. Диаметр воронок до 5 м. Глубина от 0,3 до 1,2 м, иногда достигает 1,5 м. Стенки воронок крутые, часто незадернованные. Дно покрыто зарослями влаголюбивой растительности. Густота провалов различная, имеются участки, где на площади 1 га насчитывается до 10—15 воронок.

Детальные исследования Л. В. Передельского [5] литологических особенностей, состава и свойств деформированных пород позволили установить основные закономерности провальных деформаций при орошении, весьма сходных с карстовыми и просадочными по внешнему виду, но резко отличающихся от них по своей сущности.

Причина возникновения провалов грунта на новых орошаемых массивах в низовьях Терека и Сулака обусловлена склонностью озерно-аллювиальных глин к значительным усадкам в условиях засушливого климата с образованием многочисленных трещин. Объемная усадка этих глин меняется от 5 до 23%, линейная усадка составляет 12,7—13%.

В местах, где неглубоко залегающие трещиноватые глины прикрыты с дневной поверхности рыхлыми песчаными или супесчаными насосами, при орошении или фильтрации воды из каналов происходит суффозия, заканчивающаяся образованием провальных воронок. В отдельные воронки наблюдалось поглощение поливных вод в количестве 4—4,5 тыс. м<sup>3</sup>/сутки.

С целью предотвращения провальных деформаций на новоорошаемых участках проводится их длительная замочка (до достижения влажности набухания глин, при которой трещины усадки закрываются) и последующая планировка. При строительстве каналов на «дефектных» участках производится предварительное уплотнение грунтов в их ложе.

#### Повышение качества и эффективности инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий

Основная задача изысканий в обоснование гидромелиоративного строительства на современном этапе — изучение инженерно-геологических и гидрогеологических условий района (участка); включая его морфологическое и геологическое строение, литологический состав, состояние и физико-механические свойства пород, физико-геологические процессы и явления, а также составление прогноза изменения инженерно-геологических и гидрогеологических условий при строитель-

стве и эксплуатации мелиоративного объекта. Проверка сделанных прогнозов, как указано в рекомендациях IV Всесоюзной конференции «Проблемы инженерной геологии» (г. Ростов-на-Дону, 1980 г.), должна явиться в ближайшие годы обязательной составной частью инженерно-геологических исследований.

Анализ многолетнего опыта работы института «Севкавгипроводхоз» показывает, что к основным факторам совершенствования инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий, повышения их качества и эффективности относятся: внедрение новой техники и технологии, в первую очередь геофизических методов; установление и использование (особенно на начальных стадиях проектирования) корреляционных зависимостей между характеристиками водно-физических, механических и фильтрационных свойств пород; использование материалов съемочных работ производственного геологического объединения «Севкавгеология» и материалов наблюдений гидромелиоративных станций, партий и отрядов; изучение и использование природных аналогов; разработка региональных таблиц нормативных значений прочностных и деформационных характеристик пород; применение дистанционных методов изысканий.

К примеру, эффективность гидрогеологических изысканий может быть повышена за счет применения ускоренного метода оценки водопроницаемости песков, базирующегося на установленной путем двухмерного корреляционного анализа очень тесной степенной зависимости коэффициента фильтрации от «диаметра шестидесяти». Анализ показал, что погрешность определения коэффициента фильтрации по ускоренному методу не выходит за пределы градаций фильтрационных параметров, принятых при районировании и допустимых ошибок этих параметров в воднобалансовых расчетах. Экспериментальные исследования на территории Караногайской оросительно-обводнительной системы показали, что отклонения коэффициентов фильтрации аллювиальных песков, оцененных по «диаметру шестидесяти» в целом небольшие — от 1,8 до 21,9%, в среднем 11,2%.

Большие перспективы открываются в связи с внедрением в изыскательскую практику космического и спутникового дешифрирования материалов для мелиоративно-гидрогеологического картирования, оценки обводненности, размеров и характера подтопления или признаков его наступления, изучения взаимосвязи поверхностных и подземных вод, оценки влияния деятельности человека на гидрогеологическую обстановку.

Важным вопросом, на котором следует сосредоточить внимание изыскателей-мелиораторов в ближайшие годы, является совершенствование мелиоративного прогноза. Практи-

ка настоятельно требует завершения изысканий уже не суммой отдельных прогнозов, а синтезированным прогнозом, прогнозом реальным, с отражением в нем динамики развития процесса, наконец, прогнозом вероятностным, представляющим для инженерного выбора поле решений. В связи с этим необходимо усилить исследования по изучению фактического хода и развития инженерно-геологических процессов и явлений, сопровождающих строительство и эксплуатацию мелиоративных систем.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Андришин М. А. Орошение риса в Дагестанской АССР. Махачкала, Дагестанское книжное изд-во, 1976.
2. Антинкин В. П. Об определении плотности грунта намывных сооружений. — «Гидротехническое строительство, 1963, № 7.
3. Леонов Е. А. Оценка и прогноз изменения минерализации воды крупных рек ЕТС с учетом водохозяйственной деятельности. — «Метеорология и гидрология», 1979, № 3.
4. Мирзоев Д. А. Некоторые особенности тектоники Терско-Сулакской низменности по данным структурно-геоморфологических исследований в связи с нефтегазоносностью. — Тр. ИГ ДагФАН СССР, 1962, т. III, вып. 2.
5. Передельский Л. В. О причинах деформаций грунтов на оросительных системах Дагестана и Средней Азии. — В кн.: Вопросы исслед. лесовых грунтов, оснований и фундаментов. Ростов-на-Дону: РГУ, 1966.

Ш. Ш. Загиров  
ДагПТИ

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПТИМИЗАЦИИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Совершенствование методики инженерно-геологических изысканий является одной из широко обсуждаемых проблем в инженерно-геологической литературе. Особое положение этой проблемы, связанное с важностью решаемых на ее основе задач и сложностью ее разработки, привлекало внимание многих исследователей. Важнейшие принципы методики изысканий сформулированы в работах Ф. П. Саваренского, И. В. Попова, Н. Н. Маслова, Е. М. Сергеева, Н. В. Коломенского, Л. Д. Белого, И. С. Комарова, В. Д. Ломтадзе, Г. К. Бондарика, М. В. Раца. В работах названных авторов приведены как качественные рекомендации, правильно раскрывающие суть изысканий, так и предприняты попытки количественного обоснования объема разведки и опробования. Как определенный итог последних попыток следует отметить методы установления минимально необходимого количества проб для оценки среднего значения того или иного показателя свойства с заданной точностью и надежностью [3, 9, 11, 14, 16, 18 и др.]. Метод количественной оценки расстояния между выработками, исходя из степени изменчивости показателей свойств в различных направлениях, рассмотрен в [3].

Шагом вперед в направлении приближения к конечной цели изысканий следует считать результаты решений задач оптимизации размещения точек опробования в исследуемой толще с учетом требований отдельных инженерных задач, обобщенных в [18]. В гидрогеологии подобный подход рассмотрен в работе [15].

Дальнейшее развитие теории и методики инженерно-геологических изысканий необходимо осуществлять на более высоком уровне, не ограничиваясь рассмотрением отдельных сторон проблемы, а на базе комплексного подхода, одновременно учитывающего особенности инженерно-геологических условий и проектируемого сооружения. Это связано с тем,

что мы имеем два достаточно сложных и взаимодействующих между собой элемента единой системы — сооружение и основание. Поведение этой системы в целом определяется особенностями обоих элементов. Эти особенности будут различными как при изменении одного из них, так и обоих вместе. Наличие такой функциональной связи требует, с одной стороны, установления количественного критерия, характеризующего состояние этих элементов во взаимодействии в целом, с другой — выявления в каждом случае параметров, которые определяют их поведение во взаимодействии. Здесь также необходимо иметь в виду, что даже при идентичности определяющих параметров, их требуемая точность, надежность, и, следовательно, объем, методы разведки и исследования будут различными в зависимости от конструктивных особенностей проектируемого сооружения и инженерно-геологических условий его возведения, то есть задача оценки объема разведки и опробования требует своего решения в каждой конкретной ситуации.

Вместе с тем, сказанное не исключает возможность выделения отдельных классов сооружений и геологических сред, для которых при определенных ограничениях будут справедливы единые рекомендации по проведению инженерно-геологических изысканий. Однако выполнение такой классификации требует, прежде всего, наличия теоретических решений, позволяющих на базе совместного функционального учета параметров сооружения и геологической среды установить как значимость на их взаимодействие изменчивости этих параметров, так и выявления интервалов их изменения, не приводящих к существенному влиянию на поведение проектируемой системы в целом. Таким образом, при рассмотрении проблемы дальнейшего совершенствования теории и методики инженерно-геологических изысканий необходимо исходить из единства вновь создаваемой и более сложной системы **сооружение—основание**, базироваться на существующем опыте проектирования, проведения и планирования инженерно-геологических изысканий, а также должны быть выявлены доминирующие параметры, влияющие на ее состояние в целом. При этом разрабатываемые методы должны обеспечивать наилучшие решения с точки зрения достижения поставленных требований.

## 2. Особенности оптимизации инженерно-геологических изысканий

Проблема оптимизации широко обсуждается в различных областях науки. Хотя ряд полученных результатов носит

общий характер, но их непосредственное конкретное приложение требует учета особенностей рассматриваемой ситуации. Это в полной мере справедливо и по отношению инженерно-геологических изысканий.

Рассмотрим общие черты и особенности, возникающие при решении этой проблемы.

Прежде всего заметим, что оптимизация связана с выбором ограничений, так как в противном случае задача не будет однозначной. Если решение принято с учетом всех поставленных ограничений, то оно называется допустимым [13]. Однако полученное здесь решение может быть не оптимальным.

Особенность инженерно-геологических изысканий состоит в том, что ряд ограничений и решений, принимаемых при проведении изысканий, нельзя формализовать, но их учет способствует в целом повышению их эффективности и достоверности инженерно-геологической информации. При наличии такой ситуации, то есть при отсутствии возможности формализованного подхода в целом, принимаемые решения целесообразно называть рациональными. Тогда «оптимизационные задачи (и их различные постановки) представляют собой отдельные подзадачи в процессе разработки в целом рационального проекта» [13].

Таким образом, при общем рассмотрении проблемы разработки теории и методики инженерно-геологических изысканий необходимо иметь в виду, что из-за отсутствия возможности формализации отдельных ограничений и решений, от которых в определенной степени зависит направленность, методы разведки и исследований, их объем, в данном случае решения в целом будут рациональными.

Вместе с тем, сказанное не исключает возможность формализации целого ряда ограничений и решений при разработке рациональных проектов. В частности, вопросы обоснования количества выработок и проб, их размещения в пространстве, оценки изменчивости параметров оснований, выбора моделей интерпретации, комплексирования методов исследования, разведки, оценки общей стоимости изысканий и другие могут быть формализованы при наличии априорной модели инженерно-геологических условий и проектируемого сооружения. При рассмотрении этих вопросов представляется целесообразным поиск оптимальных решений, то есть нахождение наилучшего решения из множества возможных с точки зрения обеспечения выбранного критерия оптимальности (эффективности).

В ходе инженерно-геологических изысканий накапливается качественная и количественная информация, причем качественная информация не позволяет количественно оценить ее влияние на проектное решение из-за отсутствия соответствующей математической модели эффективности. Со-

гласно математической теории, оптимизация требует количественного выражения информации и выбора критерия оптимальности. Последний должен быть выражен количественно и позволяет количественно оценить эффективность принимаемых решений.

Что касается исходной или априорной информации, то методы ее получения, объем исследований подлежат оптимизации, если она выразится количественно и заранее можно сформулировать соответствующий критерий оптимальности. На практике эти условия можно реализовать при относительно несложных инженерно-геологических ситуациях или же при наличии достаточного количества априорной информации. В сложных инженерно-геологических условиях, когда отсутствует в достаточном количестве априорная информация, для реализации оптимальных решений изыскания необходимо проводить как минимум в две стадии.

Инженерные изыскания содержат инженерно-геологические поиски, инженерно-геологическую разведку и инженерно-геологическое опробование горных пород [10]. Что касается вопросов планирования разведки и опробования, то они в определенной степени поддаются формализованной количественной интерпретации. Несколько сложнее обстоит вопрос формализации решений, принимаемых в ходе поисков. Однако, если исходить из их основной цели — «...поиски наиболее благоприятных геологических условий для строительства того или иного сооружения...» стр. 11 [10], то это обстоятельство уже должно придать изысканиям целенаправленность. Здесь важную роль должны сыграть имеющийся опыт и интуиция инженера-геолога.

Вместе с тем необходимо отметить важное значение теоретических решений, устанавливающих функциональную связь между параметрами геологической среды и сооружения. Наличие подобных решений позволит выявить интервалы изменения параметров, вариации внутри которых их значений не приведет к отклонению результатов принимаемых решений от допустимых величин. Установить такие интервалы можно путем моделирования на ЭВМ соответствующих ситуаций. Используя результаты моделирования, не представляет трудности составление рекомендаций для конкретных случаев. Подобные рекомендации могут и должны быть использованы в ходе поисков. Зная из априорных и других качественных соображений возможные интервалы изменения соответствующих параметров, при меньших затратах средств и времени можно выбрать наиболее целесообразную площадку строительства, оценивая путем моделирования необходимые в каждом случае затраты.

Реализация такого подхода при планировании поисков позволит в определенной степени формализовать принимаемое

в ходе их решения, а также теоретически обосновать необходимый объем исследований. Таким образом, привлечение формализованного подхода совместно с содержательным анализом при планировании и поисках не противоречит их сути, а, напротив, будет способствовать использованию при этом научно обоснованных количественных методов, существенно повышающих эффективность поисков.

Выбор критерия оптимальности на любом этапе и при выполнении отдельных циклов следует производить, исходя из необходимости эффективного обеспечения конечного критерия, то есть здесь должно быть соблюдено условие соподчиненности.

Интуитивные соображения представляют определенный положительный интерес в смысле повышения эффективности изысканий на отдельных этапах и в целом, а также при принятии окончательных проектных решений, но оценить количественно их влияние пока невозможно. Вместе с тем, сказанное не исключает необходимости совершенствования методики принятия интуитивных решений путем повышения качества знаний и опыта специалистов, а в перспективе, возможности, и их формализации. Обеспечение последнего условия будет способствовать повышению эффективности инженерно-геологических изысканий в целом и ее количественному выражению.

Поиск оптимального решения связан с формированием целевой функции (функции риска) и нахождением ее экстремума (минимума или максимума) в зависимости от смысла рассматриваемой задачи, то есть на определенном этапе оптимизации необходимо обратиться к формальному подходу. Однако это не уменьшает значения содержательного анализа, так как он должен быть использован максимально при формировании из априорных соображений структур расчетных схем и требований к точности, надежности инженерных прогнозов, а также при сформулировании требований к проектируемой системе.

При решении оптимизационных задач необходимо установить тип параметров, входящих в математическую модель. Их условно можно подразделить на управляемые (изменяемые в процессе оптимизации или переменные) и неуправляемые (неизменяемые или постоянные). Тип параметров устанавливается в зависимости от решаемой конкретной задачи. Например, если требуется достичь минимума дисперсии осадки фундамента при фиксированной стоимости опробования, то в качестве управляемых параметров можно принимать количества определений модуля деформации грунта отдельных инженерно-геологических элементов, входящих в пределы области взаимодействия сооружения с основанием.

Из сказанного следует, что решения, принимаемые в ходе

инженерно-геологических изысканий, являются в целом рациональными. При этом реально представляется возможность оптимизации целого ряда решений, то есть поиска наилучшего решения с точки зрения обеспечения критерия оптимальности. Оптимизация требует количественного выражения всей информации, наличия математической модели, выбора критерия оптимальности, математического аппарата оптимизации и получения оптимального решения.

Согласно сказанному в п. 1, при разработке проблемы оптимизации инженерно-геологических изысканий следовало исходить из совместной работы системы сооружение—основание. Однако, ввиду сложности разработки данной проблемы в такой постановке и неизученности отдельных, но важных с точки зрения прогноза состояния этой системы вопросов, представляется целесообразным ограничиться рассмотрением совместной работы фундаментов и основания. При известной величине надежности системы **сооружение—основание** надежность последней можно определить, рассматривая ее как подсистему. Принятие такого условия потребует при разработке проблемы оптимизации инженерно-геологических изысканий привлечения не только привычных инженеру-геологу методов, но и инженерных методов, используемых при проектировании системы фундамент—основание. Однако, несмотря на относительную сложность, подобный методологический подход обеспечит комплексное решение целого ряда взаимосвязанных задач изысканий, с учетом их конечной цели. Кроме того, представление результатов теоретических решений в виде графиков и таблиц применительно к выбранной классификации намного упростит использование соответствующих рекомендаций.

Таким образом, для оптимизации изысканий необходимо учитывать как общетеоретические принципы проблемы, так и особенности, имеющие место при их планировании, проведении и использовании накапливаемой в их ходе информации.

### 3. Иерархия системы оптимизации инженерно-геологических изысканий

Эффективность оптимизации зависит от комплекса факторов. Среди них важное место занимает правильный выбор критерия оптимальности. Этот критерий можно подобрать как для конкретных частных решений, так и для характеристики состояния проектируемой системы в целом. При этом желательно, чтобы критерии отдельных решений были приняты с учетом необходимости оптимального обеспечения конечного критерия.

Что касается инженерно-геологических изысканий, то

при выборе критерия оптимальности необходимо учитывать то обстоятельство, что изыскания не являются конечной целью, а есть необходимый этап единого процесса изысканий — проектирование. Поэтому критерий оптимальности должен быть идентичным тем, что используется в теории оптимального проектирования в строительстве. При этом должны быть учтены как особенности проектируемого сооружения (промышленное, гражданское, сельскохозяйственное, гидротехническое и т. д.), так и использования инженерно-геологической информации при принятии проектных решений.

Действительно, при проектировании сооружения максимально должны быть учтены факторы, в основном определяющие его безопасную работу. В большинстве встречающихся на практике случаях при решении инженерных задач достаточно ограничиться использованием средних значений параметров оснований (интегральные задачи [18]). Однако могут иметь место ситуации, когда безопасная работа сооружения определяет «слабое звено». Например, такая ситуация возникает при оценке устойчивости основания с наклонным расположением слоев. При этом используются экстремальные значения параметров такого участка или же их средние величины в его пределах и исследования должны быть направлены на выявление подобных участков и на установление их параметров.

Общие положения, изложенные в п. п. 1 и 2, справедливы в каждой из охарактеризованных ситуаций и при проектировании любых сооружений. В дальнейшем ограничимся рассмотрением интегральных расчетных схем, как наиболее широко распространенных в практике проектирования. Что касается ситуаций, где используются экстремальные значения параметров, то разработка проблемы оптимизации здесь требует отдельного изучения с учетом соответствующих особенностей.

В строительном проектировании в качестве критерия оптимальности часто принимается надежность системы или объем вероятных потерь в случае ее аварии [3, 21]. Принятие любого из этих критериев позволяет разработать проблему оптимизации. Однако следует указать на практическую трудность реализации чисто экономического подхода, то есть учета вероятных потерь. Объясняется это тем, что пока отсутствует в достаточном количестве технико-экономическая информация, позволяющая обоснованно оценить объем потерь. Кроме того, здесь встает проблема необходимости учета моральных потерь. Поэтому второй критерий после накопления соответствующей технико-экономической информации в первую очередь целесообразно применять при проектировании зданий, сооружений, а также любых других объектов, аварии которых связаны только с экономическими потерями.

Проблема учета надежности также связана с принципиальными трудностями. Дело в том, что надежность как параметр, зависящий от принимаемых проектных решений и влияющий на стоимость сооружения, должна быть оценена с достаточно высокой точностью. Причем величина надежности изменяется во времени, и она зависит от комплекса факторов, одновременный учет которых представляет большие трудности. Проблема определения надежности требует еще своей разработки. Поэтому часто ограничиваются принятием нормативной надежности [1, 5, 21, 24].

Что же касается инженерно-геологических изысканий, то при настоящем уровне развития теоретической базы оценки надежности, по-видимому, целесообразно при определении объема исследований исходить из нормативной надежности или ее величины, назначаемой из других апробированных соображений, а при проектировании сооружений, аварии которых связаны только с экономическими потерями, учитывать затраты в случае аварии сооружения из-за недостаточного количества инженерно-геологической информации.

Такой подход к обоснованию объема инженерно-геологических изысканий позволяет учитывать состояние проектируемой системы в целом и дает возможность комплексно оценить влияние параметров основания на ее состояние. Принятие для характеристики состояния системы фундамент—основание совместной нормативной надежности проектных решений в момент времени  $t=0$  при оптимизации инженерно-геологических изысканий позволяет рассмотреть в единстве весь процесс изыскания — проектирование.

Иерархия системы оптимизации в рассматриваемой здесь постановке приведена на рис. 1. Как видно, при оптимизации инженерно-геологических изысканий здесь учитываются используемые расчетные методы, требования к точности и надежности отдельных инженерных прогнозов, модели интерпретации результатов наблюдений за параметрами оснований (физико-механическими свойствами и мощностями инженерно-геологических элементов), то есть базируется как на геологических, так и на конструктивных факторах. При этом возникает необходимость новой трактовки принципов оптимизации инженерно-геологических изысканий, сформулированных в [19].

В рассматриваемой постановке принцип обратной связи сводится к необходимости решать инженерно-геологические задачи с учетом требований проектирования системы фундамент—основание, то есть объем и методы изучения тех или иных параметров основания ставится в зависимость от степени влияния их изменчивости на общую нормативную надежность системы фундамент—основание в целом.

Принцип оптимальности означает оценку минимальных

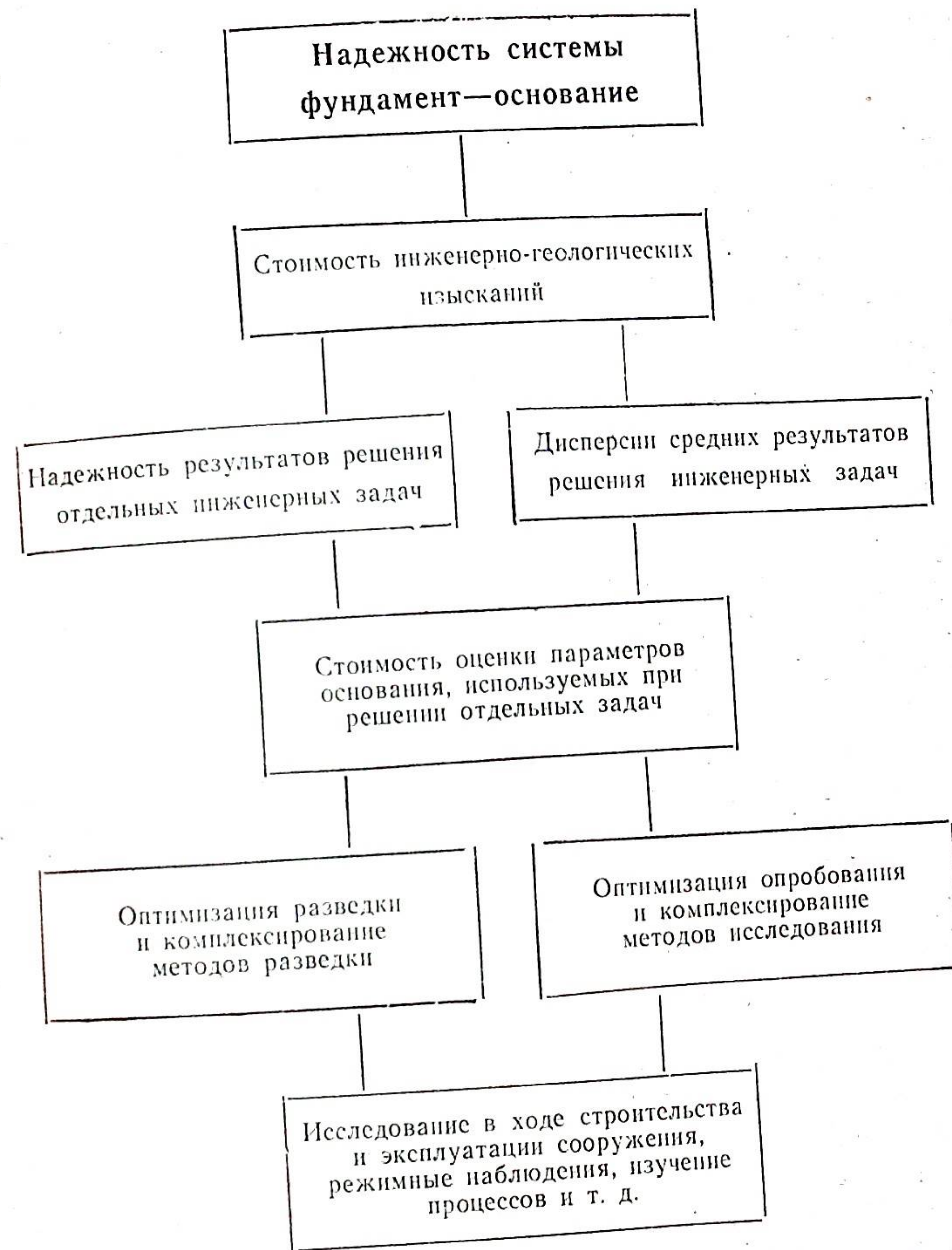


Рис. 1. Иерархия системы оптимизации инженерно-геологических изысканий.

затрат на инженерно-геологические изыскания, при которых обеспечивается совместная нормативная надежность проектных решений, принимаемых при проектировании системы фундамент — основание.

Принцип адаптации — это корректировка плана исследования по мере накопления информации о параметрах основания с целью обеспечения нормативной надежности при оптимальных условиях.

Если из каких-либо соображений заранее фиксируется стоимость изысканий, то эти принципы реализуемы и в такой ситуации. При этом обеспечивается максимум надежности при фиксированном объеме затрат.

Перечисленные принципы позволяют решать различные задачи оптимизации в замкнутом виде и предусматривают пути реализации полученных результатов.

Принятие в качестве критерия оптимизации инженерно-геологических изысканий надежности проектируемой системы требует одновременного учета методов решений инженерных задач, особенностей использования инженерно-геологической информации при их решении, моделей интерпретации результатов наблюдений за параметрами оснований и т. д., то есть здесь необходимо исходить из особенностей расчетных схем, характера передаваемых на основание нагрузок, изменчивости физико-механических свойств, неоднородности исследуемой толщи по строению, требуемой точности принятия отдельных проектных решений, используемой методики исследований. Одновременный учет названных факторов, очевидно, представляется сложной задачей, при решении которой необходимо руководствоваться не только известными и привычными геологу методами инженерной геологии, но и механики грунтов, оснований и фундаментов. Однако это не должно служить препятствием, так как советская школа инженерной геологии с момента своего зарождения всегда подчеркивала, хотя и качественно, необходимость совместного учета этих факторов [3, 2, 9, 11, 12, 17, 22, 23] и действующие нормативные документы в той или иной степени отражают подобное требование [24, 25]. Вместе с тем следует заметить, что до настоящего времени под такие рекомендации не подведена теоретическая база, позволяющая количественно установить влияние названных факторов на эффективность инженерно-геологической информации в смысле оптимального обеспечения требований к системе фундамент—основание.

Хотя решение задачи оптимизации инженерно-геологических изысканий в подобной постановке связано с определенными трудностями, но такое рассмотрение следует считать одним из кратчайших, и, по-видимому, правильных путей преодоления фактического разрыва между целью накопления

инженерно-геологической информации и принятием проектных решений.

Рассмотрение проблем оптимизации инженерно-геологических изысканий с учетом параметров системы фундамент—основание (принцип обратной связи) вызывает возражения отдельных исследователей, которые сводятся чаще всего к тому, что при таком подходе не учитываются известные приемы инженерной геологии (районирование, типизация и т. д.), конструкции фундаментов уточняются после проведения изысканий и поэтому могут изменяться; в результате изысканий должны быть выявлены аномалии, а использование средних значений показателей свойств не позволяет учитывать их влияние на работу сооружения, выпадают из под влияния стадийности изысканий. Подобные возражения нельзя считать обоснованными, так как учет состояния проектируемой системы в целом не исключает, а предполагает использование методов, характеризующих как геологическую среду, так и сооружение. Что касается учета возможности изменения типа фундаментов, аномалий, то здесь можно рассмотреть отдельно задачи, предполагающие такие случаи [8]. Кроме того, если из каких-то соображений изменяется первоначальный тип фундаментов, то для их проектирования проводятся дополнительные исследования, которые также можно оптимизировать. Если дополнительные исследования не проводятся, то это свидетельствует об идентичности расчетных схем, используемых при проектировании другой конструкции фундаментов.

Оптимизация инженерно-геологических изысканий в рассматриваемой постановке позволяет определить их общую стоимость. Что же касается ее распределения по стадиям, то для сохранения оптимальности оценок достаточно, чтобы суммарные затраты на определение отдельных параметров оснований не превышали их величин, приходящихся на них согласно оптимальной схеме опробования. Таким образом, оптимизация не исключает также стадийность изысканий, а позволяет обосновать количественно их объем на каждой стадии. Что касается интуитивных качественных соображений, известных инженерно-геологических методов районирования, типизации, классификации, а также возраста и происхождения горных пород, то они дают исходную информацию о геологической среде и способствуют объективному учету ее параметров, как при выборе метода оптимизации, так и при принятии окончательных проектных решений. Кроме того, необходимо заметить, что составлению априорной модели инженерно-геологических условий и проектируемого сооружения, выбору модели интерпретации результатов определений, структур расчетных схем, принятию окончательных проектных решений должен предшествовать содер-

жательный анализ данной ситуации и ни в какой мере нельзя ограничиваться только формальным подходом, то есть содержательный анализ и формальный подход должны дополнять друг друга, способствуя в целом повышению эффективности принимаемых решений.

#### 4. Оптимизация инженерно-геологических изысканий

Как уже было сказано, при оптимизации изысканий будем исходить из совместной работы фундаментов и основания. Это обстоятельство уже требует учета здесь затрат на фундаменты.

Для конкретности рассмотрим выражение, устанавливающее зависимость между совместной надежностью инженерных решений, принимаемых при проектировании системы фундамент—основание, стоимостью исследования основания и коэффициентами запаса отдельных проектных решений [7]:

$$P = e^{-\sqrt{\Phi C} \prod_{i=1}^k P_{oi}} \quad (1)$$

где  $\Phi = \sum_{i=1}^k [\bar{\Psi}_{vi}^2 (K_{zi} - 1)^2 / A_i^2 R_i^2]$ , где  $\bar{\Psi}_{vi}$  — среднее вы-

численное значение результата решения инженерной задачи;  $K$  — количество решаемых инженерных задач;  $R_i$  — параметр, зависящий от степени и характера неоднородности грунтов, стоимостей проходки выработок, отбора и анализа проб, весовых коэффициентов и зависящий от структуры расчетного соотношения;  $A_i$  — угловой коэффициент, значение которого при изменении надежности от 0,85 до 0,98 равно  $A = -7,30$ ;  $P_{oi}$  — величина вероятности при рассмотрении указанного предела, которая равна  $P_o = 0,70$ ;  $K_{zi}$  — коэффициент запаса  $i$ -го инженерного решения.

Как видно из выражения для определения параметра  $\Phi$ , стоимость изысканий  $C$  зависит от величин коэффициентов запаса  $K_{zi}$ . Чем больше значения последних, тем выше стоимость системы фундамент—основание. Кроме того, эти затраты будут зависеть от вида фундаментов. Например, для отдельных они будут одни, для ленточных другие, для свайных третьи и т. д. Поэтому соотношение (1) обеспечивает оптимальную стоимость изысканий при фиксированных значениях коэффициентов запаса. При этом остается открытым вопрос о величинах этих коэффициентов, которые, хотя бы в рамках данной постановки, следует обосновать.

Приведенные затраты на систему фундамент—основание можно определить как

$$C_{ипр} = \sum_{i=1}^k \bar{\Psi}_{vi} \cdot K_{zi} \cdot C_{ипр} \quad (2)$$

где  $C_{ипр}$  — приведенные затраты на обеспечение одной условной единицы результата решения  $i$ -той инженерной задачи. Оптимальные значения  $K_{zi}$  и стоимости изысканий  $C_{из}$  можно определить путем совместного решения уравнений (1) и (2).

Заметим, что соотношение (2) учитывает полную стоимость фундаментов. Однако при определении стоимости изысканий можно ограничиться учетом затрат на обеспечение коэффициентов запаса. Действительно, суммарная стоимость подземной части будет равна  $C_{п.ч} = C_{пф} + C_{прк} + C_{из}$ , где  $C_{пф}$  — приведенные затраты на фундаменты, при их размерах, вычисленных с учетом средних значений параметров оснований;  $C_{прк}$  — то же на обеспечение коэффициентов запаса. При этом суммарные оптимальные затраты  $C_{опт}$  увеличатся на  $C_{пф}$ , но оптимальные затраты на изыскания не изменятся, так как тогда  $C_{из} - C_{п.ч} = C_{пф} - C_{прк}$ . Следовательно, при определении оптимальной стоимости изысканий достаточно ограничиться учетом затрат на обеспечение коэффициентов запаса и воспользоваться приведенной здесь методикой их определения.

В таком случае может возникнуть вопрос о том, не говорит ли это утверждение о независимости стоимости изысканий от типа и класса капитальности сооружения, конструкции фундамента и инженерно-геологических условий? Здесь сразу необходимо отметить, что сказанное ни в коей мере не исключает необходимость учета последних факторов.

Класс капитальности сооружений учитывается через величину надежности  $P$ , которая непосредственно входит в выражение (1). Из него видно, что стоимость изысканий следует увеличить с возрастанием надежности, которая тем больше, чем выше класс капитальности сооружения. Что касается фундаментов, то от их типа будут зависеть приведенные затраты, которые различны для свайных, ленточных, сплошных, отдельных фундаментов. Изменчивость параметров основания, его неоднородность учитывает параметр  $\Phi$ .

Кроме того, при неравномерно сжимающих грунтах применяются дополнительные конструктивные мероприятия по уменьшению влияния неравномерных деформаций. Расходы на реализацию последних также можно включить в объем приведенных затрат, так как, во-первых, их использование приводит к определенным запасам прочности и, следовательно, к увеличению  $K_z$ ; во-вторых, в них входят стоимость

материалов, земляных работ, конструктивных мероприятий, производства строительных работ.

При учете только затрат на обеспечение коэффициентов запаса их суммарная величина определится как [7]:

$$C_{\text{прк}} = \sum_{i=1}^k \Psi_{\text{в}i} (K_{zi} - 1) \cdot C_{\text{ипр}} \quad (3)$$

Для определения оптимальных коэффициентов запаса с учетом затрат на систему фундамент—основание и стоимости изысканий достаточно решить совместно уравнения (1) и (2). В общем случае здесь можно использовать метод программирования. Однако при небольшом количестве коэффициентов запаса в данной ситуации можно использовать графический метод [7].

Как видно из иерархии системы оптимизации, приведенной на рис. 1, важное место здесь отводится комплексированию методов разведки [20] и исследования [4]. Соответствующие исследования показывают, что проблема комплексирования полностью вписывается в принятый здесь методологический подход оптимизации инженерно-геологических изысканий, способствуя в целом повышению их эффективности. Решение задач оптимального комплексирования методов разведки и исследования нами получены. В этом случае изменяется лишь структура параметра  $R$  в соотношении (1). Необходимо также отметить, что структура параметра  $R$  зависит от особенностей разведки и опробования, расчетного соотношения, изменчивости физико-механических свойств и соответствующие выражения получаются путем решения задач оптимизации разведки и исследования. Для большинства встречающихся на практике ситуаций задачи оптимизации решены и соответствующие выражения для  $R$  имеются [6, 7, 18].

Эффективность оптимизации во многом зависит также от устойчивости параметров, входящих в соотношения (1) и (2). Дело в том, что при оптимизации используются параметры, которые оцениваются на базе априорной информации или же по данным, полученным на первой стадии. В обоих случаях информация ограничена. Поэтому апостериорные оценки могут не совпасть с их значениями, полученными по исходной информации. Результаты соответствующих исследований показывают, что оптимальные оценки весьма устойчивы к изменениям входных параметров в широких диапазонах. Используя накопленную информацию по отдельным регионам для различных типов горных пород, можно составить рекомендации по выявлению интервалов изменения параметров оснований, вариации внутри которых несущественно скажутся на оптимальных оценках.

**Пример.** В качестве примера рассмотрим ситуацию, имеющую место при проектировании 9-этажного жилого дома в IV микрорайоне Приморского жилого района г. Махачкалы. Размеры здания в плане  $72 \times 15$  (м  $\times$  м). Несущими конструкциями являлись поперечные стены. Нормативная нагрузка на 1 п. м. составила 50 т. Под несущие стены предполагалось запроектировать ленточные фундаменты.

Участок строительства находится в юго-восточной части города Махачкалы и расположен на Прикаспийской низменности в районе хвалынской террасы, образованной древним бассейном Каспия. В пределах участка четвертичные отложения представлены глинистыми породами. Рельеф участка ровный.

В результате дисперсионного анализа данных, полученных при изысканиях аналогичного близлежащего участка, было установлено, что физико-механические свойства в пространстве изменяются незакономерно, причем среднее значение модуля деформации, определенного по компрессионным данным, равно  $\bar{E} = 560$  т/м<sup>2</sup>, а дисперсия  $\sigma^2_E = 106700$  т<sup>2</sup>/м<sup>4</sup>; среднее значение угла внутреннего трения  $\bar{\varphi} = 23^\circ$ , дисперсия  $\sigma^2_\varphi = 44,9$ ; среднее значение удельного сцепления  $\bar{C} = 3,2$  т/м<sup>2</sup>, а дисперсия  $\sigma^2_c = 2,6$  т<sup>2</sup>/м<sup>4</sup>. При выполнении расчетов в соответствии с указаниями СНиП П-15—74 значения модуля деформации были скорректированы при помощи соответствующего коэффициента, после чего оказалось  $E = 2240$  т/м<sup>2</sup>.

При этих данных ширина подошвы фундамента равна  $b = 1,8$  м, а осадка, вычисленная методом послойного суммирования [24], равна  $S = 0,02$  м. При допустимой осадке для проектируемого здания  $S_g = 0,08$  м заранее можно сделать вывод о том, что в исследовании деформируемости грунтов нет необходимости. Поэтому определим оптимальную стоимость исследования прочностных характеристик.

При фактическом отклонении между допустимым и расчетным значениями осадок  $\Delta S = 0,06$  м надежность прогноза осадки  $P > 0,99$ . Тогда надежность оценки ширины подошвы фундамента  $P_b$  должна быть больше 0,85 при условии расчета по деформациям согласно [24]. При этом коэффициенты  $A$  и  $P_o$  равны:  $A = -6,44$ ,  $P_o = 0,65$ . Параметр  $R_b$ , необходимый для определения  $\Phi$  в выражении (1), из-за макроднородности грунтов определится из выражения [6]:

$$R_b = \sqrt{\frac{C_1}{n} (C_1^2 \sigma_\varphi^2 + C_2^2 \sigma_c^2)} \quad (4)$$

где  $C_1$  и  $C_2$  — частные производные по  $\varphi$  и  $C$  от выражения для определения ширины подошвы фундамента;  $C'$  — суммарная стоимость проходки выработки, отбора и анализа из нее  $p$  проб.

Суммарная стоимость проходки скважины, отбора и анализа проб при их количестве  $p=8$ , стоимости бурения 1 п. м., равной 14 руб., стоимости отбора анализа пробы 20 руб. равна  $C'=300$  руб. Тогда  $R_b=5,2$ .

Стоимость 1 м<sup>3</sup> железобетона примем равным 25 руб., а высоту фундаментной подушки 0,4 м. Стоимость  $C_{из}$  рассчитывалась по формуле (1), а  $C_{прк}$  по (3). Результаты расчетов представлены на рис. 2, где приведен случай, когда

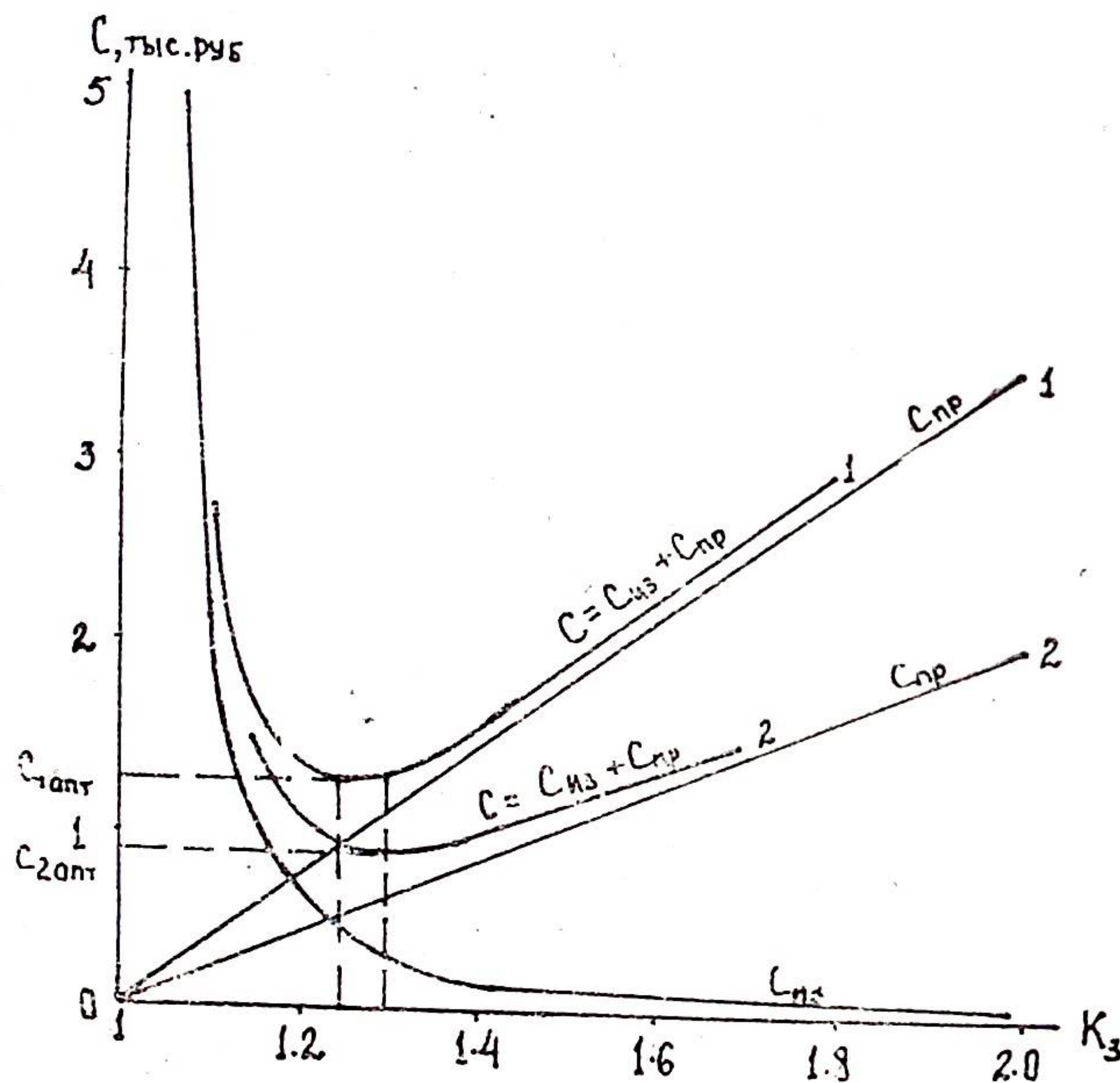


Рис. 2. Определение оптимальной стоимости  $C_{опт}$  и оптимального коэффициента запаса  $K_3$ .

рассматривается один коэффициент запаса. По оси ординат отложены стоимости, а по оси абсцисс — значения коэффициента запаса. Оптимальные стоимость  $C^*$  и коэффициент запаса  $K_3^*$  соответствуют минимуму суммарной кривой  $C_{опт} = C_{из} + C_{прк}$ . При этом оптимальные приведённые затра-

ты  $C_{прк}$  определяются из соотношения (3), подставляя вместо  $K_3$  оптимальное значение коэффициента запаса  $K_3$  и количество задач, принимая  $K=1$ . Тогда оптимальная стоимость инженерно-геологических изысканий будет равна  $C_{из} - C_{опт} = C_{пр}$ .

Если будут рассматриваться два коэффициента запаса, то аналогичные графики следует строить при нескольких значениях второго коэффициента запаса и за оптимальную стоимость принимать ее наименьшее значение, а за коэффициенты запаса — их значения, соответствующие этой стоимости.

На рисунке показаны два случая: 1 — при размерах здания в плане  $72 \times 15 \text{ м} \times 1 \text{ м}$ ; 2 — при размерах  $36 \times 15 \text{ м} \times 1 \text{ м}$ . Из графиков видно, что в первом случае суммарная оптимальная стоимость  $C_{опт} = 1250$  руб., а во втором  $C_{опт} = 850$  руб. Тогда оптимальная стоимость изысканий в первом случае равна  $C_{из} = 400$  руб., во втором —  $C_{2из} = 330$  руб., а соответствующие значения коэффициентов запаса  $K_{1зап} = 1,25$ ,  $K_{2зап} = 1,30$ .

Таким образом, полученные результаты показывают, что предложенная методика учитывает размеры зданий, причем стоимость изысканий возрастает с их увеличением. При больших размерах сооружений не выгодно увеличение коэффициентов запаса и возрастает эффективность изысканий.

Небольшая стоимость изысканий в данном случае объясняется простотой инженерно-геологических условий возведения здания, необходимостью исследования только прочностных характеристик и ограничением расчета только по деформациям. При проектировании более ответственных объектов объем изысканий возрастает.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Авиром Л. С. Надежность конструкций сборных зданий и сооружений. — Л.: Стройиздат, 1971, 216 с.
2. Белый Л. Д. Основные вопросы теории и практики инженерной геологии в гидроэнергостроительстве. — М.: Госэнергоиздат, 1957, 176 с.
3. Бондарик Г. К. Основы теории изменчивости инженерно-геологических свойств горных пород. — М.: Недра, 1971, 272 с.
4. Бондарик Г. К., Комаров И. С., Ферронский В. И. Полевые методы инженерно-геологических исследований. — М.: Недра, 1967, 372 с.
5. Ермолаев В., Михеев В. В. Надежность оснований сооружений. — Л.: Стройиздат, 1976, 252 с.
6. Загиров Ш. Ш. К статистической теории опробования слонстых сред. — Тр. ПНИИСа, 1974, вып. 26, 47 с.

8. Загиров Ш. Ш., Рац М. В., Шейнин В. И. О шаге опробования для расчета усилий в фундаментной балке. — Инж. изыск. в стр.-ве. Серия II, реф. сб. ЦИНИС 2(36), 1975, 17 с.
7. Загиров Ш. Ш. К проблеме оптимизации инженерно-геологических изысканий. — Инженерная геология, 1983, № 6.
9. Коломенский Н. В. Инженерная геология. — М.: Госгеолгиздат, 1956, часть 2, 320 с.
10. Коломенский Н. В. Общая методика инженерно-геологических исследований. — М.: Недра, 1968, 342 с.
11. Комаров И. С. Накопление и обработка информации при инженерно-геологических исследованиях. — М.: Недра, 1972, 295 с.
12. Ломтадзе В. Д. Инженерная геология. Специальная инженерная геология. — Л.: Недра, 1979, 492 с.
13. Малков В. Г., Угодчиков А. Г. Оптимизация упругих систем. — М.: Наука, 1981, 286 с.
14. Маслов Н. Н. Прикладная механика грунтов. — М.: Машиностроиздат, 1949, 328 с.
15. Мироненко В. А., Шестаков В. М. Теория и методы интерпретации опытно-фильтрационных работ. — М.: Недра, 1978.
16. Огонченко В. П. Объем инженерно-геологического опробования при ограниченном рассеянии частных показателей свойств горных пород. — В сб.: Вопросы методики инженерно-геологических исследований, Томск, 1966, с. 44—49.
17. Попов И. В. Основы инженерно-геологического грунтоведения. — М.: 1941, 223 с.
18. Рац М. В. Структурные модели в инженерной геологии. — М.: Недра, 1973, 214 с.
19. Рац М. В. Принципы оптимизации инженерно-геологических изысканий. — Инженерная геология, 1980, № 3.
20. Ребрик Б. М. Бурение скважин при инженерно-геологических изысканиях. — М.: Недра, 1973, 259 с.
21. Ржаницын А. Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. — М.: Стройиздат, 1978, 239 с.
2. Саваренский Ф. П. — Инженерная геология. М.: ГОИТИ, 1939.
23. Сергеев Е. М. и др. Грунтоведение. /Под ред. Е. М. Сергеева. 4-е изд. — М.: Изд-во МГУ, 1973, 386 с.
24. СНиП 11-15-74 — Основания зданий и сооружений. Нормы проектирования. — М.: Стройиздат, 1975, 64 с.
25. СНиП 11-9-78. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. — М.: Стройиздат, 1978, 23 с.

Г. К. Керимов, К. К. Магомедов,  
А. В. Чесноков, И. К. Моллаев  
ИГ Даг. ФАН СССР, ДКГЭ, ДагПТИ,  
Объединение «Дагестанстройматериалы»

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДАГЕСТАНА

Основными направлениями экономического и социального развития СССР на 1981—1985 гг. и на период до 1990 г., утвержденными XXVI съездом КПСС, намечены огромные масштабы капитального строительства в районах РСФСР. В связи с этим в Дагестане предусматриваются опережающие темпы развития строительной индустрии и промышленности строительных материалов.

Общая потребность в строительных материалах резко увеличится и в связи с решением Продовольственной программы страны, где намечено осуществить широкое строительство объектов сельского хозяйства, пищевой промышленности и других отраслей агропромышленного комплекса, построить на селе десятки миллионов квадратных метров жилищ, расширить выпуск сборных железобетонных конструкций для мелiorативного строительства. Все это требует расширения местной базы строительных материалов.

Особенности геологического строения Дагестана, обуславливающиеся сложным и длительным его развитием, характеризуются широким развитием пород различного возраста, генезиса и степени метаморфизма. Все это дает основание считать нашу республику наиболее перспективным районом для создания мощной базы строительных материалов, способной обеспечить потребности не только всего Северного Кавказа, но и республик Поволжья и Средней Азии с их слабой минерально-сырьевой базой.

Степень обеспеченности республики нерудными материалами не одинакова и зависит от геологического строения того или иного района. Многие виды сырья — известняки-ракушечники, песчано-валунно-гравийные смеси, кварцевые пески, легкоплавкие глины обеспечивают нужды народного хозяйства на несколько десятилетий. Наряду с этим в Дагестане нередко ощущается недостаток в хороших бетонных и строительных песках, высокопрочном строительном и облицовочном

камне, светложгущихся, огнеупорных и бентонитовых глинах, гипсе, цементе и др., в связи с чем приходится ввозить это сырьё из соседних республик и областей.

В настоящее время большинство предприятий строительных материалов расположено в равнинной части республики. Однако, необходимость охраны природных ландшафтов, санитарных зон курортов, окружающей среды, охраны земель для нужд сельского хозяйства создают серьезные трудности для вовлечения ряда разведанных в этой части республики месторождений строительного сырья в промышленное освоение.

На балансе запасов полезных ископаемых Дагестана числятся 54 месторождения строительных материалов с суммарными запасами примерно 450,4 млн. м<sup>3</sup>, что вполне удовлетворяет потребность действующих предприятий в сырье. Однако существующий уровень производства строительных материалов удовлетворяет нужды лишь на 75%, заметно отстает от масштабов строительства и в какой-то мере сдерживает темпы его развития.

Сложившееся положение можно объяснить неудовлетворительным состоянием промышленного освоения сырьевой базы, низким уровнем вовлечения в сферу потребления выявленных минеральных ресурсов. Особенно низкий уровень освоения месторождений наблюдается в развивающихся районах прибрежного, северного и предгорного Дагестана, которые сейчас становятся центрами интенсивного хозяйственного освоения, крупного гидротехнического и промышленного строительства. Поэтому именно здесь испытывается наибольшая потребность в строительных материалах и изделиях из них.

Промышленность Дагестана испытывает большую потребность в стеновых материалах. Ежегодный дефицит в них составляет 60—70 млн. штук условного кирпича, который частично покрывается за счет ввоза из Краснодарского, Ставропольского краев, Ростовской и Астраханской областей, Азербайджанской и Армянской ССР.

Для устранения дефицита в стеновых материалах планируется ввод новых мощностей на Хасавюртовском и Таркинском кирпичных заводах, Буйнакском заводе силикатного кирпича мощностью 60 млн. штук в год и строящегося завода керамического гравия в г. Кизилюрте. Намечается строительство завода мощностью 60 млн. штук кирпича в год в г. Кизляре, увеличение мощностей по выпуску сборных железобетонных конструкций и домостроительных комбинатов Главдагестанводстроя, за счет реконструкции завода крупнопанельного домостроения Дагуправления в г. Дербенте, Махачкалинского домостроительного комбината и других предприятий стройиндустрии. В результате намеченных мероприятий про-

изводство нерудных материалов достигнет в 1985 г. 64 млн. куб. м, стеновых материалов — 213 млн. штук условного кирпича.

Возросшая потребность Дагестана в стеновых материалах требует изыскания новых возможностей для увеличения их выработки. В связи с этим особый интерес представляет добыча пиленого камня открытым способом. Основным поставщиком этого материала в настоящее время являются Первомайский, Цуршурский и Акушинский карьеры. Разведано и начато освоение Октябрьского участка известняков-ракушечников с запасами более 10 млн. м<sup>3</sup> камня. Однако разработка последнего сдерживается из-за ограниченности земельного отвода, т. к. он находится под виноградниками.

Более того, несмотря на своевременно оформленный горный отвод колхозом им. Жданова Дербентского района, на этом месторождении ведутся новые посадки виноградников. За истекшие 4 года с начала строительства карьера из 110 га выделено всего лишь 10 га земель.

Производству и применению пиленого камня в строительстве необходимо уделить большое внимание, т. к. это экономически выгодно. Сравнительные расчеты, произведенные Азербайджанским НИИСМ, показывают, что затраты на 1 квадратный метр наружной стены из железобетона составляют 15—16 рублей, а из камня — 10—11 рублей. Капиталовложения на организацию производства крупнопанельных конструкций составляют 15—16 рублей за квадратный метр (по наружным стенам, с учетом сырьевой базы), а на стены из пиленого камня 3—3,5 руб.

Блоки являются одним из наиболее эффективных стеновых материалов. Они дешевле кирпича более чем в 2 раза, затраты труда при кладке стен из этих блоков сокращаются не менее чем на 50 процентов по сравнению с затратами при кладке из рваного камня, а расходы вяжущих — почти на 70%. Замена ими кирпича, бетонных изделий и других стеновых материалов дает большую экономию цемента, извести, металла и топлива, расходуемых на их производство. Конечно, крупнопанельному домостроению принадлежит громадная роль. Но на его долю в нашей республике падает 20—25 процентов общего объема государственного и гражданского строительства, и потому камень стеновой из горных пород в строительстве должен занять достойное место. Пока же в республике в общем балансе стеновых материалов пиленый камень занимает всего лишь 10—12 процентов, в Азербайджане — 85—88%.

Все это говорит о том, что плановым и другим заинтересованным организациям и ведомствам республики необходимо проявить больше активности в создании на базе богатейших месторождений карбонатного сырья мощных механиз-

рованных межрайонных карьерных хозяйств по производству пиленого камня. Возможности для этого у нас имеются.

Не менее остро стоит вопрос с обеспечением нужд строек бытовым камнем и известью.

Несмотря на наличие в республике значительного количества [9] разведанных месторождений бытового камня с утвержденными запасами, большинство из них (Цмурчайское, Ванашимахинское, Аранинское, Левашинское и др.) имеют узкоместное значение, т. к. находятся в отдаленных горных районах. Потребности строек в настоящее время удовлетворяются в основном за счет эксплуатации Избербашского и Тарки-Тауского месторождений. Однако, остаток запасов Избербашского месторождения составляет всего лишь 200 тыс. м<sup>3</sup>, а эксплуатационные работы на Тарки-Тауском месторождении вскоре будут прекращены в связи с созданием зоны отдыха трудящихся.

Для обеспечения сырьем Махачкалинского комбината строительных материалов в настоящее время производится детальная разведка Эльдамского месторождения (в 2,5 км от с. Гелли) известняков для производства высококачественного бытового камня, щебня, извести и преципитата.

Серьезного внимания заслуживают вопросы расширения выпуска отделочных материалов из природного камня. Из-за необеспеченности Каспийского камнеобрабатывающего завода местным природным сырьем, мы вынуждены завозить сырье для производства облицовочных материалов из Грузии (мрамор, известняк, туф), Армении (туф, мрамор), Украины (габбро, граниты, известняк), с Урала (мрамор), Казахстана (известняк-ракушечник). Дальние перевозки повышают и без того высокую стоимость камня, препятствуют его широкому использованию.

С целью создания местной сырьевой базы у нас выявлен ряд месторождений и перспективных проявлений разнообразных по декоративным качествам мраморизованных известняков, конгломератовидных, брекчиевидных известняков, известняков-ракушечников и диабазовых порфиритов.

В настоящее время Каспийский камнеобрабатывающий завод использует пелитоморфные известняки Цуршурского месторождения пиленого камня и в небольшом количестве — мраморизованные известняки Родникового месторождения, на котором проводится детальная разведка.

— Переоценка на облицовочный камень запасов Цуршурского месторождения и завершение детальной разведки Родникового месторождения позволит полностью обеспечить завод местным сырьем. Работы предполагается завершить в 1983—1984 гг.

Из числа других видов горных пород, могущих служить облицовочным камнем, следует отметить валуны и глыбы

мраморизованных известняков долины р. Усухчай, находящиеся в благоприятных горнотехнических условиях. Валуны хорошо распиливаются, шлифуются и полируются. По красоте рисунка и сочетанию различных оттенков розовых цветов они не уступают розовым туфам Армении.

В Южном Дагестане значительным развитием пользуются изверженные породы, некоторые из которых представляют определенный интерес в качестве облицовочных камней. Среди упомянутых пород наибольшего внимания заслуживают диабазовые порфириты темного зеленовато-серого цвета, глыбы которых встречаются в долинах рр. Курдула и Хумаганц.

Базой для промышленности облицовочных материалов могут также служить широко распространенные в долинах крупных рек Дагестана валуно-гравийные отложения, которые в настоящее время оцениваются лишь как сырье для производства щебня. Как показали результаты лабораторных исследований и полужаводских испытаний, они являются качественным сырьем для производства декоративно-облицовочных плит.

В Дагестане отсутствуют цементные заводы, а также разведанное сырье для производства цемента. Потребность республики покрывается только за счет ввоза из других краев и областей, хотя условия создания цементной промышленности на базе высококачественного местного сырья весьма благоприятны. В связи с этим назрела необходимость строительства в нашей республике (Ленинском и Буйнакском районах) цементного завода. Исходным сырьем для производства цемента могут явиться маломagneзиальные известняки, мергели и глины, поскольку эти породы в благоприятном сочетании широко распространены в Предгорном и Нагорном Дагестане. Прогнозные запасы сырья составляют около 5000 млрд. тонн.

Одной из важных задач является обеспечение потребности строительных организаций республики качественными строительными и бетонными песками, т. к. почти все разведанные месторождения с запасами более 15 млн. м<sup>3</sup> песка находятся в прибрежной полосе Каспийского моря, которая объявлена курортной зоной. Из-за отказа в земельных отводах они не получили промышленного освоения.

В 1980 г. детально разведано Шуринское месторождение песков, которое и станет основным объектом добычи сырья на 11-ю пятилетку. Начата его эксплуатация. Продолжается разработка Каспийского и Каякентского месторождения песков, но в ближайшее время она будет полностью прекращена.

Одним из наиболее перспективных путей обеспечения республики строительными и бетонными песками является использование мелкой фракции (отсевов) песчано-гравийно-

галечниковой смеси (с предварительным обогащением), а также мелкой фракции при производстве щебня. Общий объем таких «отходов» составляют 30% от объема добываемого сырья. Сейчас Дагестанская комплексная геологическая экспедиция проводит изучение технологии использования таких отходов Темираульского месторождения песчано-гравийной смеси с применением мелких фракций — отходов обогащения морской ракушки Промыслового месторождения. Таким образом, северные районы Дагестана можно было бы обеспечить строительными песками (в случае положительного решения вопроса с технологией) за счет переработки отходов промышленности, сбрасываемых в настоящее время в отвал.

Аналогичным путем следует удовлетворить потребности в строительном песке и южных районов республики. Предварительными технологическими испытаниями отходов (естественных песков и высевок дробления гравия и щебня) производства Самурского месторождения песчано-валунно-гравийной смеси доказана возможность их использования в качестве мелкого заполнителя бетонов. Однако этот материал, составляющий 30% от общих запасов сырья, в настоящее время не используется. Преимущество этого песка перед морским состоит в том, что он не содержит в себе солей, вследствие чего бетон, приготовленный из него, отличается высоким качеством, стойкостью.

Серьезного внимания заслуживают вопросы обеспечения строек высококачественным щебнем. В целом по республике потребность в песчано-гравийной смеси, используемой для изготовления щебня и для мощения улиц, удовлетворяется. Однако большая часть гравия и щебня производится на участках с неразведанными запасами (Уллучайский, Акташский, ряд карьеров Гидроспецстроя на р. Сулак и др.). В то же время, действующие на крупных разведанных месторождениях заводы по изготовлению щебня не достигают своей проектной мощности (Чирюртовский Главнеруда МПСМ РСФСР производит 300 тыс. м<sup>3</sup> щебня в год при проектной мощности 1,2 млн. м<sup>3</sup>, Самурский «Дагестанколхозстроя» — 270 тыс. м<sup>3</sup> при проектной мощности 1,2 млн. м<sup>3</sup> и т. д.).

Для более полного удовлетворения спроса промышленности на щебень необходимо как увеличение мощности действующих предприятий, обеспеченных утвержденными запасами, так и доразведка некоторых эксплуатируемых, но не разведанных участков (Акташского, Уллучайского и др.).

Кроме названных, в Дагестане имеется ряд месторождений (Кака-озеньское, Избербашское, Эльдамское, Родниковое, Перевальное, Ванашамахинское и др.), известняки которых могут быть использованы для производства высококачественного щебня.

Территория Дагестанской АССР отличается высоко-

сейсмичностью. Следовательно, вес конструкции зданий и сооружений должен быть снижен. Это достигается за счет применения легких бетонов. В настоящее время применение легких бетонов в строительстве республики ограничено, что объясняется недостаточным развитием промышленности пористых заполнителей и низким качеством выпускаемой продукции — керамзита. Керамзит широко применяется и в сельском хозяйстве как субстрат для выращивания овощей в парниковых хозяйствах (культура гидропоники), а также в качестве легкого пористого материала для улучшения структуры почв. В связи с этим одной из важнейших и актуальных задач в области капитального строительства является увеличение производства керамзита и расширение сырьевой базы для его производства.

В Дагестане в настоящее время искусственные заполнители выпускает только Махачкалинский керамзитовый завод, сырьем для которого является Агачаульское месторождение глин. Фактическая мощность этого предприятия невелика — она не превышает 60 тыс. м<sup>3</sup>. Планируется строительство в г. Кизилюрте нового завода с производительностью 200 тыс. м<sup>3</sup> в год на базе разведанного месторождения с утвержденными запасами в количестве 3270 тыс. м<sup>3</sup>. Совсем не выпускается более доступный в сырьевом отношении аглопорит.

Учитывая то, что предприятий по выпуску пористых заполнителей в северных районах республики нет, необходимо строительство на базе Южно-Сухокумского месторождения суглинков завода по производству аглопорита как легкого заполнителя в бетоны.

Промышленность нашей республики, особенно силикатная, испытывает большие трудности в снабжении местных заводов качественными обогащенными песками в связи со значительным содержанием в песках вредных примесей (особенно окислов железа) и поставкой к местам потребления неоднородного и несоответствующего стандартам сырья. Разработка действующих в настоящее время месторождений (Карабудахкентское и Ачисинское) кварцевых песков становится нерентабельной из-за большого объема вскрышных работ. Да и производительность карьеров не обеспечивает растущую потребность промышленности в песках. Сейчас завершается строительство карьера и ГОКа на базе «Серного» месторождения, расположенного около ж.-д. ст. Темиргое. Утвержденных запасов высококачественных песков хватит на 50—55 лет, а фактически песка значительно больше. Мощность комбината составит один миллион 150 тыс. тонн песка в год, в том числе шестьсот тыс. тонн обогащенного.

После завершения строительства ГОКа, он станет одним из крупнейших в союзе. Продукция его сегодня необходима

не только стекольной промышленности Дагестана, но и родственными предприятиями всего Северного Кавказа и Закавказья. Комбинат будет поставлять потребителям сырье для производства оконного стекла, обычной посуды и хрусталя. Работа комбината принесет большой экономический выигрыш. Дело в том, что на многие заводы региона кварцевые пески завозятся из Куйбышевской области, Средней Азии, что, естественно, обходится дорого и загружает железную дорогу. С вводом в эксплуатацию ГОКа проблема обеспечения качественными песками будет решена.

XXVI съездом КПСС перед дорожниками поставлена конкретная задача: улучшить качество строительства, ремонта и содержания дорог. Это в полной мере относится и к соответствующим подразделениям ДАССР.

Основным сырьем для устройства оснований и покрытий дорог в настоящее время является щебень и высевка, получаемые из высокопрочной гравийной массы на щебеночных заводах, расположенных в долинах рр. Самур и Сулак. Не говоря уже о значительной дальности перевозки (чаще превышает 100 км) и сравнительно невысоком качестве щебня и особенно высевок (сказывается слабая техническая оснащенность карьеров), этих материалов явно недостаточно для постоянно растущих потребностей строительных и дорожно-строительных организаций.

Начиная с 1976 года ДСУ РПУ дорожного строительства и благоустройства, кафедра строительных материалов Дагестанского политехнического института и Отдел геологии и геохимии минерального сырья Института геологии Дагфилиала АН СССР проводят совместные теоретические, лабораторные и производственные исследования по определению наиболее целесообразных путей использования местных малопрочных известняков (в частности, Талгинского района) для дорожного строительства. В результате разработан новый способ гидрофобизации продуктов малопрочных известняков петролатумом, позволяющий в 2—3 раза уменьшить дробимость материала и увеличить его водостойкость. Тем самым доказана возможность использования малопрочных известняков для устройства дорожных оснований и приготовления плотных и пористых асфальтобетонных смесей, отвечающих требованиям стандарта.

Учитывая то, что петролатум — отход переработки нефти и его можно получить из Грозного, открывается возможность развивать производственную базу на основе местного сырья.

Новая технология не требует переоборудования заводов, достаточно установки дополнительной емкости с подогревом и петролатумопроводом; модифицированный щебень можно готовить в любую погоду, в том числе зимой и складировать. Нормативный расход битума при использовании пет-

ролатума уменьшился на 15—20 процентов. Для устройства дорожных одежд используются все фракции щебня и песка, получаемые при дроблении, то есть производство становится безотходным.

Хотелось бы поднять еще такой, на наш взгляд, важный вопрос. Составной частью плотного асфальтобетона, применяемого для верхних слоев дорожных покрытий, является минеральный порошок, в том числе активированный. Дорожные организации Дагестана практически не получают этот дефицитный фондируемый материал, что, естественно, отрицательно сказывается на качестве покрытий. Исследования показали принципиальную возможность получения на базе известняков Талгинского карьера активированных петролатумом минеральных порошков. Считаю, что пришло время рассмотреть вопрос о строительстве в Дагестане завода по производству минеральных порошков. Это существенно укрепит материальную базу дорожных организаций и повысит качество строительства.

Серьезного внимания заслуживает у нас вопрос обеспечения промышленности местными гипсами и доломитами, которые, несмотря на их огромные запасы и высокое качество, в настоящее время совершенно не используются.

Для рационального использования гипсов Дагестана назрела крайняя необходимость в создании на базе Архитского, Араканского и Карадахского (естественно, после проведения дополнительных геологоразведочных работ) месторождений предприятий и цехов по производству различных гипсобетонных строительных материалов, сухой штукатурки, формовочного и высокопрочного гипса, различных поделок и скульптурных работ, облицовочных плит и др. При этом необходимо заметить, что районы месторождения гипсов обладают значительными энергетическими и трудовыми ресурсами, топливом и технической водой, имеют благоприятные условия для разработки сырья и доставки готовой продукции к промышленным центрам — потребителям.

Гипс оказывает благотворное действие на физиологические свойства большинства почв. Особенно важное значение гипсование почв имеет для равнинной части Дагестана, где площадь солончаковых почв, нуждающихся в гипсовании, равна 192,9 тыс. га.

Разведанных месторождений доломитов в Дагестане нет. Потребность стекольного завода «Дагогни» удовлетворяется привозным доломитом из Северной Осетии. По качеству доломиты большинства месторождений Дагестана не уступают лучшим доломитам Кавказа и могут быть использованы для получения сернокислого и хлористого магния, в качестве добавки к тукам из аммиачной селитры в азотно-туковой промышленности, как сырье для стекольной и строительной

промышленности, а также для производства огнеупорных материалов и доломитовой муки для известкования почв.

Приведенные материалы о ресурсах строительных материалов показывают, что по разнообразию и размерам своих минеральных богатств Дагестан находится в числе наиболее богатых минеральным сырьем республик Северного Кавказа, причем выявленные запасы их позволяют осуществлять добычные работы в гораздо больших масштабах, нежели это наблюдается сейчас. Несмотря на это, в республике эти нерудные полезные ископаемые используются слабо, а строительные материалы большей частью завозятся из других областей (стеновые и облицовочные материалы, цемент, гипс, доломит и др.).

Необходимость расширения существующей минерально-сырьевой базы строительных материалов республики выдвигает в качестве первоочередной задачи комплексную оценку геологических, горнотехнических, экономических, технологических и некоторых других условий. Комплексное ведение работ поможет рациональному размещению предприятий строительной индустрии. Большое значение при решении этой проблемы имеет выяснение возможности использования горных пород, слагающих площади малоценных и бросовых земель.

Немаловажное значение имеет концентрация горнодобывающих предприятий республики в руках одного министерства или управления. Местничество приводит к тому, что каждое предприятие желает иметь собственное месторождение, собственный карьер, собственный завод и т. п. Такая практика ведет к значительным затратам на геологоразведочные работы, большому количеству месторождений, не вовлекаемых в эксплуатацию, кажущемуся дефициту сырья (для отдельных предприятий) при его фактическом избытке по республике в целом, встречным перевозкам и др.

Дальнейшее развитие производства и комплексного использования минеральных ресурсов Дагестана должно идти по линии организации крупных высокопроизводительных и высокомеханизированных карьеров районного или республиканского значения. При этом шире применять малооперационные и безотходные технологические процессы. Ведь по сей день еще, осваивая месторождения, зачастую, как говорится, «снимают сливки» — отбирают сырье побогаче и извлекают лишь тот минерал, который нужен для данной отрасли промышленности. А ведь в природе нет мономинерального сырья.

Вопросами рекультивации отработанных участков месторождений строительных материалов в республике занимаются слабо, что наносит большой ущерб государству. За последние 8 лет рекультивировано и возвращено постоянным земледель-

зователям по актам только 200 га, что составляет 60% от всех нарушенных земель. Вместе с тем, восстановление земель во многом сдерживается из-за отсутствия землеройной техники и автотранспорта. Вследствие этого систематически не выполняются запланированные объемы горно-подготовительных работ, что особенно характерно для карьеров камнепиления Дагестанского КСМ.

В нарушение ранее принятых постановлений Советом Министров ДАССР «Об упорядочении разработки Шамхальского песчано-гравийного месторождения» (от 4.06.1975, № 193) и «О дополнительных мерах по упорядочению добычи строительного песка» (от 24.09.1979 г.) отдельными строительными организациями продолжается бессистемная разработка и вывоз строительных песков с различных участков прибрежной полосы Каспийского моря (гг. Дербент, Избербаш, Каспийск) без какой-либо разрешительной и проектной документации (горные и земельные отводы, проекты рекультивации, разработки и др.), не ведутся рекультивации нарушенных земель, тем самым нарушается кодекс РСФСР о недрах, введенный с 1-го ноября 1976 г.

При наличии значительного количества горных разработок, в том числе с применением буровзрывных работ, не решен вопрос подготовки кадров — горных инженеров и техников со специальным образованием, в результате чего действующие карьеры не укомплектованы квалифицированными специалистами горного профиля.

Развитие карьерного хозяйства на уровне современной техники возможно лишь при наличии единой службы горного маркшейдерского надзора и оперативно-производственного плана обслуживания горных разработок, контроля за правильной эксплуатацией месторождений полезных ископаемых и охраной недр, что обеспечит наиболее полное извлечение запасов полезных ископаемых.

В неграмотной эксплуатации месторождений строительных материалов во многом повинны и территориальные отделы Госгортехнадзора СССР, которые неудовлетворительно осуществляют контроль за правильностью использования и эксплуатации земных недр. Работникам Госгортехнадзора следует выдавать разрешения на разработку месторождений только специализированным предприятиям, способным с достаточной эффективностью вести их эксплуатацию, а не тем, которые не имеют на это установленных законом прав.

Важнейшей предпосылкой к удешевлению строительства являются не только переустройство карьерного хозяйства, но также поиски, разведка и доразведка старых эксплуатируемых месторождений строительных материалов в целях выявления там новых запасов и разработки более глубокозалегающих горизонтов сырья.

В связи с низким качеством четвертичных глин, являющихся основным сырьем Таркинского и Хасавюртовского кирпичных заводов, производство красного кирпича и черепицы следует развивать на базе коренных пластичных глин Дагестана. Перевод кирпичных заводов на данный вид сырья сохранит сотни гектаров плодородных земель для выращивания винограда и других ценных культур в прибрежной области республики. Кроме того, глины могут найти широкое применение при изготовлении керамических изделий, пустотелого и лицевого кирпича, что подтверждено многочисленными лабораторно-технологическими исследованиями.

Таким образом, народнохозяйственное освоение минерально-сырьевой базы строительных материалов требует комплексного подхода, позволяющего своевременно учитывать влияние преодоления дефицита в одной отрасли на положение в другой, интенсификации добычи строительного сырья на состоянии земельных угодий, особенно в зоне орошения. Без учета указанных факторов не может быть решена проблема рационального использования природных, в том числе минеральных ресурсов.

В. В. Аксенов  
ДКГЭ

## СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАСШИРЕНИЯ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ПРИРОДНОГО ОБЛИЦОВОЧНОГО КАМНЯ В СВЯЗИ С РАЗВИТИЕМ СТРОИТЕЛЬСТВА В ДАГЕСТАНСКОЙ АССР

Огромные масштабы строительства, предусмотренные пятилетним планом развития народного хозяйства СССР на 1981—1985 гг. вызвали необходимость значительного роста промышленности строительных материалов, в том числе и облицовочных.

Многовековой опыт и практика мирового строительства показывают, что природный камень по декоративности, прочности и долговечности является одним из лучших видов строительных, архитектурных и отделочных материалов, а возрастающий уровень развития камнедобывающей и камнеобрабатывающей техники позволяет сделать его экономически высоко эффективным.

Дагестанская АССР до недавнего времени не имела собственных предприятий по производству облицовочных материалов и созданию их сырьевой базы не уделялось должного внимания.

По решению республиканских правительственных органов в 1973 году в г. Каспийске был построен камнеобрабатывающий завод производственного объединения «Дагестанстройматериалы», который с 1974 года начал выпускать продукцию — облицовочные плиты из природного камня.

Завод работал, в основном, на привозном сырье — мраморе Газганского и Бахмальского месторождений (Узбекистан), известняках-ракушечниках Жетыбайского месторождения (Казахстан), туфах Грузии и Армении, известняках и травертинах Азербайджана. В небольшом количестве использовались и местные материалы.

Проектная производительность Каспийского завода — 100 тыс. м<sup>2</sup> облицовочных плит в год. Потребные запасы сырья на амортизационный срок — 250 тыс. м<sup>3</sup>.

В связи с трудностью в обеспечении завода привозным сырьем, перед ДКГЭ была поставлена задача по созданию местной сырьевой базы и, начиная с 1974 года, экспедицией





Г. К. Керимов, Т. В. Левина, И. Л. Ревелис  
ИГ ДагФАН СССР, ДПТИ

### АЛЛЮВИЙ ГОРНЫХ РЕК И ОТХОДЫ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ДАГЕСТАНА КАК СЫРЬЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕКОРАТИВНО-ОБЛИЦОВОЧНЫХ ПЛИТ

Аллювиальные валунно-гравийные материалы горных рек и отходы местных заводов и карьеров являются ценным полезным ископаемым для промышленности строительных материалов. Они широко распространены в долинах рр. Андийского и Казикумухского Койсу, Сулака, Самура, Усучая, Чирахчая и на территории Дербентского, Леваншинского и Каспийского камнеобрабатывающих предприятий. Однако это ценное сырье в республике пока используется не полностью.

Одним из путей утилизации карьерных и заводских отходов при добыче и обработке природного камня является изготовление из них декоративно-облицовочных плит.

Экономически выгодной технологией изготовления декоративно-облицовочных плит на основе отходов производства является [2]. Наряду с достоинствами (высокая механизация работ, хорошее качество поверхности плит, возможность полной утилизации отходов), она имеет существенные недостатки.

Прежде всего, плиты, получаемые после разрезки заготовок, получают хрупкими, вследствие уменьшения площади поверхности сцепления заполнителя с цементом, что не позволяет производить распиловку на тонкие плиты с применением современного многодискового распиловочного оборудования.

Вторым недостатком является значительная неравная прочность камнебетонного блока (куски заполнителя, например, мрамор, имеют прочность 800—900 кг/см<sup>2</sup>, а цементный камень — 300—400 кг/см<sup>2</sup>). Это обстоятельство приводит к преждевременному износу камнерезного оборудования. К недостаткам следует отнести также необходимость использования только высокомарочных цементов (Марка «500» и более), имеющих серую окраску. Цветные цементы, выпускаемые в настоящее время промышленностью, как известно,

низкомарочные. Этим самым ограничиваются возможности улучшения декоративности изготовленных плит.

Для упрочения зоны контакта предложен способ предварительной обработки заполнителя раствором мылонафта, хлористого кальция и цементного клея [4]. При этом адгезия значительно улучшается, однако остальные недостатки не устраняются.

Авторами разработан новый способ изготовления декоративно-облицовочных плит. Суть новой технологии заключается в том, что минеральный заполнитель предварительно обрабатывается полимерным составом, затем смешивается с отдельно приготовленным цементным тестом. Полученной смесью заливаются крупные куски заполнителя с одновременным вибрированием или крупные куски мраморного заполнителя втапливаются в полимерцементную смесь. После отверждения блок распиливается на плиты нужных размеров.

Опыт показал, что часть полимерного состава распределяется в цементном растворе, в связи с чем значительно увеличивается прочность как зоны контакта, так и цементного камня. Кроме того, предлагаемая технология дает возможность широко использовать цветные цементы и различные пигменты, вводимые в полимерную смесь.

Технологический процесс следующий. Подбирают состав плотного камнебетона методом прерывистой гранулометрии. Крупные отходы камнеобработки (или карьерные) сортируются по цвету и размерам. Максимальный размер кусков зависит от размеров формы. Нами использовались куски мрамора фракции 100—300 мм и мраморный заполнитель следующего зернового состава (табл. 1).

Таблица 1.

Размер фракций, мм	0,25	0,25—	0,5—	1,0—	2,0—	3,0—	5,0—
		0,5	1,0	2,0	3,0	5,0	50,0
Процентное содержание	16,6	9,0	5,2	3,6	4,2	4,2	51,6

Мелкий заполнитель промывают, высушивают и обрабатывают полимерным составом, содержащим (в. ч.):

смола ЭД-20	— 100
дибутилфталат	— 16—18
ацетон	— 8—10
полиэтиленполиамин	— 18
пигмент (при необходимости)	— 1—6

Состав готовят путем перемешивания всех компонентов до получения однородной смеси. Полиэтиленполиамин вво-

дится непосредственно перед использованием состава (часть его растворяется в водной составляющей цементного теста). Температура смеси должна быть не ниже 20°С (желательно 50—60°С). Перемешивание производят вручную или в медленно вращающихся мешалках со съемными лопастями или бачками (например, тестомешалками типа ВМ-2 или ВМ-35, выпускаемые Киевским механическим заводом).

Обработку мраморного заполнителя производят путем тщательного перемешивания до покрытия полимерной пленкой всей поверхности мрамора. Затем в полимерминеральную смесь вводят приготовленный цементный раствор, имеющий водоцементное отношение  $B/C = 0,30 - 0,35$ , и перемешивают до получения однородной массы.

Формовку блоков осуществляют в смазанных антиадгезионным составом виброформах (или в обычных формах с применением вибраторов). Процесс формовки проводят одним из двух способов. В первом случае форму заполняют примерно на  $1/3$  часть полимерцементноминеральной смесью, в которую утапливают с помощью вибрирования крупные куски.

Затем процесс повторяют до заполнения формы. Во втором случае куски укладывают слоем в форму, заливают полимерцементноминеральной смесью (с вибрированием), опять укладывают куски и т. д. до окончательного заполнения формы. Время формования одного блока не должно превышать сроков схватывания полимерной составляющей (2—4 часа при температуре 15—20°С). Термообработку изготовленных блоков производят по следующему режиму: подъем температуры до 80°С — 2 часа, выдержка при температуре 80—100°С — 7 часов, естественное охлаждение 2—3 часа. Распиловку блоков производят на многодисковых станках. Толщину плит по условию прочности принимают равной 16—20 мм, а в случае технологической необходимости или по заданию потребителей может быть увеличена до 30 мм.

Технология опробовалась на Каспийском камнеобрабатывающем заводе. Изготавливались блоки размером 400×600×800 мм, с последующей распиловкой на плиты, размерами 400×400; 400×200 и 200×200 мм, толщиной 20—30 мм. Полученные плиты обладали следующими физико-механическими показателями:  $R_{сж} - 620$  МПа; истираемость — 0,4 г/см<sup>2</sup>; водопоглощение — 2,2%. Экономический эффект, полученный только за счет уменьшения толщины плит, составил 140 руб. на 100 м<sup>2</sup> плит.

Авторами доказана возможность и высокая экономическая эффективность использования валунно-гравийного материала Усухчайского месторождения в качестве сырья для изготовления декоративно-лицевочных плит [3]. Валунно-гравийный материал широко распространен в долине р. Чехы

чай и может легко извлекаться из русла и поймы при их расчистке и углублении. Мощность аллювиальных отложений, состоящих преимущественно из глыб мраморизованных известняков угловато-окатанной и полуокатанной формы, колеблется от 10 до 30 м. Отдельные валуны и глыбы достигают 1,5×2×3 м и более, но основная масса их имеет размеры от 0,5×0,5×1 до 1,0×1,5×1,8 м. Объем глыб достигает 30 м<sup>3</sup>. По физико-механическим показателям породы соответствуют требованиям ГОСТа 9479-76, хорошо полируются. Прогнозные запасы блочного камня в глыбах оценены в 140 тыс. м<sup>3</sup> [1].

Изучение валунно-гравийных отложений с целью возможности использования их для изготовления декоративно-лицевочных плит выполнено нами по следующей схеме:

1. Крупные валуны, размером более 800 мм в поперечнике разрезаются на плиты обычным способом. Отходы от распиловки и остальной материал сортируют на фракции более 400, 50—400 и менее 50 мм. Куски размером более 400 мм подвергаются дроблению и вновь сортируются. Весь материал промывается и сушится. Из щебня и песка, образующихся при дроблении, подбирается плотная бетонная смесь с наибольшей крупностью заполнителя в 50 мм.

2. Формование и укладка в форму бетонной смеси (с размерами зерен не более 50 мм) и валунно-гравийного материала размером 50—400 мм с одновременным уплотнением вибрированием (крупные включения желательно утапливать в бетонную смесь). При этом способе формования около 40% объема получаемого конгломерата состоит из валунного камня, образующего непрерывный каркас формируемого блока. Марка цемента должна быть не ниже «400».

Результаты заводских испытаний опытной партии декоративно-лицевочных плит позволяют заключить, что на базе гравийно-галечниковых отложений крупных рек Дагестана с успехом можно организовать производство высококачественных облицовочных и отделочных материалов. Полученные плиты хорошо поддавались шлифовке и полировке, обладали высокими декоративными качествами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Батыров Б. А., Кияшко С. С., Магомедов К. К. Сырьевая база природного облицовочного камня Дагестанской АССР и перспективы ее расширения. — Тез. док. V конф. по геол. и полезн. ископ. Северного Кавказа. Ессентуки, 1980, т. 2, с. 373—376.

2. Вартамян Н. А. Декоративные бетонные плиты как отделочный материал. — Тр. НИИКС, Ереван, 1974, вып. 7.
3. Керимов Г. К., Левина Т. В., Ревелис И. Л. Декоративно-облицовочные плиты на основе валунно-гравийного материала Дагестана. — Тр. ИГ Даг. ФАН СССР, 1979, вып. 3(22), с. 125—128.
4. Соколов Д. К., Епишин В. Ф. Авторское свидетельство, № 444755, 1974.

А. И. Ибрагимов, И. А. Алиев,  
М. М. Сайпутдинов  
ДагЭНИН, ДагПТИ

## ВЛИЯНИЕ КРУПНОСТИ ЗАПОЛНИТЕЛЯ НА СВОЙСТВА ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО БЕТОНА

Среди большого числа факторов, влияющих на качество гидротехнического бетона, значительную роль играет наибольшая крупность заполнителя [1, 2, 3].

Увеличение максимального диаметра крупного заполнителя дает возможность уменьшить расход цемента и воды в бетоне, снизить тепловыделение и объемные деформации от укладки, а также увеличить его среднюю плотность. Однако, увеличение крупности заполнителя влечет за собой расслаиваемость бетонной смеси при ее транспортировке и укладке, повышает износ бетоноукладчика, затрудняет процесс уплотнения и получения однородной структуры. Кроме того, способствует снижению трещиностойкости бетона и увеличению концентрации напряжения [1, 2].

Правильная оценка влияния предельной крупности заполнителей имеет большое значение в плотностроении.

Как отмечено в [3] повышение предельной крупности заполнителя более 150 мм является малоэффективным. Правильность этого вывода подтвердилась при выполнении бетонных работ на строительстве арочной плотины Чиркейской ГЭС, где наблюдалась высокая расслаиваемость бетонной смеси при использовании фракций более 80 мм, особенно в звене транспортировки кабель-краном в бадье объемом 8 м<sup>3</sup> и в момент разгрузки.

В связи с этим была поставлена задача исследовать влияние предельной крупности заполнителя на состав и свойства гидротехнического бетона, с целью оперативной корректировки составов бетонной смеси.

Для этого использовалась бетонная смесь с различным В/Ц на портландцементе М-400. В качестве заполнителей использовали песок из аллювиальных отложений бассейна р. Сулак с модулем крупности 2,35 и гравий с наибольшей крупностью до 120 мм.

Приготовление бетонной смеси с осадкой стандартного

Состав и свойства бетона

В/Ц	Средняя плотность смеси, кг/см <sup>3</sup>	Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> бетона, кг			Прочность при сжатии, МПа	Прочн. при раскалыван., МПа	Модуль упругости, (μ × 10 <sup>3</sup> )	Пределная растяжимость (ε × 10 <sup>-5</sup> )
		Ц	П	Г				
0,68	2411	200	602	1173	18,7	1,5	28,2	6,5
	2428	180	574	1552	18,8	1,4	30,0	6,0
0,56	2413	240	591	1447	22,0	2,0	30,8	6,8
	2430	217	565	1528	23,0	1,8	33,1	5,7
0,48	2413	280	591	1447	26,3	2,2	31,6	8,0
	2429	250	556	1503	27,2	2,0	35,0	7,8
0,44	2412	320	566	1385	27,5	2,3	33,0	9,7
	2431	292	543	1468	28,4	2,2	35,1	9,0
0,40	2415	360	554	1357	30,3	2,9	36,4	10,4
	2432	330	532	1438	33,1	2,9	40,5	8,1

Примечание: над чертой — предельная крупность гравля 40 мм, а под — 80 мм.

конуса 2—4 см производили в лабораторной бетономешалке. С целью снижения начального водосодержания в бетонную смесь вводили пластифицирующую добавку ССБ в количестве 0,2% от массы цемента.

Для определения прочности при сжатии из бетонной смеси изготавливали образцы — кубики размерами ребер 20 см, а прочности при растяжении — путем раскалывания цилиндров диаметром и высотой 15 см. Деформативные характеристики бетона определяли согласно методике [4].

Исследования показали, что при увеличении предельной крупности заполнителя более 80 мм наблюдается расслаиваемость бетонной смеси и снижение прочностных характеристик бетона.

Результаты исследования влияния предельной крупности заполнителя на свойства бетона, приведены в табл. 1.

Анализ полученных результатов показывает, что увеличение предельной крупности заполнителя до 80 мм сопровождается повышением прочности бетона при сжатии, раскалывании и модуля упругости, а также снижением предельной растяжимости. Причем, количественные показатели этих свойств определяются не только крупностью заполнителя, но и В/Ц. Так, если изменение предельной крупности заполнителя от 40 до 80 мм при В/Ц более 0,44 оказывает незначительное влияние на прочностные и деформативные свойства бетона, то при В/Ц=0,40 прочность при сжатии увеличивается на 8%, модуль упругости — 11%, а предельная растяжимость уменьшается на 28% и позволяет экономить расход цемента на 10—12%.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шаркунов С. В. Исследование некоторых свойств гидротехнического бетона в зависимости от максимального размера крупного заполнителя. — В сб.: Тр. координационного совещания по гидротехнике. — Л.: Энергия, 1971, вып. 60, 141—144 с.
2. Хиггинсон Э., Уалас Дж., Ор Э. Влияние размера максимальной фракции заполнителя на прочность бетона. — Гражданское строительство, 1963, № 11.
3. Стольников В. В. Проектирование и строительство больших плотин. — М.-Л.: Энергия, 1966, вып. 2, 135 с.
4. Шаркунов С. В. Определение деформативных характеристик бетона производственного состава. — В сб.: Тр. координационного совещания по гидротехнике, — Л.: Энергия, 1969, вып. 45, 47—57 с.

А. М. Ибрагимов  
ДагЭНИИ

## ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОДУКТОВ ДРОБЛЕНИЯ

В гидротехническом строительстве обычно предпочтение отдают местным заполнителям из изверженных пород и песчаникам из цементированных пород. Однако, такая возможность не всегда представляется в районах строительства из-за отсутствия соответствующего заполнителя. Поэтому в ряде случаев возникает вопрос об использовании бетонов на дроблениях карбонатных заполнителей. Именно такая необходимость появляется при строительстве каскада ГЭС в бассейне р. Сулака и на его притоках.

Для большинства месторождений карбонатные породы характеризуются значительным колебанием физико-механических свойств, основные показатели которых находятся в пределах: плотность  $2,0-2,8 \text{ г/см}^3$ ; объемная масса  $1,9-2,75\% \text{ г/см}^3$ ; пористость  $0,5-35\%$ ; водопоглощение  $1,5-2,3\%$ ; предел прочности при сжатии в сухом состоянии  $10-270 \text{ МПа}$  [1, 2].

Исследованиями охвачены породы различных месторождений, причем, большинство исследователей группирует их по прочности, объемной массе и пористости и лишь немногие дают петрографическую характеристику исследуемых пород.

В связи с разнообразием карбонатных месторождений, типизация систем их разработки также, как и технология переработки и обогащения заполнителей, могут быть осуществлены лишь на основе классификации этих месторождений подразделением их на структурные группы по результатам минералого-петрографического анализа, а также по основным физико-механическим свойствам, химическому составу и однородности.

Как известно, карбонатные породы по своей природе очень пестрый материал, и поэтому нельзя проводить механический перенос свойств каких-либо изученных известняков на известняки Дагестана.

Примером этому могут служить разноречивые мнения об использовании известняков даже одной и той же афанитовой

структуры в качестве заполнителей гидротехнического бетона [2—4].

В этой связи, как нам кажется, установление влияния структуры плотных разновидностей карбонатных пород на качество и характер продуктов дробления представляет определенный научный и производственный интерес.

Произведенный автором анализ результатов минералого-петрографических исследований плотных (с объемной массой  $\geq 2,55 \text{ г/см}^3$ ) и прочных ( $R_{сж} \geq 100 \text{ МПа}$ ) карбонатных пород месторождений Куйбышевской (Западно-Сопское, Яблоневяное), Саратовской (Березовское), Ростовской (Жирновское) областей и 10 месторождений ДАССР показал, что эти породы по структуре и размеру зёрен можно разбить на четыре группы: I — сферолитовая пелитоморфная; пелитоморфная; II — тонкозернистая; тонкозернистая, участками пелитоморфная; III — среднезернистая; IV — органогенно-обломочная, оолитовая (с разнозернистым кальцитом). Их значения изменяются в пределах: плотность —  $2,66-2,80 \text{ г/см}^3$ ; объемная масса —  $2,59-2,69 \text{ г/см}^3$ ; пористость —  $0,74-4,39\%$ ; водопоглощение (весовое) —  $0,21-2,48\%$ ; предел прочности: при сжатии в сухом состоянии —  $131,5-178,0 \text{ МПа}$ , в водонасыщенном —  $111,5-163,0 \text{ МПа}$ , при растяжении испытанием цилиндров на раскалывание —  $10,0-15,7 \text{ МПа}$ ; коэффициент размягчения —  $0,70-0,90$ ; модуль упругости: статический —  $81500-112200 \text{ МПа}$ , динамический —  $85300-118700 \text{ МПа}$ ; коэффициент Пуассона —  $0,20-0,31$ ; температуропроводность —  $0,0020$ .

Систематизация физико-механических и теплофизических свойств, а также химического состава и коэффициентов вариации этих показателей (табл. 1) по структурным группам дают право считать, что изучаемые породы относятся к плотным и прочным разновидностям, имеют удовлетворительную однородность. Размах колебаний этих показателей и отдельных химических компонентов внутри структурных групп пород всего бассейна не превышает этих характеристик между отдельными месторождениями.

В настоящее время накоплен большой материал экспериментальных и теоретических исследований по дроблению различных горных пород при различном приложении механических сил. Процесс массового дробления карбонатных пород достаточно полно освещен [2]. Важнейшим свойством пород при производстве щебня является механическая прочность и все технологические расчеты осуществляются по параметрам прочности. Обосновывая необходимость использования карбонатных заполнителей в бетоне с учетом их структурно-петрографических особенностей, автор поставил перед собой задачу установить влияние структуры пород (при прочих равных условиях) на характер и качество продуктов дробления.

Колебание значений коэффициентов вариаций для основных показателей карбонатных пород месторождений (бассейна р. Сулака)

Таблица 1

Показатели	Коэффициенты вариаций в % по структурным группам пород			
	I	II	III	IV
Объемная масса (ц/л.)	9,74—14,84	0,30—3,75	1,10—1,65	0,54—1,56
Пористость	17,31—34,19	17,53—28,71	35,12—44,07	35,19—49,01
Весовое водопоглощение (ц/л.)	18,50—26,63	10,11—12,11	14,03—24,48	20,17—19,50
Предел прочности при сжатии	17,3—21,94	13,4—17,14	17,3—17,65	9,16—16,62
Скорость прохождения ультразвука	2,79—5,74	1,35—3,46	1,86—5,06	2,56—10,9
Динамический модуль упругости	3,45—9,23	9,3—12,2	6,4—7,44	5,3—27,4

С этой целью дроблению подвергались породы всех четырех структурных групп в производственных или близких к ним условиях. Изучение их дробимости показало, что каждая структурная разновидность пород при дроблении на щебень и песок дает характерный откол, присущий только для своей структурной разновидности.

Породы I и II группы крепки, труднообрабатываемы; некоторые разновидности (верхний мел) их песчанисты с непостоянным составом, хорошо шлифуются, при дроблении дают зерна гладкой неразвитой поверхности. Породы III и IV группы — однородны, довольно крепки и плотны, легко поддаются обработке и при дроблении дают развитую, шероховатую поверхность, благоприятную для сцепления с вяжущим.

Изучая технологические характеристики дробилок, И. Б. Шлаин и др. [2] указывают, что количество лещадных зерен в готовом щебне содержится в пределах от 23 до 40% — для конусных дробилок и от 12 до 20% — для роторных дробилок (в зависимости от прочности и однородности). Породы I—II группы дают 25—55% лещадных зерен, а породы III—IV группы соответственно 8—30% (в зависимости от фракционного состава). Причем, породы I—II групп из-за специфических структурных особенностей (хрупкость и другие) дают на конусных и щековых дробилках относительно большее, чем на дробилках ударного действия, количество лещадных зерен (табл. 2).

Таблица 2

Тип дробилки	Осредненное содержание лещадных зерен в дробленном продукте в % для пород различных структурных групп по фракциям, мм							
	I		II		III		IV	
	5—20	20—40	5—20	20—40	5—20	20—40	5—20	20—40
Роторная (СМД-75)	55	35	28	25	16	14	10	8
Конусная (КМД)	55	42	32	27	18	16	12	10
Щековая (ЩС-80)	60	55	35	30	22	18	15	14

Зависимость качества продуктов дробления (выраженное через лещадность зерен) пород различной структуры на щебень графически изображена на рис. 1 и ориентировочно выражается эмпирической зависимостью:

$$П = K(1 - \lg \alpha), \quad (1)$$

где  $П$  — количество лещадных (игл.) зерен, %;  $\alpha$  — преобладающий размер структурообразующих зерен, мм;  $K$  — эмпирический коэффициент, зависящий от типа дробилок.

( $K=10$  для дробилок ударного действия и  $K=15$  — для щековых дробилок),  $K$  — для конусных дробилок занимает промежуточное положение. Указанная зависимость справедлива для пород с интервалом структурообразующих зерен от 0,001 мм до 1—2 мм, т. е. для всех практически встречаемых в бассейне р. Сулак.

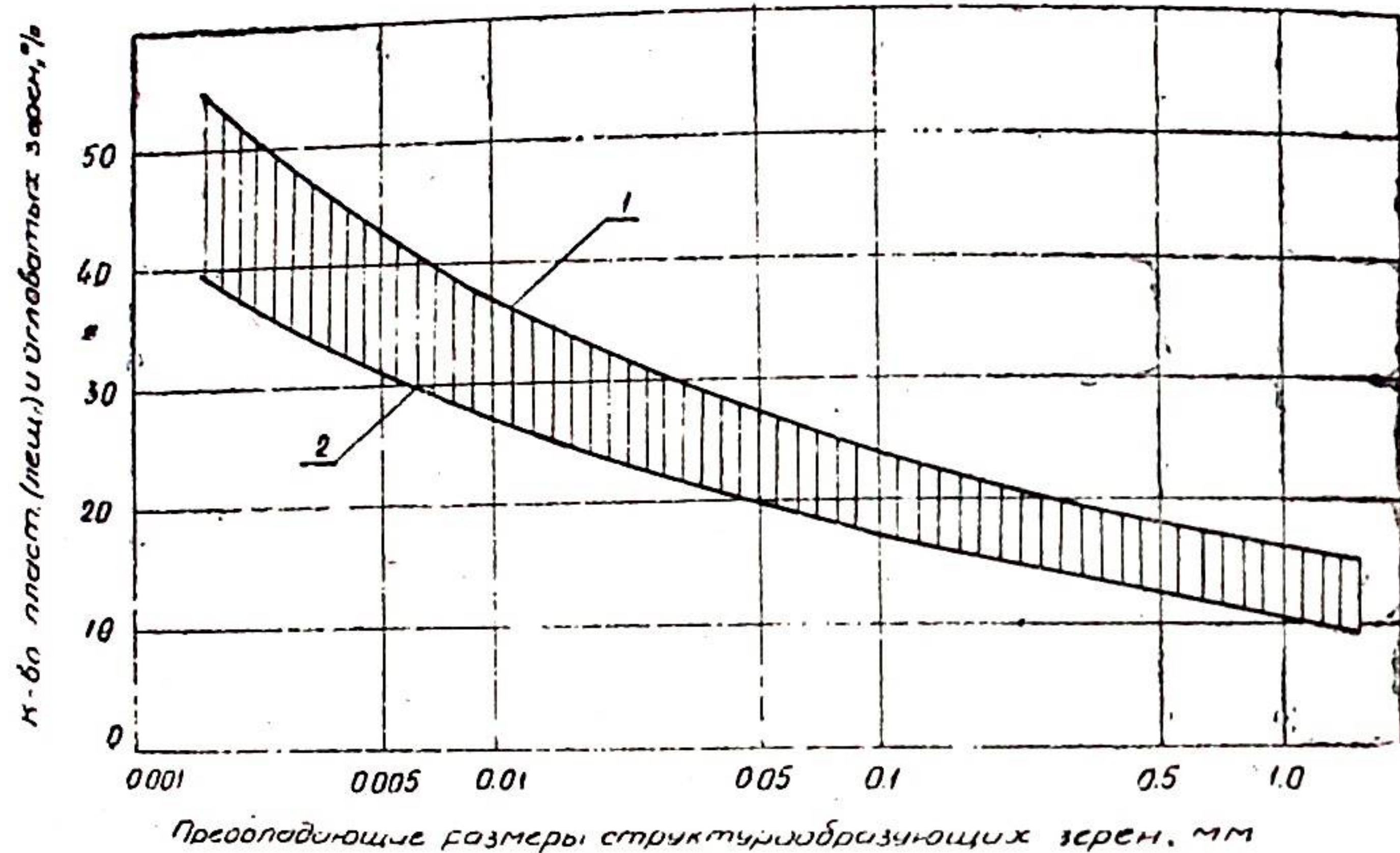


Рис. 1. Зависимость качества дробления карбонатных пород различной структуры от типа дробления

1 — дробилка роторная (СМД-75), 2 — дробилка щековая (СШ-80)

Это обстоятельство имеет большое значение при выборе технологического оборудования дробления и его привязке к месторождениям пород. Обычная же практика состоит в заказе и установке дробильных установок, не считаясь ни с видом породы, ни с ее свойствами при дроблении [5]. А это приводит к неоправданному появлению лещадных и игловатых зерен в щебне, и, как следствие, к снижению качества бетона или увеличению расхода цемента.

## ВЫВОДЫ

1. Установлена связь технологических характеристик продуктов дробления со структурными особенностями карбонатных пород. в отличие от существующих способов их оценки

по прочности, однородности и величине приложенной механической силы.

2. Получена зависимость, связывающая количество лещадных и игловатых зерен в готовом продукте дробления от размеров кристаллов, слагающих породу с учетом типа дробилок, что позволяет выбрать оптимальное технологическое оборудование для дробления и обогащения заполнителей, обеспечивает снижение расхода цемента и повышение качества бетона.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Маилян Р. И. Бетон на карбонатных заполнителях. — Изд-во РГУ, 1967.
2. Шлаин И. Б., Родин Р. А., Нисневич М. Л., Гейман Л. М., Олюнин В. В. Производство щебня из карбонатных пород. — М.: Стройиздат, 1971.
3. Гордеев А. А., Афонина В. Д. Использование карбонатных заполнителей в бетонах. — Тр. Гидропроекта, М., 1972, сб., 24.
4. Кудояров Л. И., Миронов М. И. Монолитный бетон Саратовской ГЭС. — М., 1972.
5. Стольников В. В. Материалы для гидротехнического бетона и требования к ним. — Тр. координационного совещания по гидротехнике, Л., 1971, вып. 60.

Б. Д. Тагиров  
ДКГЭ

## СОВРЕМЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ГОРНОМ ДАГЕСТАНЕ И УСЛОВИЯ ИХ РАЗВИТИЯ

Значительная часть территории Дагестана занята складчатыми горными хребтами и поднятиями, имеющими направление с северо-запада на юго-восток и входящими в систему большого Кавказа.

Горный Дагестан поражает своей грандиозностью и сложностью орографии, бесчисленным множеством гигантских скалистых хребтов, неприступных вершин, глубоких ущелий, на дне которых несут свои стремительные воды горные реки.

По сложности и разнообразию инженерно-геологических условий трудно найти на Северном Кавказе аналог Горному Дагестану.

Сложность инженерно-геологических условий обуславливается прежде всего широким развитием экзогенных геологических и сеймотектонических процессов. Оползневые и обвально-осыпные процессы развиты на огромной территории крупных хребтов (Андийского, Сала-Тау, Леса, Гимринского, Кара-Сырта и др.). Почти все реки и их притоки, а также большинство временных водотоков являются селеносными. Экзогенные геологические процессы, такие как оползни, обвалы, осыпи, камнепады, сели, лавины и др. ежегодно причиняют огромный ущерб народному хозяйству республики: разрушают жилые, общественные и производственные строения, дороги, мосты, ЛЭП, телефонные и телеграфные линии, превращают ценные сельскохозяйственные площади в непригодные земли.

Многообразие современных геологических процессов в Горном Дагестане обусловлено разнообразием природных условий. Характер, интенсивность и активность проявления экзогенных геологических процессов зависят от геологического строения, рельефа, климатических условий, интенсивности и контрастности тектонических движений. Существенное влия-

ние на активизацию экзогенных геологических процессов оказывает хозяйственная деятельность человека.

На склоне Беловецкой горки в г. Буйнакске в результате оползневых подвижек развалились или находятся в аварийном состоянии более 150 домов частного сектора и комплекс детского дома. Обследованием были установлены следующие причины проявления оползневых подвижек:

1) планировка склона с подрезкой при строительстве домов и прокладке дорог и водопроводно-канализационных коммуникаций;

2) геолого-геоморфологические условия склона — наличие чокракских глин, перекрытых небольшой мощности (3—5 м) современными отложениями, представленными суглинисто-щебенистым материалом с высокими фильтрационными свойствами;

3) инфильтрация атмосферных осадков, бытовых стоков и утечек через толщу суглинисто-щебенистых грунтов и их попадание в контакт с чокракскими глинами. Осадки 1981—82 гг. значительно превышали нормы, характерные для этого района;

4) утечка воды из канализационно-водопроводных труб. По ряду улиц водопроводная линия проложена из асбестоцементных труб без герметичной их стыковки.

Аналогичное проявление оползневых подвижек с разрушительными последствиями отмечено в с. Дылым Казбековского района, в поселке Кяхулай на территории г. Махачкала и ряде других мест.

Обычно при проектировании зданий и сооружений проводят инженерно-геологические изыскания. Как правило, часто эти изыскания ограничиваются изучением инженерно-геологических условий только площадки строительства и объект может оказаться в зоне влияния такого процесса как сели, очаги зарождения которого находятся за десятки километров от строящегося объекта.

Горный Дагестан характеризуется не только широким развитием экзогенных геологических процессов, но и большой активностью эндогенных процессов. За неотектоническую эпоху этот район испытал поднятия, которые продолжаются и в настоящее время. Наибольшая интенсивность их наблюдается в пределах Главного Кавказского хребта, а наибольшая контрастность приурочена к крупным тектоническим разрывам.

Об активных проявлениях неотектонических движений свидетельствует сейсмическая активность, выражающаяся в частых землетрясениях, которые нередко достигают большой силы (до 8 баллов). Большие поверхностные деформации в виде оползней и обвалов были отмечены после землетрясений 14 мая 1970 г. и 9 января 1975 г. Приуроченность участков

проявления экзогенных геологических процессов к эпицентральным зонам землетрясений была отмечена при сопоставлении карт интенсивности проявления процессов, составленной Дагестанской геологоразведочной экспедицией и эпицентров крупных землетрясений с радиусами влияния, составленной Дагестанским филиалом АН СССР.

Ниже приводятся некоторые основные условия формирования и развития экзогенных геологических процессов.

**К л и м а т.** Климат является одним из существенных факторов, порождающих экзогенные геологические процессы. В соответствии с имеющимися данными климат Горного Дагестана на возвышенных местах может быть охарактеризован как умеренно холодный, полувлажный. В горных долинах климат умеренный, полусухой со сравнительно жарким летом и мягкой солнечной зимой. Годовые амплитуды температуры с поднятием вверх уменьшаются. Начиная с высоты более 1000 м над уровнем моря среднемесячные температуры января колеблются от  $-4^{\circ}$  до  $-7^{\circ}$  С, а среднемесячные температуры июля составляют  $16-18^{\circ}$  С, несколько повышаясь в юго-восточной части. В Горном Дагестане отмечается резкое изменение температуры на протяжении суток. Суточные колебания температуры объясняются высокой интенсивностью солнечной радиации днем и повышенным тепловым излучением поверхности земли ночью.

Количество выпадающих осадков в Горном Дагестане изменяется в зависимости от высоты над уровнем моря: чем выше над уровнем моря, тем больше осадков. Среднегодовое количество осадков в высокогорной зоне превышает 800 мм, а в некоторых местах на юго-западе — 1000 мм. Максимум осадков приходится на начало лета, май и июнь. Так, в результате колебаний температуры и попеременного увлажнения активизируется процесс выветривания горных пород на обнаженных склонах. Ливневый характер выпадающих осадков ведет к усилению смыва продуктов выветривания и обуславливает возникновение ливневых паводков в реках, в результате которых резко возрастает донная и боковая эрозия. Наконец, климатические условия влияют на режим грунтовых вод, на характер и развитие растительности и на другие факторы, прямо воздействующие на образование оползней.

**Геологическое строение.** В геологическом строении Горного Дагестана принимают участие отложения мелового и юрского возрастов, среди которых выделяются:

а) плотные белые и розовые верхнемеловые известняки мощностью около 500—600 м;

б) рыхлые бурые и серые песчаники, глины и мергели нижнего мела мощностью около 200 м;

в) очень плотные коричневые известняки и известковистые песчаники верхней юры мощностью около 600 м;

г) темные, почти черные, легко выветриваемые и размываемые глинистые сланцы средней юры и песчаники нижней юры мощностью свыше 1000 м.

Значительное развитие глинистых горных пород в описываемом районе создает благоприятную для развития оползневых процессов среду. На склонах, где геологическое строение представлено чередованием слабых аргиллитов и алевролитов с плотными песчаниками, образуются консольно нависающие карнизы, которые, откладываясь, скатываются вниз, разрушительно действуя на встречные объекты.

**Геоморфология.** В пределах Горного Дагестана выделяются две крупные геоморфологические области:

1. Область Известнякового Дагестана.

2. Область Сланцевого Дагестана.

Основные черты геоморфологии области Известнякового Дагестана обусловлены широким развитием мощных карбонатных толщ верхней юры и мела, участвующих в строении складчатых зон. Эти черты заключаются в отчетливой выраженности структурных форм и складчатых зон в рельефе, в обрывистости склона и в резких изменениях относительных превышений. Ни одна область не отличается столь диким и скалистым ландшафтом и в то же время столь ярко выраженными чертами геологического строения, как Известняковый Дагестан.

Область Сланцевого Дагестана, благодаря литологической однородности слагающих ее пород, характеризуется широким развитием эрозионных форм рельефа.

Резкое различие в строении рельефа Сланцевого и Известнякового Дагестана объясняется прежде всего различной высотой поднятия в ходе тектонических движений. Формы рельефа Сланцевого Дагестана обычно отличаются плавностью очертаний и сглаженностью, склоны хребтов редко бывают отвесными.

Таким образом, сильная горизонтальная и, в особенности, вертикальная расчлененность рельефа Горного Дагестана приводит к тому, что на высоких и крутых склонах в массивах горных пород образуются большие градиенты напряжений, с которыми связано образование трещин и отрыв масс горных пород, скатывающихся вниз по склону. Эрозионная расчлененность рельефа обуславливает потенциальную возможность возникновения и развития экзогенных геологических процессов, а так как эрозия продолжается, то и градиенты напряжений в массивах горных пород на склонах возрастают. Вследствие этого возрастает вероятность образования и развития новых видов экзогенных геологических процессов.

**Гидрогеологические условия.** Гидрогеологические условия, т. е. наличие водоносных горизонтов и режим

подземных вод, оказывают непосредственное влияние на образование и развитие экзогенных геологических процессов, так как увлажнение горных пород на склонах ведет с одной стороны к увеличению их веса, с другой — к изменению их физико-механических свойств.

В четвертичных покровных отложениях подземные воды образуют первый от поверхности горизонт грунтовых вод. В коренных породах они, как правило, трещинного и пластово-трещинного типа. Питание подземных вод Горного Дагестана происходит, в основном, за счет атмосферных осадков. Дренаж их осуществляется в долинах рек, бортах тальвегов небольших водотоков, оврагах и откосах автомобильных дорог.

Относительно большая разница в отметках между областями инфильтрации и зонами разгрузки обуславливает наличие гидродинамического и гидростатического давлений, что способствует развитию на склонах экзогенных геологических процессов.

Сейсмичность. Современные сейсмо-тектонические процессы в виде землетрясений оказывают отрицательное влияние на устойчивость склонов. В Горном Дагестане это влияние выражено отчетливо, и имеются примеры синхронности проявления или активизации экзогенных геологических процессов и сильных (6—8 балльных) землетрясений: Мочохский оползень 1963 г., Курахский оползень 1966 г., оползни в районах селений Ахатлы, Калининаул и обвальюно-оползневые процессы по долинам рек Сулак, Шура-Озень 1970 г. и др.

Хозяйственная деятельность человека. Для решения задач, вытекающих из постановления партии и правительства, в частности, для успешного претворения в жизнь Продовольственной программы, в республике уже сегодня возникает необходимость интенсивного хозяйственного освоения территории Горного Дагестана. Однако, освоение территории без учета закономерности развития экзогенных процессов может вызвать активизацию их и привести к катастрофическим последствиям. Даже чрезмерный выпас скота на высокогорных пастбищах может ухудшить фильтрационные свойства почв и привести к усилению эрозии и формированию селевых потоков.

Интенсивное развитие экзогенных геологических процессов в Горном Дагестане отмечается на склонах, где прокладывают автомобильные дороги путем буро-взрывных работ. Дорожные строители еще не научились прокладывать дороги, максимально сохраняя устойчивое состояние склонов. В погоне за объемом выбрасываемых пород, дорожные строители порой разрушают склоны, создавая себе же на долгие годы работы по ремонту и содержанию дорог и, что немаловажно,

подвергая опасности жизнь многих, кто проезжает по ним. Думается, что главными факторами морального и материального стимулирования дорожных строителей должны быть качество и обеспечение основных требований по охране среды.

Учитывая, что экзогенные геологические процессы носят стихийный, часто катастрофический характер, причиняя народному хозяйству значительный ущерб, за последние годы, как у нас в стране, так и за рубежом, ведутся большие работы по их прогнозированию. Под прогнозом экзогенных геологических процессов понимается научное предсказание места, времени и характера их проявления, а также оценка подверженности народнохозяйственных объектов их воздействию.

В настоящее время Дагестанской геологоразведочной экспедицией проводятся работы по изучению условий развития и режима активизации экзогенных геологических процессов. Следующий этап этих работ будет посвящен исследованиям, которые лягут в основу прогнозирования экзогенных геологических процессов в Горном Дагестане.

Д. А. Дибиров, М. К. Курбанов  
ИГ и ИПГ, ДагФАН СССР

### К ВОПРОСУ РАСПРОСТРАНЕНИЯ КАРСТА В РАЙОНЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ИРГАНАЙСКОГО ГИДРОУЗЛА

Одним из важных факторов, оказывающих существенное влияние на гидротехническое строительство, является развитие карста, получившее значительное распространение в пределах Известнякового Дагестана. Значение карста при гидротехническом строительстве велико и общеизвестно. За рубежом и в нашей стране имели место ряд серьезных осложнений при строительстве плотин и эксплуатации водохранилищ, обусловленные развитием различных форм карста [3].

Для выявления и изучения закарстованности в районе строительства Ирганайского гидроузла нами были проведены детальные инженерно-геологические исследования на участках проявления открытых форм карста.

Участок территории, где предусматривается сооружение Ирганайского гидроузла, совпадает с отрезком долины р. Аварское Койсу, ограниченным на севере хребтами Шугумсэр и Накимсэр, на востоке—Араканским хребтом, а на юго-западе хребтом Аракмеэр, и находится полностью в пределах Известнякового Дагестана. Эта территория имеет эрозивно-тектоническое происхождение и отличается своеобразными природными условиями, обусловленными особенностями рельефа и гидрогеологическими факторами, связанными с режимом р. Аварское Койсу. Известняковый Дагестан характеризуется широким распространением мезозойских отложений, начиная с ааленского яруса юрской системы до датского яруса верхнего мела, достаточно хорошо изученными полевыми геологическими исследованиями. Литологически они представлены теригенными карбонатными разностями, при преобладании последних.

При рассмотрении гидрогеологических условий из всех водоносных комплексов наибольший интерес представляют подземные воды, приуроченные к карбонатным отложениям верхней юры и верхнего мела. Воды указанных комплексов выходят в различных пунктах Горного Дагестана в виде

восходящих и нисходящих источников, дебиты которых изменяются от нескольких л/сек. до первых сотен л/сек. Так, целый ряд источников с общим дебитом до 450 л/сек. выходит из юрских отложений в районе сел. Кванхидатль (бассейн р. Андийское Койсу). Минерализация вод указанных источников, достигающая до 30 г/л и хлоридно-натриевый состав, указывают на широкое развитие процессов выщелачивания горных пород. В складчатых районах с сильно развитыми эрозионными врезами минерализация воды снижается до 2—4 г/л.

Верхнемеловой водоносный комплекс также характеризуется повышенной водообильностью, и в основном, приурочен к карбонатным породам, слагающим ядра синклинальных прогибов (Балаханский и др.).

В районе Ирганайского гидроузла, также как и повсюду в Известняковом Дагестане, вся толща карбонатных пород изрезана речными долинами.

Это обстоятельство обусловило формирование двух гидродинамических зон: активного и замедленного водообмена. Подземные воды Известнякового Дагестана по агрессивности относятся к карстовым водам.

Приведя такую краткую характеристику геолого-гидрогеологических условий Известнякового Дагестана в районе строительства Ирганайского гидроузла, рассмотрим некоторые особенности развития и распространения карста, под углом зрения возможного отрицательного последствия его на гидротехническое сооружение.

Первые сведения о карсте Дагестана появились в конце XIX века в работах Комарова (1882), Штейна (1882) и других исследователей. В течении последующих лет изучение карста в Дагестане практически прекратилось за исключением небольших работ Кудрова (1905). Наиболее полное освещение карста приведено в работах Лилиенберга (1959), Гвоздецкого (1947, 1952, 1963). В последние годы описанию карста в Дагестане посвящены работы Еременко (1974 г.), Казанбиева (1975 г.), Мусина (1970, 1974, 1978), а также некоторые геологические отчеты Дагестанской комплексной геологической экспедиции.

В указанных работах приводились общие закономерности распространения и приуроченности карста к тем или иным отложениям без учета значения его при строительстве гидротехнических сооружений на конкретных участках.

Карстующими породами в Известняковом Дагестане являются верхнеюрские доломиты и, в меньшей степени, верхнемеловые известняки. Степень развития карста в этих отложениях неодинакова и определяется геолого-структурными условиями.

В районе строительства Ирганайского гидроузла, кар-

ствующие породы верхней юры представлены келловей-оксфордскими и киммеридж-титонскими ярусами. Келловей-оксфордские доломиты характеризуются интенсивной кавернозностью до 3—5% и к ним приурочено наибольшее число карстовых проявлений. Размеры пещер и ниш колеблются от нескольких метров до первых десятков метров. Судить о размерах подземных карстопоявлений пока невозможно, хотя есть основания предположить возможность возникновения крупных карстовых коммуникаций. Основной причиной, приведшей к развитию карста, является первичная пористость и мелкая кавернозность, связанные с доломитизацией и перекристаллизацией пород.

При детальном изучении киммеридж-титонских отложений было установлено, что в них развиты две разновидности карста: карбонатный и сульфатный; степень их распределения на различных элементах геологических структур неодинакова. Так, например, на крыльях антиклинальных складок кавернозность более интенсивная, чем на своде.

Широкая приуроченность мелких каверн к карбонатным брекчиям, видимо, объясняется составом цементирующей массы. Трещиноватость, развитая в них, способствует процессу выщелачивания, впоследствии эти мелкие каверны достигают значительных размеров (до 10 м).

Сульфатный карст встречается в гипсоносных отложениях, слагающих крутые склоны речных долин. Каверны и полости в них не наблюдаются.

Верхне-меловые отложения, в районе строительства Ирганайского гидроузла, имеют ограниченное распространение и слабо подвержены процессам карстообразования. Слагая ядра крупных синклинальных прогибов, они не представляют опасность по отношению развития и возобновления карста в период заполнения водохранилища.

Основными формами проявления карста в описываемом районе являются каверны, ниши, пещеры и карры, которые образовались в результате выщелачивания и растворения соответственно карбонатных и гипсовых пород [1]. Карстовые формы рельефа приурочены как к положительным, так и отрицательным геолого-тектоническим структурам. Последние оказались более благоприятными для развития карста. В течение геологической истории развития рассматриваемого района карстующие отложения верхней юры и нижнего мела оказались более поднятыми над эрозионным врезом речных долин, в результате интенсивных тектонических и эрозионно-денудационных процессов. В указанных отложениях наблюдаются многочисленные пустоты и каверны, приуроченные практически ко всей толще карбонатных пород.

Исходя из характера распределения пустот и каверн можно предположить, что развитие карста слабо связано

с эрозионным врезом долины реки, что говорит о более древнем происхождении карста. Интенсивные эрозионные процессы, большой эрозионный врез (около 700 м, по Мусину) за четвертичное время и другие сопутствующие процессы привели к сглаживанию последствий развития палеоген-неогенового карста.

Все это позволяет прогнозировать более интенсивное развитие современных карстовых процессов в нижних частях долины реки, включая отложения, расположенные ниже эрозионного вреза. В пользу этого говорит также тот факт, что сток реки Аварское Койсу у Балаханского моста заметно больше, чем в Чиркате, расположенном ниже по течению реки, хотя водоотвода на этом участке не имеется [2].

Подробный анализ данных стационарных наблюдений, проведенных Махачкалинской гидрометеорологической станцией в течение ряда лет, начиная с 1952 года, показывают тесную связь карста со стоком и химизмом рек. На участках развития карста отмечается уменьшение стока реки (до 10% между постами Хиндах и Красный мост). При изучении связи карста с химизмом рек были также выявлены некоторые закономерности в изменении минерализации и состава речных вод в пределах Известнякового Дагестана.

Максимальное развитие карстовых форм рельефа приурочено к зонам тектонических трещин, которые в свою очередь развиты на сводах, переклиналях и крутых бортах структур. Развитие ориентированных трещиноватых зон ограничивается обычно размерами отдельных структур, что делает маловероятным сквозной дренаж вод р. Аварское Койсу в долину р. Андийское Койсу несмотря на разность гипсометрических отметок их долин. Однозначное решение этого весьма важного в практическом отношении вопроса требует постановки значительного объема специальных гидрогеологических исследований.

На основе анализа развития различных структурных, геоморфологических элементов рельефа и типов горных пород установлена приуроченность карстовых форм к участкам интенсивного развития трещиноватых зон, образованных, главным образом, за счет тектонических процессов. В этом проявляется генетическая связь и обусловленность карстовых пустот с тектоническим развитием района. Ориентировка трещин и карстовых пустот чаще всего совпадает и контролируется, в целом, строением тектонических структур, крутизной рельефа и литогенетическими условиями напластования.

Современная скорость химической и карстовой денудации незначительна и составляет 10—20 м<sup>3</sup>/год км<sup>2</sup>, что объясняется малым количеством атмосферных осадков и большим поверхностным стоком, обусловленным пересеченностью

рельефа. Поэтому можно предположить, что наибольшую опасность для строительства гидротехнических сооружений в Горном Дагестане представляют скрытые карстовые зоны, образованные в палеоген-неогеновое время.

В районе строительства Ирганайского гидроузла левый борт, частично и днище водохранилища, на отметках 500 м и выше, сложены карстующимися породами верхней юры и при заполнении возможна утечка воды в обход плотины, а также другие осложнения, связанные с эксплуатацией гидроузла, в связи с чем следует избегать попадания карстующих пород в район затопления.

Таким образом, анализируя указанные выше закономерности развития и распространения карста в районе строительства Ирганайского гидроузла и, в целом, в Известняковом Дагестане, на современной стадии его изучения, к наиболее эффективным способам выявления скрытых карстовых зон следует отнести детальные гидрохимические исследования подземных и поверхностных вод. Для разработки мер по борьбе с карстом при строительстве новых гидроэлектростанций на горных реках Дагестана, где широко развиты карстующие карбонатные породы, необходимо тщательно исследовать особенности развития подземного карста при вскрытии котлована Ирганайской гидроэлектростанции.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Казанбиев М. К. Основные типы карста Дагестана и закономерности его развития. — Сб.: Вопросы геологии и подземных вод Дагестана, Махачкала, 1970.
2. Мусин А. Г. Влияние карста на сток рек Горного Дагестана. — Сб.: Гидрогеология и карстоведение, Пермь, 1974, вып. 5.
3. Лыкошин А. Г. Карст и гидротехническое строительство, М., 1968.

Л. Д. Белый / , Б. А. Гранит, Г. М. Ляпунова  
МИСИ им. В. В. Куйбышева

#### СВЯЗЬ АНИЗОТРОПИИ СКОРОСТИ УПРУГИХ ВОЛН В ГЛИНИСТЫХ ПОРОДАХ С ЭКЗОГЕННОЙ ТРЕЩИНОВАТОСТЬЮ И МАКРОПОРИСТОСТЬЮ

Процессы гипергенеза глинистых пород приводят к появлению макропористости у лёссов и экзогенной трещиноватости в элювии глин, что, в свою очередь, вызывает образование различий физико-механических (упругих и неупругих) свойств глинистых пород в различных направлениях.

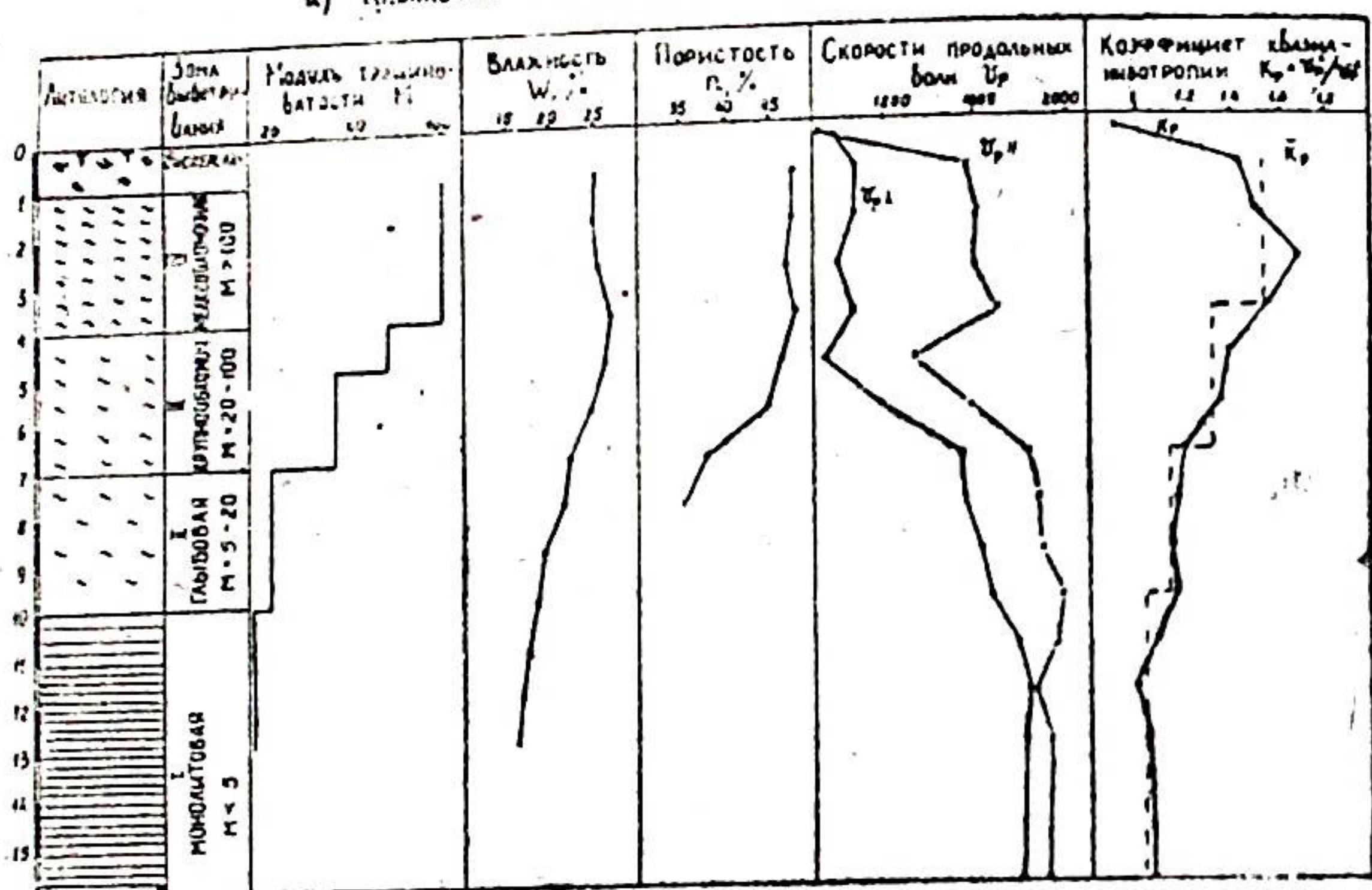
В майкопских глинах Центрального Предкавказья экзогенная трещиноватость развивается параллельно слоистости и является практически горизонтальной. Трещиноватость прямо связана со степенью выветрелости. Ряд исследователей [1, 3, 6, 9] по степени раздробленности пород выделяет в разрезе коры выветривания глин определённую зональность. Зоны выделяются по различной степени раздробленности пород и изменению физико-механических свойств этих пород по разрезу. Сейсмоакустические методы позволяют выделять анизотропию физико-механических свойств по анизотропии скорости упругих волн. Необходимо отметить, что на скорость продольных волн в дисперсных породах значительное влияние оказывает их влажность [2].

Трещиноватость элювия майкопских глин преимущественно горизонтальная, что позволяет с некоторым приближением рассматривать эти отложения как тонкослоистую среду, к которой может быть применена общая теория распространения упругих волн в анизотропной (квазианизотропной) среде [7]. Согласно этой теории тонкослоистые среды, для которых толщина слоя  $h$  много меньше длины волны  $\lambda$ , обладают анизотропией гексогонального типа и имеют ось симметрии упругих свойств, перпендикулярную плоскостям напластования [4].

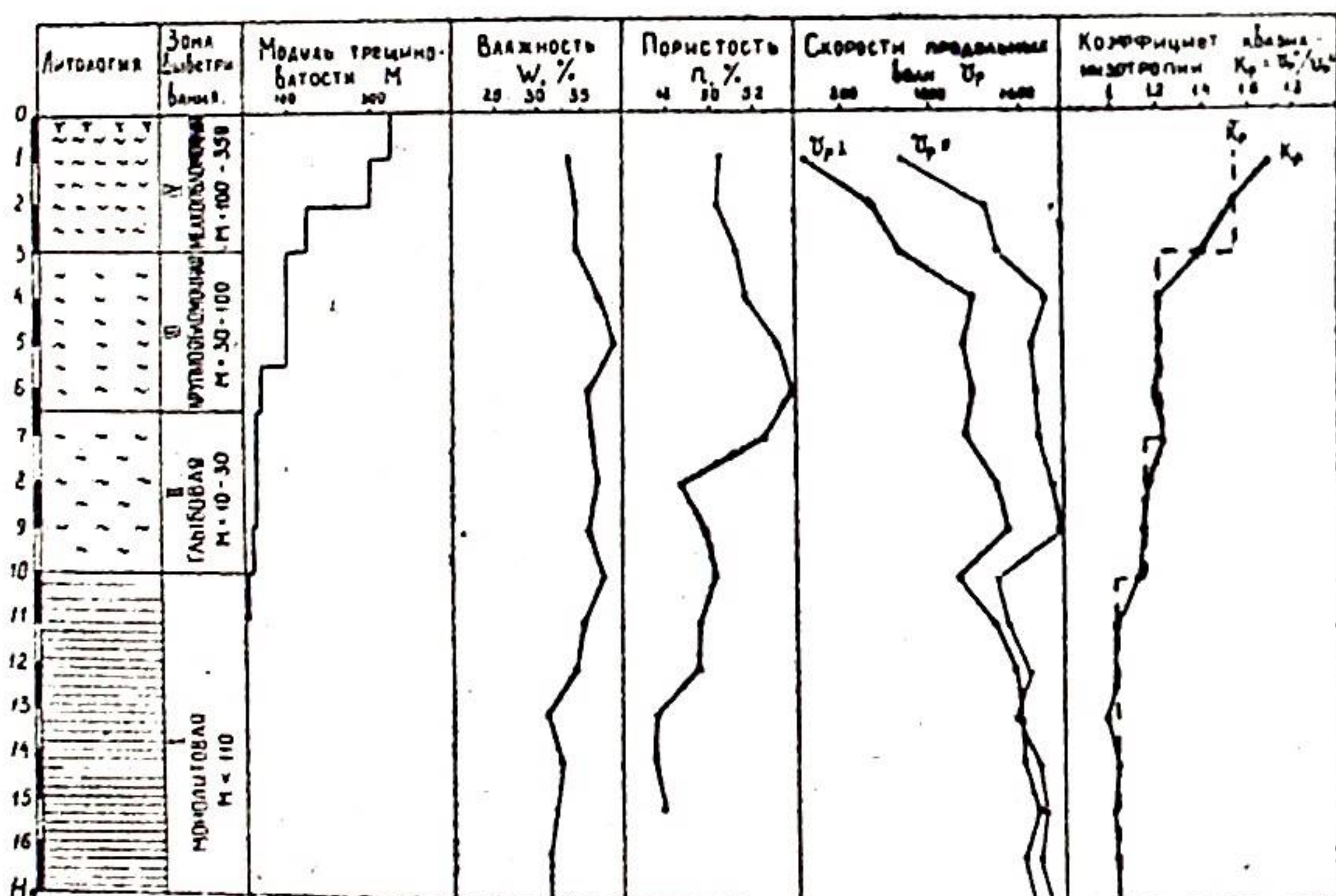
Таким образом, измерение скорости упругих волн достаточно проводить в направлении параллельном и перпендикулярном преобладающей трещиноватости.

Исследования анизотропии скоростей упругих волн в майкопских глинах проводились с помощью портативной ультра-

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ ЭЛЮВИЯ МАЙКОПСКИХ ГЛИН  
а) Кавказские Минеральные Воды



б) г. Занста Калмыкия



Литология: Глина, Зона выветривания: Элювий, Модуль трещиноватости М: Сильно трещиноватые, Влажность W, %: 20, 30, 35, Пористость П, %: 40, 50, 55, Скорости продольных волн Vp: 200, 400, 600, Коэффициент анизотропии Kp: 1, 1.5, 2, 2.5, 3

Рис. 1

звуковой аппаратуры Р-5-5 и комплексе с 60 кг и 25 кг датчиками из сегнетовой соли. Скорость упругих волн измерялась в отобранных при бурении монолитах и in situ в обнажениях и шурфах. Измерялась скорость прохождения продольных волн параллельно и перпендикулярно плоскости преобладающей трещиноватости. Коэффициент анизотропии ( $K_p$ ) вычислялся по формуле:

$$K_p = \frac{V_{p\parallel}}{V_{p\perp}}$$

где  $V_{p\parallel}$  и  $V_{p\perp}$  скорости продольных волн соответственно параллельно и перпендикулярно трещиноватости.

В майкопских глинах скорость продольных волн в плоскости слоистости и совпадающей с ней экзогенной трещиноватости больше, чем в направлении, перпендикулярном слоистости. Установлено, что коэффициент анизотропии у глин увеличивается пропорционально степени выветрелости. На рис. 1 приведены обобщенные инженерно-геологические разрезы элювия майкопских глин района Кавказских Минеральных вод (КМВ) и Калмыкии. Степень выветрелости при инженерно-геологическом обследовании шурфов и керна определялась по модулю трещиноватости  $M$  (количество трещин на единицу длины разреза). Параллельно с инженерно-геологическим обследованием проводилось ультразвуковое просвечивание целиков, вырезанных в стенках шурфов, и монолитов, отобранных при бурении скважин. Толщина изучаемых образцов составляла 0.04—0.1 метра. Измерялась скорость продольных волн в вертикальном  $V_{p\perp}$  и горизонтальном  $V_{p\parallel}$  направлениях и вычислялся коэффициент  $K_p$ . Из рис. 1 видно, что коэффициент анизотропии в обоих случаях позволяет хорошо расчленить разрез элювия по степени выветрелости. Расчленение толщи элювия майкопских глин по модулю трещиноватости  $M$  и по коэффициенту анизотропии, определяющему упругие свойства элювия, практически совпадает. В коренных слабо выветрелых глинах, где  $M < 10$ , анизотропия практически отсутствует ( $K_p \approx 1$ ). В элювии с увеличением  $M$  от 20 до 350 анизотропия соответственно возрастает от  $K_p = 1,1$  до  $K_p = 2,0$ .

Уравнения линейной регрессии для оценки  $M$  по  $K_p$  имеют вид:

для элювия майкопских глин КМВ

$$M = 228,13 K_p - 237,02; \quad K_{кор} = 0,97;$$

для элювия майкопских глин Калмыкии

$$M = 507,57 K_p - 529; \quad K_{кор} = 0,96.$$

Иная картина наблюдается в лёссе [5]. При изучении

физико-механических и упругих свойств лёссовых пород Дангаринской долины было обращено внимание на то, что при ультразвуковых измерениях в шурфах скорость продольных волн в вертикальном направлении больше, чем скорость тех же волн в горизонтальном направлении. Анизотропия скорости упругих волн в лёссе, который считается в высокой степени однородной породой, связана, по-видимому, с вертикальными канальцами в лёссовых породах.

Исследования скоростной анизотропии в лёссах проводились на участке опытного замачивания в двух шурфах, где изучались лёссовые породы с природной влажностью: шурф 65 (h=30 м) и шурф 65<sup>а</sup> (h=15 м); а также в шурфе 67 (h=16 м), пройденном с креплением спустя три месяца после окончания замачивания.

При ультразвуковых исследованиях в стенках шурфов вырезались вертикальные и горизонтальные целики толщиной 0,1 м и в этих же точках проводилось вертикальное и горизонтальное ультразвуковое профилирование на базе 0,3 м с шагом  $x=0,1$  м. Применялась ультразвуковая портативная аппаратура УК-10 П в комплексе с 25 кгц датчиками из сегнетовой соли. Следует подчеркнуть, что эффект анизотропии в лёссах мало заметен при просвечивании целиков лёсса толщиной  $\leq 0,1$  м. Однако при ультразвуковом профилировании анизотропия скорости упругих волн уверенно регистрируется. Важно отметить, что скорости  $V_p^{\parallel}$  (скорости в вертикальном направлении, параллельно макропористости, т. е. параллельно вертикальным канальцам) при ультразвуковом просвечивании и профилировании практически совпадают.

В шурфах, пройденных в лёссе с природной влажностью, анизотропия скорости продольных волн появляется с глубины 5—7 метров, и имеет максимальную величину 1,2—1,8 в интервале глубин от 7 до 22 метров, а затем в нижней части разреза вновь уменьшается до 1,0—1,1. В шурфе 67, пройденном в замоченном лёссе, анизотропия скорости продольных волн практически отсутствует ( $K_p \approx 1$ ), а иногда даже приобретает обратные значения ( $K_p < 1$ ). Полученные результаты объясняются тем, что анизотропия в лёссах вызывается вертикальной вытянутостью пор, исчезающих при просадке. На рис. 2 приведены обобщенные инженерно-геологические характеристики лёссовой толщи описанного участка. Из графиков следует, что лёссы природной влажности в интервале глубин 5—22 метра обладают максимальной относительной просадочностью ( $\delta$ ). При давлении, равном бытовому, связь между  $K_p$  и  $\delta$  достаточно хорошо описывается уравнением линейной регрессии и имеет вид:

$$\delta = 0,061 K_p - 0,03; \quad K_{кор} = 0,61.$$

Инженерно-геологический разрез лёссовых пород Дангаринской долины Таджикистана на участке опытного замачивания

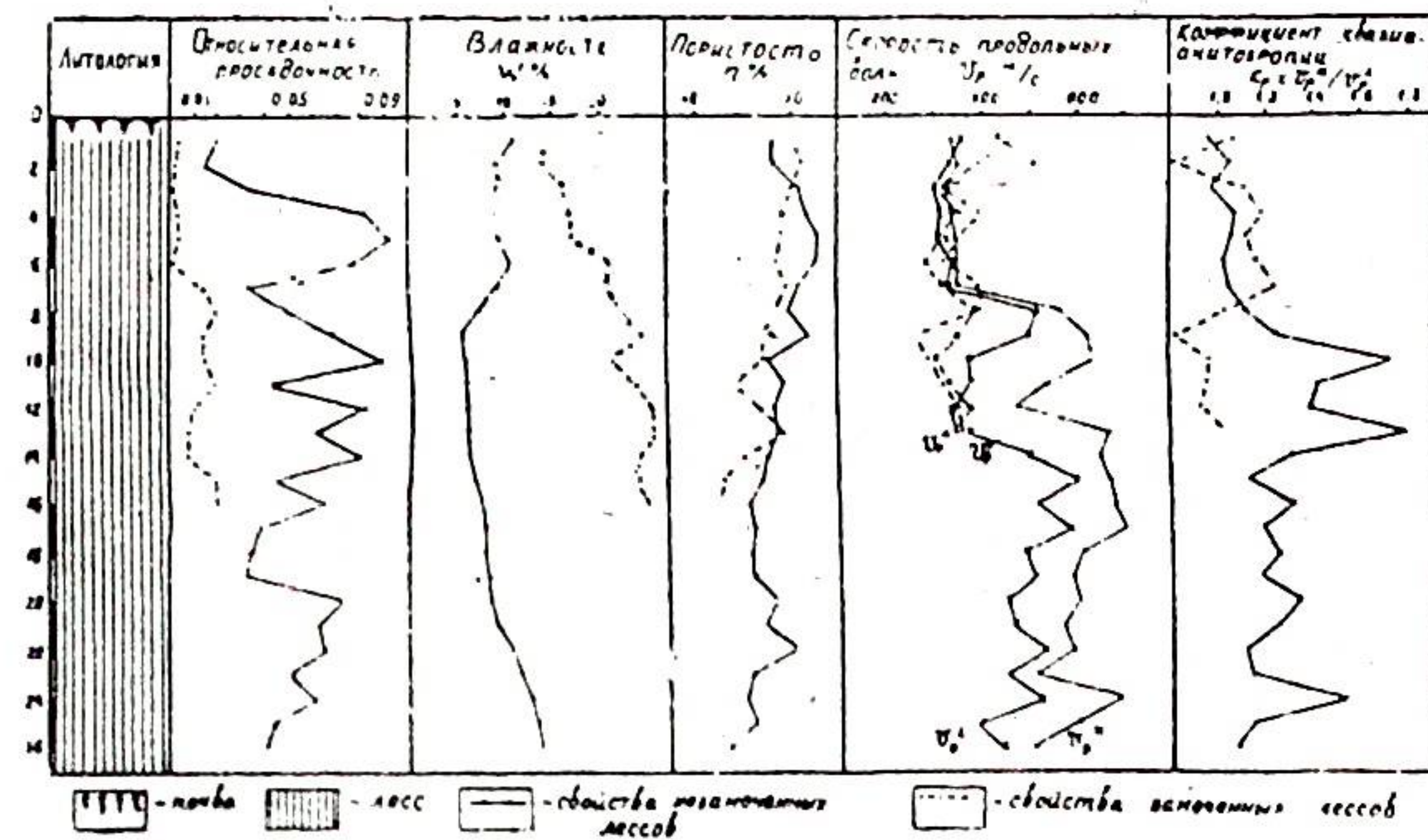


Рис. 2.

При искусственном устранении просадочности лёссов анизотропия исчезает. Таким образом, исследуя упругие свойства лёссовых пород можно оценивать их просадочность. Однако, требуется дальнейшее экспериментальное полевое и лабораторное изучение природы анизотропии скорости упругих волн в лёссе, её связи с различной пористостью и просадочностью.

В заключение остановимся на вопросе практического применения результатов проведённых исследований. Сейсмоакустический картаж скважин позволяет достаточно просто получить скорость продольных волн в вертикальном направлении (т. е.  $V_p^{\perp}$  в случае майкопских глин и  $V_p^{\parallel}$  в случае лёссов). Измерение скорости продольных волн в горизонтальном направлении легко осуществимо только в шурфах или на образцах пород. Однако, для районов, в которых проведены наши исследования,  $K_p$  можно рассчитывать только по скорости упругих волн в вертикальном направлении, используя для этого установленные нами корреляционные зависимости:

$$K_p = 2,064 - 0,000551 V_p^{\perp} \quad ; \quad K_{кор} = 0,96$$

для элювия майкопских глин КМВ;

$$K_p = 2,1397 - 0,000679 V_p^{\perp} \quad ; \quad K_{кор} = 0,97$$

для элювия майкопских глин Калмыкии;

$$K_p = 0,0011 V_p^{\parallel} + 0,661; \quad K_{кор} = 0,68$$

для лёссов Дангаринской долины Таджикистана.

Непосредственно в поле измерить скорость продольных

волн в горизонтальном направлении позволяет ультразвуковое просвечивание между двумя расположенными на расстоянии 0,2—0,5 м скважинами [8]. При поверхностных сейсмических наблюдениях для расчёта  $K_p$  особый интерес представляет регистрация поперечных волн типа SP и SH, которые поляризованы соответственно в вертикальном и горизонтальном направлениях.

Таким образом, изучение анизотропии скорости упругих волн в глинистых и лёссовых грунтах позволяет решать сейсмоакустическими методами практические задачи инженерной геологии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Белый Л. Д., Попов В. В. Инженерная геология. — М.: Стройиздат, 1975.
2. Гранит Б. А., Миронюк С. Г. Зависимость скорости упругих волн от влажности и выветрелости майкопских глин. — В кн.: Физические поля и сейсмические свойства горных пород. М.: Стройиздат, 1979.
3. Золотарев Г. С. Формирование и физико-механические свойства элювия в различных породах субтропической области юго-западного склона Б. Кавказа. — В кн.: Генетические основы инженерно-геологического изучения горных пород. М.: Изд-во МГУ, 1975.
4. Зыков Ю. Д., Червинская О. П. Экспериментальные исследования упругой анизотропии мерзлых грунтов, обусловленной криогенным строением. — В кн.: Физические поля и сейсмические свойства горных пород. М.: Стройиздат, 1979.
5. Кригер Н. И. Лёсс, его свойства и связь с геологической средой. М.: Наука, 1965.
6. Макеев З. А. Инженерно-геологическая характеристика майкопских глин. М.: Изд-во АН СССР, 1963.
7. Невский М. В. Квазианизотропия скоростей сейсмических волн. М.: Недра, 1974.
8. Никитин В. Н. Основы инженерной сейсмологии. М.: Изд-во МГУ, 1981.
9. Ярг П. А. Изменение физико-механических свойств пород при выветривании. М.: Недра, 1974.

Г. Г. Бунин  
ИГ ДагФАН СССР

#### ПЛАНЕТАРНАЯ ТРЕЩИНОВАТОСТЬ И ЛИНЕАМЕНТЫ И ИХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ

Под планетарной трещиноватостью понимаются системы закономерно ориентированных трещин, пересекающих стратифицированную оболочку Земли. Среди них выделяются мегатрещины, подобные рифтам или секущим их трансформным разломам, линеаменты и микротрещины, проявляющиеся в виде внутрипластовой трещиноватости.

Характерно, что различным литосферным оболочкам соответствует своя система планетарной трещиноватости. При этом нередки случаи совпадения ориентировки отдельных мегатрещин, что обусловлено унаследованным их развитием.

Происхождение планетарной трещиноватости связывается с напряжениями внутри горных пород в период их формирования. Трещиноватость в осадочных породах возникает при обезвоживании осадка, его литификации и диагенезе, в магматических породах — при остывании магмы, потере летучих компонентов и кристаллизации, в метаморфических — при процессах динамометаморфизма и нагревания [1].

Многочисленными исследованиями установлено, что планетарная трещиноватость делает земную кору анизотропной и образует правильный каркас ее строения. Именно это обстоятельство создает оболочке Земли необходимую эластичность при прохождении твердой приливной волны.

Массовые замеры азимутов рассматриваемых трещин свидетельствуют о том, что их закономерно ориентированные простирания обусловлены ротационным режимом Земли.

Этому каркасу подчинены не только сами трещины, но и развивающиеся на их фоне закономерно ориентированные тектонические и складчатые структуры, особенности форм рельефа земной поверхности. Именно связь морфоструктуры с рисунком планетарной трещиноватости нередко проявляется в виде линеаментов, протяженных на десятки и сотни километров и довольно широких полос, прослеживаемых на

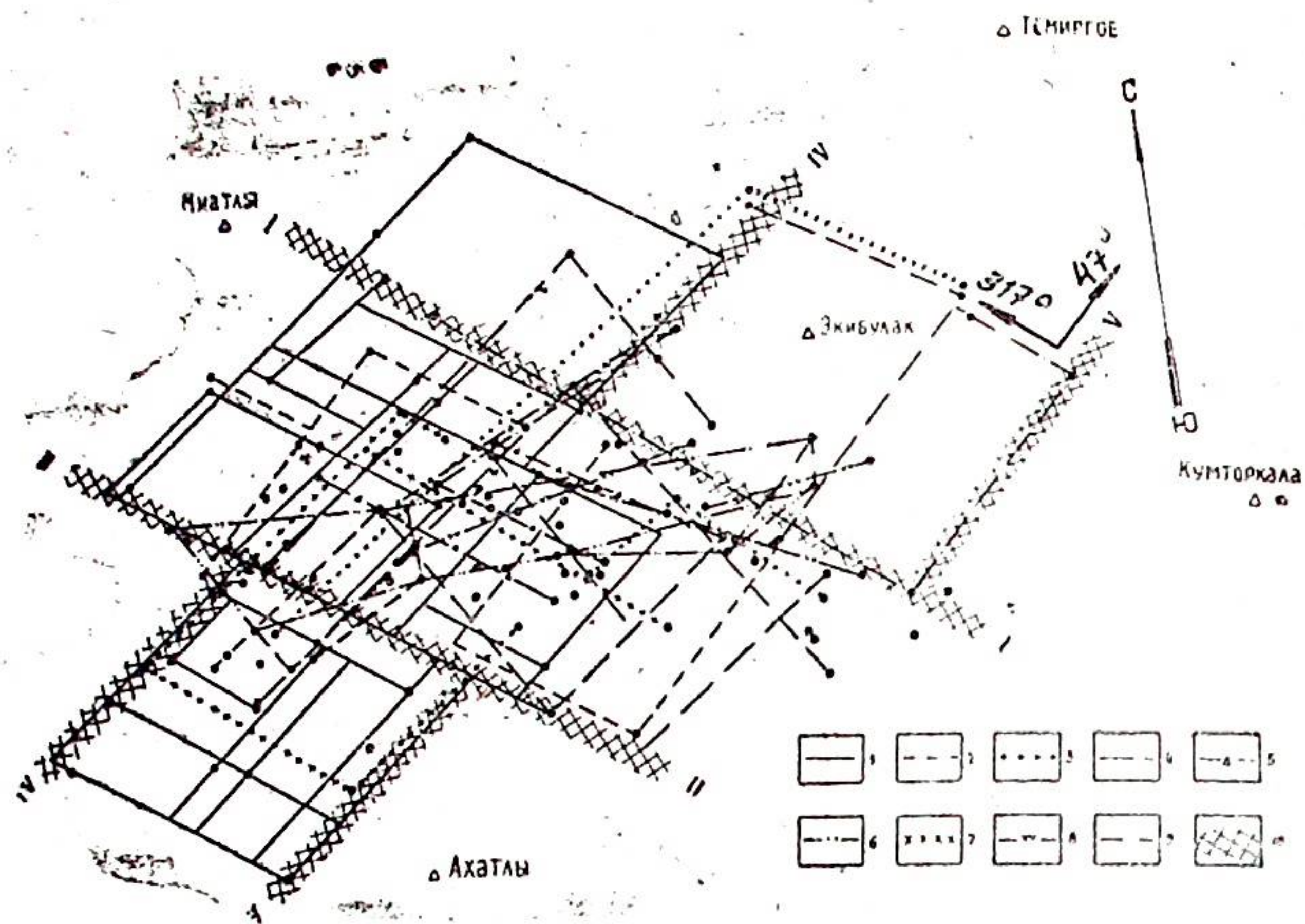


Рис. 1. Схема расположения простираний планетарной трещиноватости и тектонических нарушений в эпицентральной зоне Дагестанского землетрясения по данным регистрации афтершоков.

Системы трещин, соответствующих интервалам глубин: 1—3 км; 2—4 км; 3—5 км; 4—6 км; 5—7 км; 6—8 км; 7—9 км; 8—10 км; 9—12 км; линейменты: 1—1 — Зурама-Мавасский, II—II — Гудермес-Зубутлинский, IV—IV — Экибулакский, V—V — Андийский (Кумторкалинский).



Рис. 2. Планетарная отдельность в аргиллитах майкопа.

космических снимках. Наиболее четко выражены линейменты северо-восточного и северо-западного простираний, менее — субширотного и меридионального.

Выявленные на космических снимках линейменты в пределах Кавказского региона образуют систему, определенным



Рис. 3. Эффект «кирпичной кладки» как отражение планетарной трещиноватости, проявившейся при сейсмическом ударе во время Дагестанского землетрясения 14 мая 1970 года.



Рис. 4. Поле планетарной трещиноватости в песчаных известняках хадума.

образом ориентированную относительно меридиана и, несомненно, связанную с планетарной трещиноватостью. Степень нарушения земной коры, определяемая плотностью размещения разломов, является важной характеристикой геологического строения того или иного района. Следует отметить, что линеаменты, устанавливаемые по материалам дешифрирования космоснимков, во многом связаны с современными и новейшими геологическими процессами.

Прочность горных пород обусловлена их вещественным составом и физико-механическими свойствами. Она выражается в характерной способности пород раскалываться на отдельные блоки, глыбы, куски под действием горного давления, эндогенных и экзогенных процессов, т. е. в свойственной им отдельности. Отдельность пород связана с наличием в них видимых и скрытых трещин, первичная природа которых обычно не всегда ясна, поскольку иногда она может быть затупевана системами наложенных трещин. Однако, как показывают наблюдения, блоковая делимость пород определяется

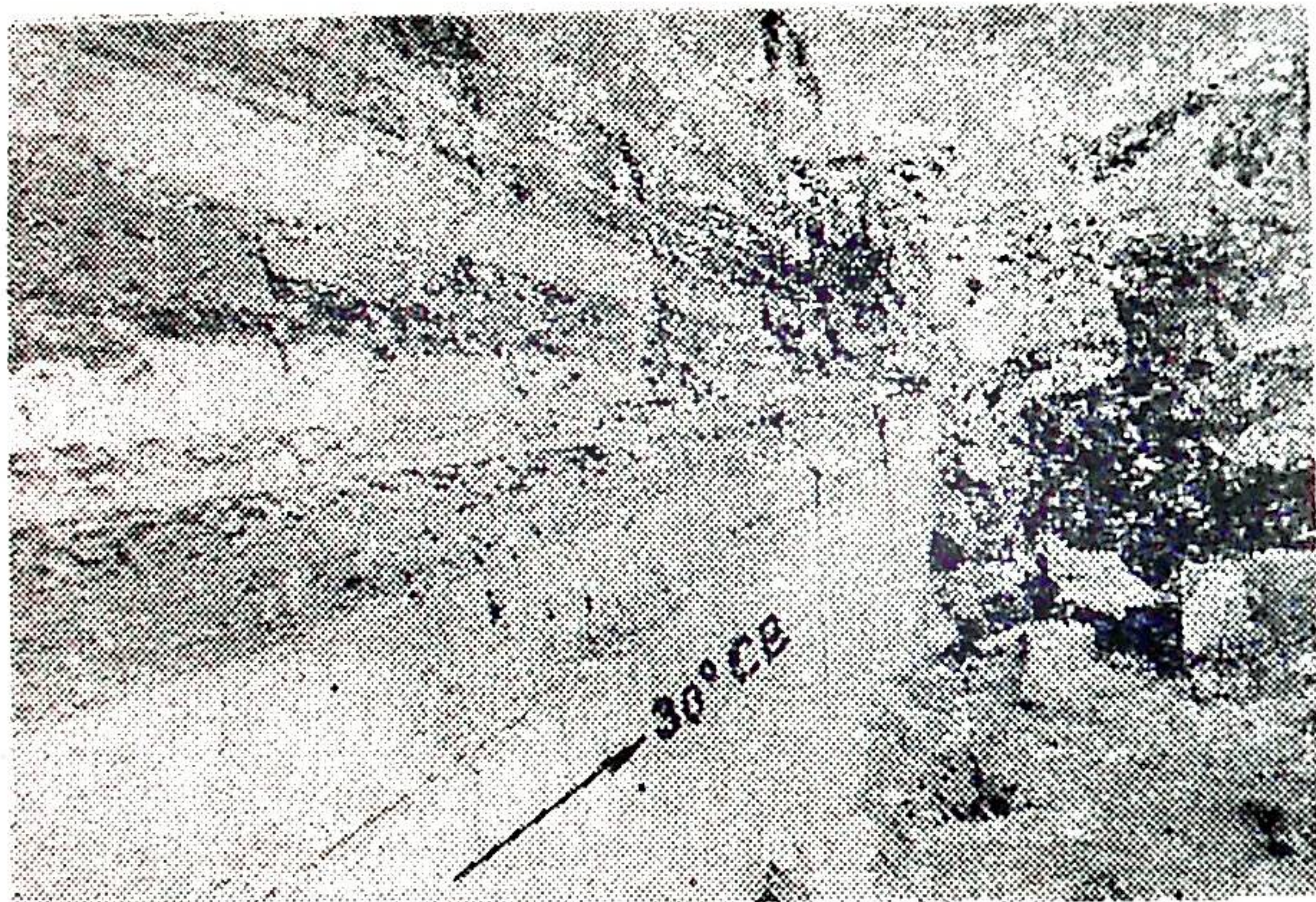


Рис. 5. «Отвесная стена» на Ахатлинском оползне, образовавшаяся вдоль линеамента.

в основном планетарной трещиноватостью (рис. 1—5). В этом отношении весьма показательными могут быть измерения блоков пород, проведенные нами в пределах эпицентральной области Дагестанского землетрясения 14 мая 1970 г. на Арчинском оползне. (Табл. 1).

Из таблицы 1 видно, что соотношения размеров макро- и микроблоков пород, образовавшихся при сейсмических толчках, совершенно совпадают.

Таблица № 1

Характер делимости осадочных пород в эпицентральной зоне Дагестанского землетрясения 14 мая 1970 г.

Размеры макроблоков в км	Соотношение длины, ширины и толщины	Размеры микроблоков в см	Соотношение длины, ширины и толщины
18 × 18 × 3	6 : 6 : 1	96 × 96 × 16	6 : 6 : 1
9 × 9 × 3	3 : 3 : 1	48 × 48 × 16	3 : 3 : 1
9 × 4,5 × 3	3 : 1,5 : 1	24 × 12 × 8	3 : 1,5 : 1
4,5 × 4,5 × 3	1,5 : 1,5 : 1	12 × 12 × 8	1,5 : 1,5 : 1
4,5 × 6 × 3	1,5 : 2 : 1	12 × 16 × 8	1,5 : 2 : 1
4,5 × 1,5 × 3	1,5 : 0,5 : 1	24 × 4 × 8	1,5 : 0,5 : 1
3 × 3 × 3	1 : 1 : 1		

Однако было бы неверно рассматривать трещиноватость как открытые полости в блоке горного массива. Экспериментальные исследования деформационных свойств сплошных и спрессованных образцов при высоких гидростатических давлениях [2] показали, что при деформации под давлением происходит залечивание имевшихся или образующихся в процессе деформации дефектов, в результате чего может происходить увеличение прочности вещества за счет пластической деформации, а также за счет высвобождения поверхностной энергии и локального нагрева в точках контакта, способствующего активизации диффузионных процессов. При снятии внешнего давления, либо сейсмической сотрясаемости, трещиноватость восстанавливается, а прочностные свойства горного массива резко падают.

Поэтому знание закономерностей размещения линеаментов и зон трещиноватости играет исключительную роль в оценке инженерно-геологических условий района предполагаемого строительства. Установлено, что линеаменты и зоны повышенной трещиноватости являются ослабленными участками земной коры, а узлы их пересечения служат каналами естественной разгрузки подземных вод, что нередко создает непредвиденные осложнения и трудности при строительстве таких объектов, как тоннелей, метро, шахт и т. п. Они неплохо коррелируются с размещением очагов и афтершоков землетрясений и должны учитываться при оценке сейсмичности территории [3].

К каким последствиям может привести незнание особенностей размещения линеаментов и зон трещиноватости проиллюстрируем следующим примером.

При проходке 20-километрового Арпа-Севанского гидротехнического тоннеля в Армении, его трасса пересеклась

с Гиратах-Анкаванским тектоническим разломом, позднее отдешифрированным на космическом снимке как гигантский линеамент, протянувшийся от Кавказа до Балкан [4]. Ширина линеаментной зоны составляла около одного километра.

Горное давление в пределах зоны, замеренное датчиками, составляло 300 тонн на квадратный метр. Зона сильно обводнена. Все эти непредвиденные обстоятельства приводили к серьезным осложнениям в строительстве, к незапланированному удорожанию его. Ни 50-ти сантиметровая, а затем и 80-ти сантиметровая железобетонная оболочка не выдерживали такого горного давления. Бетонную стенку тоннеля сминало как скорлупу. Мы не будем останавливаться на том, как была решена эта инженерная проблема. Но сам факт свидетельствует о том, что знание закономерностей размещения линеаментов и их учет при проектировании таких крупных инженерных объектов, как тоннели, гидроэлектростанции, атомные электростанции и др., позволит выбирать наиболее оптимальные варианты строительства, избежать грубых инженерных просчетов, повысит качество инженерно-геологических изысканий.

Сказанное позволяет рассматривать скальное основание не как монолит, а как анизотропное тело, состоящее из отдельных блоков различного ранга, способного в зависимости от напряженного состояния, резко изменять свои прочностные (физико-механические) свойства. Необходимо разработать теорию и методику расчетов оснований, учитывающих влияние планетарной трещиноватости, и внедрить ее в практику инженерно-геологических изысканий и проектирования сооружений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Методическое руководство по изучению планетарной трещиноватости и линеаментов. Под ред. С. С. Шульца. — Изд. Ленинградского ун-та, 1977, с. 136.
2. Рябинин Ю. Н., Мартынов Е. Д., Прищепов В. Ф. Влияние высокого давления на механические свойства известняка. — Физика Земли, 1974, № 3, с. 14—19.
3. Бунин Г. Г. Связь источников подземных вод и афтершоков Дагестанского землетрясения с линеаментами, выявленными по космоснимкам. — Исследование Земли из космоса, 1981, № 2, с. 25—30.
4. Перевозчиков А. Возрождение Севана. Техника молодежи, № 2, 1981, с. 30—35.

Р. А. Левкович, Г. И. Дейнега, С. А. Каспаров  
ИГ и ИПГ ДагФАН СССР

### ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ ДАГЕСТАНА

Сейсмическое районирование основывается на всей сумме исторически накопленной и современной информации о сейсмичности рассматриваемой территории, осмысленной на фоне элементов её геологического строения. Таков характерный эмпирический подход к проблеме долгосрочного сейсмического прогнозирования.

Фундаментальный подход к этой же проблеме должен быть генетическим, основывающимся на моделях, приемлемых для геолого-структурных условий локализации сейсмического очага; и общей направленности геодинамического развития района.

Только правильно понятая, максимально приближенная к реальности, на данном этапе познания, модель сейсмогенеза позволит в полной мере использовать комплекс геолого-геофизических материалов для выделения возможных очаговых зон сильных землетрясений, точнее прогнозировать ожидаемые воздействия.

Два массива наблюдаемых данных — сейсмостатистика и геолого-геофизические сведения — лежат в основе всех последующих логических построений, направленных на выявление особенностей сейсмического режима и сейсмической опасности.

Если данные инструментальной сейсмологии позволяют наметить закономерности пространственного размещения очагов землетрясений, выделить сейсмогенерирующие объемы, то геолого-геофизические данные — закономерности преимущественной локализации очагов с определенными геологическими структурами. То же относится и к макросейсмическому материалу. Привлечение геолого-геофизических данных к анализу макросейсмического материала позволяет познать роль геологических факторов в формировании реальной анизотропии макросейсмического поля, увереннее прогнозировать поверхностный эффект возможного сильного землетрясения.

Анализ геолого-геофизической и геодинамической обстановки локализации очагов землетрясений позволяет более объективно подойти к пониманию геологических процессов, приводящих к генерации землетрясений в этом объеме, к созданию модели очага землетрясения.

Особенно возрастает роль геолого-геофизических данных в оценке сейсмичности районов, где преобладающая часть сильных землетрясений генерируется на глубинах, доступных близкой экстраполяции от известных элементов геологического строения, физических свойств и термобарических параметров покрывающих толщ.

Модель, в зависимости от элементов своего строения, выбирает из суммы сведений только те, которые необходимы для её задеирования. Поэтому от того, какие геодинамические процессы положены в основу модели сейсмического очага и зависит степень использования геолого-геофизического материала в изучении природы землетрясений.

В развитие использования геологических данных для сейсморайонирования на стыке сейсмогеологии и тектоники (геодинамики) возникло новое научное направление — сейсмотектоника, основным объектом изучения которого являются сейсмогенные (очаговые) зоны — «зоны дифференцированных тектонических движений, представленные активными разрывами или их системами...» [1]. Посылкой к этому служит широко распространенное, унаследованное от первых моделей сейсмогенеза, представление о пространственной приуроченности очагов сильных землетрясений к активизированным дизъюнктивам. «Ныне широко признано..., что разрушительные землетрясения генерируют по зафиксированным в природе долгоживущим активным разрывам. Очаг каждого такого землетрясения — это тот или другой участок поверхности «залеченного» разрыва, по которому произошло повое скачкообразное смещение. Естественно, что зоной возможного возникновения очагов разрушительных землетрясений является вся данная зона активных разрывов. Она и должна устанавливаться по геологическим и разведочным геофизическим данным» [1].

Такое представление широко распространено и среди геологов и геофизиков, не занимающихся непосредственно сейсмологией. Основывается оно на аналогии с разрушением материала под нагрузкой, поскольку представляется, что очаг землетрясения — это область, в которой механически реализуется неоднородность поля напряжений литосферы, причем вмещающая среда закачивает энергию, идущую на разрушение пород и сейсмическое излучение. Наиболее четко эти представления развиты в работах [2—5] и др.

Очевидно, что необходимо рассматривать приуроченность очагов к глубинным дизъюнктивам, которые развиты

на гипсометрическом уровне гипоцентра землетрясения. При глубине залегания очагов значительно ниже основания осадочной толщи нет смысла связывать их с рисунком разрывных нарушений, затрагивающих только осадочный чехол, и то не на всю его мощность. Сопоставлять очаги землетрясений с разрывными нарушениями не имеет смысла еще из-за криволинейности разрывных нарушений, несовпадения структурного плана и рисунка дизъюнктивов фундамента и осадочного чехла. Поэтому основным источником информации о глубинных структурах земной коры являются данные разведочной геофизики и морфоструктурный анализ. Последний, в частности, позволяет выделить надразломные структуры в осадочной толще и по ним протрассировать глубинный разлом, оценить степень современной его активизации, т. е. выполнить одно из главных геологических построений для общепринятой модели сейсмогенеза.

Для сейсмоактивных районов Дагестана проанализировано пространственное совпадение гипоцентров землетрясений и глубинных разломов. Здесь из геофизических наблюдений наиболее информативными явились гравиметрические исследования, позволившие осветить особенности глубинного строения палеозойского субстрата и развитие в его пределах глубинных разломов [6, 7] и др. Сложное геологическое строение территории Дагестана обусловило сложность гравитационного поля, геологическая интерпретация которого обычными аналитическими методами затруднена. Для трассирования тектонических нарушений наблюденное поле было преобразовано в поле горизонтальных градиентов силы тяжести [7]. Результаты преобразований были представлены в виде карт векторов и модулей (в изолиниях) полного горизонтального градиента силы тяжести, с которыми и сопоставлялся инструментальный сейсмологический материал.

По наиболее изученной в сейсмическом отношении территории Дагестанского клина достаточно четко прослеживается пространственное несовпадение не только плоскости разрыва основного толчка (по механизму очага), но и всей афтершоковой области наиболее сильных землетрясений с зонами аномально высоких значений полного горизонтального градиента силы тяжести, интерпретируемых как зоны глубинного разлома. Более того, отмечается резкое угловое несоответствие между простираем плоскости разрыва основного толчка и его афтершоковой области с простираем выделенных глубинных нарушений. По гравиметрическим данным для остальных районов также не получено доказательств пространственной приуроченности очагов землетрясений к зонам глубинных разломов. Фактический материал более склоняет к выводу о пространственной приуроченности очагов землетрясений к участкам, выраженным в гравита-

ционном поле зонами пониженных (вплоть до нулевых) значений градиентов его горизонтальной составляющей, которые можно рассматривать как слабонарушенные внутриблоковые участки. Все это позволяет высказать тезис о пространственной разобщенности очаговых зон сильных землетрясений и глубинных разломов [8].

С сеймотектонических позиций для территории Дагестана наибольшего интереса заслуживает морфоструктурный анализ, позволяющий выявить особенности блокового строения субстрата и протрассировать глубинные дизъюнктивы.

В результате анализа удалось выявить систему ранговосоподчиненных положительных и отрицательных морфоструктур и глубинных разломов. Рассматривая пространственную локализацию очагов сильных землетрясений в пределах выделенных морфоструктур, можно отметить, что преобладающее число их приурочено к отрицательным структурам высокого порядка, осложняющим структуры более крупного ранга. Даже в ядре мегантиклинория очаги землетрясения приурочены к осложняющим его грабенообразным структурам. Все это позволило выдвинуть тезис, что «...в структурном отношении очаги сильных землетрясений пространственно тяготеют к отрицательным структурным формам разного порядка» [8].

Региональные и локальные надразломные структуры осадочного чехла, трассирующие глубинные разломы, практически пространственно не совпадают с очагами землетрясений.

Таким образом, фактический материал не подтверждает для сейсмоактивных районов Дагестана представления о пространственной связи очагов землетрясений с глубинными разломами. Возможно, что это объясняется все еще недостаточной точностью ( $\pm 3-10$  км) локализации в пространстве очагов землетрясений по данным инструментальной сейсмологии и схематичностью представлений о глубинном строении по геофизическим материалам и геоструктурному анализу, но другого вывода из имеющегося фактического материала сделать нельзя.

Итак, для сейсмоактивных районов Дагестана в качестве рабочей гипотезы выдвигается внутриблоковая локализация очагов сильных землетрясений, связанных преимущественно с отрицательными структурами, что, естественно, требует разработки соответствующей модели сейсмогенеза. Требуется удовлетворительного объяснения и тот факт, что не все отрицательные морфоструктуры характеризуются современной сейсмичностью. Геоструктурный анализ показал, что асейсмичны те отрицательные морфоструктуры, которые вырождаются в низах осадочной толщи и имеют структурное несоответствие с субстратом. Для объяснения внутриблоковой

локализации очагов сейсмогенеза был применен геодинамический анализ развития наиболее сейсмоактивного района — Дагестанского клина.

Дагестанский клин является частью предгорий Большого Кавказа, где структурные элементы испытывают резкое изменение простирания от субширотного до субмеридионального. В геологическом строении его обращает на себя внимание особенность, состоящая в том, что полосы складчатости с интенсивным надвиганием чередуются с полосами широких пологих корытообразных почти не дислоцированных синклиналей. С одной стороны — следы интенсивного тангенциального стресса и надвигания, с другой — следы раздвигания и проседания. Эти особенности геологического строения осадочной толщи отражают геодинамическое развитие палеозойского субстрата. Формирование современного структурного плана Дагестанского клина связано с длительно протекающими деформациями сдвига вдоль системы региональных глубинных разломов, сопровождающиеся также интенсивными вертикальными подвижками.

Решающая роль в деформации субстрата, где расположены очаги сильных землетрясений, принадлежит глубинным разломам мантийного заложения, контролирующим развитие осевой части Предгорного прогиба (Срединный разлом) и границу между прогибом и мегантиклинорием (Черногорский разлом). Здесь региональные напряжения, связанные с объемными превращениями корового вещества, частично снимаются посредством постоянных подвижек. Одновременно подвижки по разломам порождают косоориентированные скалывающие напряжения в разделяющем их блоке. «...пространство между двумя соседними оперяющими сдвигами испытывает деформацию перекоса, в результате чего образуется система раздвигов и, сопряженных с ними сколов. Над раздвигами структуры осадочного чехла проседают, образуя пологие и широкие синклинали; над сколами структуры осадочного чехла испытывают интенсивное коробление, надвигание и опрокидывание» [9]. В зоне, испытывающей деформацию растяжения, постепенно формируются условия повышенной и высокой проницаемости, которые становятся благоприятным фактором для интенсивной флюидизации этого объема, вплоть до формирования гидротермальных колонн. Постепенно, в процессе своего развития, такая система, посредством гидроразрыва пород вышележащей толщи, может даже достичь поверхности земли и здесь разгружаться в виде термальных и минеральных источников. В зоне надвигания условия для разгрузки глубинного (корового) флюида значительно хуже.

При изучении грунтовых деформаций, вызванных Дагестанским землетрясением 14 мая 1970 года, были выявлены

специфические геологические объекты, которые ранее не привлекали к себе внимания и не картировались (просадочные дупки с кольцевыми песчано-карбонатными дайками, грязевые сальзы, ареалы гидротермального пропаривания и т. д.). Была выяснена тесная пространственная связь их с эпицентральными областями известных сильных землетрясений и с полями интенсивных палеосейсмодеформаций. По месту своей локализации эти формы эндогенной деятельности были связаны с отрицательными морфоструктурами, по проявлениям — с глубинным флюидом [10]. Неглубокое залегание очагов сильных землетрясений и пространственное совпадение их с проявлениями глубинного флюида позволяет высказать тезис об участии глубинного флюида в очаговых процессах корового землетрясения. Все вышесказанное побудило к поиску геологических моделей очаговых зон сильных землетрясений применительно к конкретным геологическим условиям Дагестанского клина.

В качестве физической модели очага мелкофокусного землетрясения с локализацией в пределах земной коры выдвигается следующее положение: сложно деформируемое твердое тело в упругой области формирует поле напряжений с преобладающими участками сжатия и растяжения, которые становятся различными по ряду физических свойств, в том числе, влияющих на его механическую целостность. Физический аналог очага землетрясения — это область растяжения сложно-деформируемого тела с преобладанием сдвиговых напряжений, которая при насыщении флюидом, начинает играть главенствующую роль в разрушении его сплошности.

Внедряющийся флюид активен по отношению вмещающей среды в физико-химическом отношении. Он брекчирует вмещающую среду, используя остаточную естественную трещиноватость и вновь образуемые трещины отрыва (дилатансия), в которых наиболее полно может проявиться расклинивающее давление диффузно формирующихся пленок флюида. Он растворяет стенки вмещающих полостей, образуя гелеобразную пленку, которая; при условии постоянного притока флюида, перемещается вглубь вмещающей среды, очерчивая пространство, где флюид обладает гидравлической связью и способен к пленочной, и струйной миграции. Естественно, что наиболее интенсивной дезинтеграции подвергается внутренняя часть области растяжения. «Тихое» (физико-химическое) разрушение этого объема с одновременным развитием системы гидравлически связанного флюида приводит к формированию внутри тела обособленной структуры с новыми, особыми законами своего внутреннего развития, все менее и менее зависящего от первоначальных породивших (поля упругих напряжений). С момента, когда дезинтегрированная масса тела оказывается фактически «подвешенной» в объеме

гидравлически связанного флюида, то деформируемое тело теряет (окончательно утрачивает) прежнюю механическую однородность. Появление включений с резко отличающимися деформационными свойствами изменяет структуру поля напряжений.

На фоне общего развития деформируемого тела эти включения можно рассматривать как негэнтропийные структуры, увеличивающие во времени свою внутреннюю энергию, массу, усложняя структуру, поскольку эти включения способны в большей мере поглощать энергию (тепловую, упругую, электромагнитную) и вещество на процессы своего внутреннего развития, чем вмещающая среда. Процесс саморазвития этих структур (включений) входит в противоречие со вмещающей средой, и они уже сами выступают как активные элементы деформации, вплоть до разрушения сплошности (гидроразрыв) и разрядки упругих напряжений тела смещением бортов разрыва (землетрясение).

Этой модели в геологическом отношении отвечает область, заключенная между региональными глубинными разломами со значительными новейшими и современными перемещениями, особенно горизонтальными, способными создать сложно-напряженную обстановку деформации межразломного пространства с преобладанием тангенциального стресса. Очаговой зоне землетрясения может соответствовать только внутриблоковая область интенсивной подпитки глубинного флюида, способная поддержать систему в рабочем состоянии при условии развития зон высокой проницаемости.

Из известных тектонических деформаций наиболее полно отвечает указанному условию раздвиг. Однако выделить участки раздвигания в пределах структур высокого порядка трудно, т. к. они в явном виде не проявляются. На основании общих представлений о деформации осадочного чехла можно считать, что над зонами современного раздвигания жесткого сустрата должны формироваться отрицательные морфоструктуры.

Описанная выше модель нарушения сплошности тела находит полную аналогию в интенсивном геодинамическом процессе — естественном гидроразрыве пород, который следует считать важнейшим элементом сейсмогенеза. Здесь не приводится механизм естественного гидроразрыва; поскольку это тема отдельного исследования. Однако, очевидно, что в процессе гидроразрыва происходит достижение критических условий сплошного разрушения с последующим смещением бортов образовавшегося разрыва, вызывая землетрясение. При смещении бортов сейсмогенного разрыва вода из этой зоны в определенных объемах внедряется в вышележащую толщу по типу гидроинтрузии. При длительном развитии сейсмогенерирующего процесса глубинный флюид очага земле-

трясения может достигнуть поверхности земли и разгрузаться в виде минеральных термальных источников. Косвенное подтверждение этому мы находим в пространственном совпадении с эпицентрными зонами термальных источников и других проявлений эндогенной деятельности.

Таким образом, при принятии флюидной модели сейсмического очага, наряду с сейсмостатистическим материалом, критериями для выделения сейсмически активных зон являются: геоморфологические (отрицательные морфоструктуры), естественные выходы термальных минеральных вод и аномально высокие температуры на малых глубинах, геохимические аномалии глубинных компонентов (водород, гелий, редкие металлы) и др., рассматриваемые на фоне существования благоприятной геодинамической ситуации.

Указанные критерии были использованы для выделения сейсмогенерирующих структур различного ранга. При таком подходе в сферу научного прогноза попадают фундаментальные явления геологической природы, хорошо известные в смежных областях знания (гидрогеология, геотермия, физико-химическая механика, вулканизм и т. д.): Флюидная модель очага требует значительно большего объема геолого-геофизических материалов и известных физико-химических закономерностей, чем используемые модели ЛНТ и ДД [3, 4]. Привлечение новых природных процессов к объяснению сейсмогенеза несомненно усложняет условия создания удовлетворительной его модели. Однако, глобальная пространственная сопряженность вулканических и сейсмически активных областей, развитых в областях высокой проницаемости литосферы, позволяет надеяться, что изложенная выше флюидная модель сейсмического очага, являясь в своей основе верной, поможет лучше познать условия сейсмогенеза и создать в будущем удовлетворительную его модель.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Губин И. Е. О картах сейсмического районирования с сейсмогенными (очаговыми) зонами. — В кн.: Сейсмоструктура некоторых районов Юга СССР. М.: Наука, 1976, с. 6—25.
2. Костров Б. В. Механика очага землетрясения. — М.: Наука, 1975, 176 с.
3. Райс Дж. Механика очага землетрясения. — М.: Мир, 1982, 217 с.
4. Две модели объяснения предвестников землетрясения. (В. Ф. Брейс, В. И. Мячкин, Дж. Х. Дитрих, Г. А. Соболев. — Сб. совет.-амер. работ по прогнозу землетрясений. — Душанбе — Москва: ДОНИШ, т. 1, кн. 2, с. 9—21).

5. Мячкин В. И. Процессы подготовки землетрясений. — М.: Наука, 1978, 232 с.

6. Рустанович Д. Н., Смирнова М. Н. Геофизические условия возникновения Дагестанского землетрясения 1970 г. — В кн.: Геофизические поля и сейсмичность. М.: Наука, 1975, с. 38—47.

7. Бражник В. М. О методике геологической интерпретации гравиметрических данных при изучении глубинного строения Дагестанского клина. — В кн.: Сейсмичность и гидрогазогеохимия территории Дагестана. Махачкала, 1978, с. 195—201.

8. Геодинамический эффект создания крупных водохранилищ в сейсмоактивных областях /Р. А. Левкович, Г. И. Дейнега, С. А. Каспаров, Ш. Г. Идармачев, Г. С. Казарьянц, А. Г. Дейнега, Г. Н. Омаров. — М.: Наука, 1982, 76 с.

9. Каспаров С. А. Сероводородное заражение подземных вод как показатель геодинамической обстановки. — В кн.: Сейсмичность и гидрогазогеохимия терр. Дагестана. Махачкала, 1978, с. 142—147.

10. Левкович Р. А., Каспаров С. А. Геологические модели сейсмогенных и сейсмогенерирующих объектов. — В кн.: Сейсмологический бюллетень Кавказа (1974). Тбилиси: Мецниереба, 1976.

Б. А. Гранит  
МИСИ им. В. В. Куйбышева

### СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МАЙКОПСКИХ ГЛИН ПРЕДКАВКАЗЬЯ

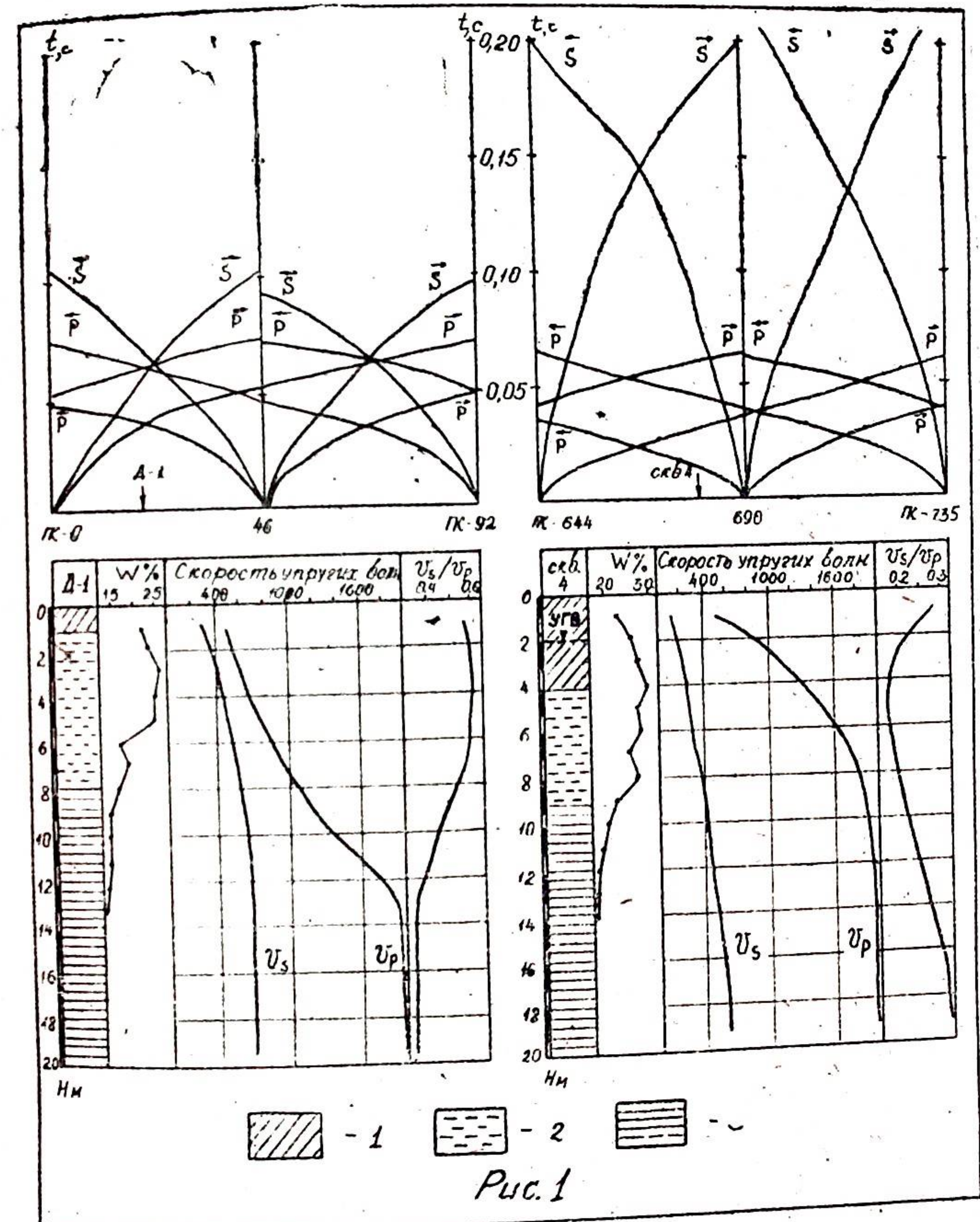
При изысканиях под различные виды строительства, а также при работах по сейсмическому микрорайонированию, изучение инженерно-геологических условий залегания майкопских глин представляет большой практический интерес. В настоящее время свойства и строение майкопских глин изучаются в основном с помощью инженерно-геологических полевых и лабораторных методов, что не всегда отражает реальную картину условий залегания пород «in situ», особенно при оценке мощности коры выветривания.

Работы, проведенные с участием автора в 1977—1979 гг. на территории Кавказских Минеральных Вод (КМВ) и Калмыкии ПНИИСом под руководством Н. И. Кригера и А. Д. Кожевникова, показали, что сейсморазведочные исследования позволяют изучать условия залегания майкопских глин непосредственно в массиве.

Сейсморазведочные наблюдения проводились методом преломленных волн МПВ с получением корреляционно увязанных систем годографов длиной ~100 м, что позволяло изучить разрез до глубины порядка 20 м. Работы велись с помощью 24-канальной сеймостанции «Поиск-1-24СМ» с сейсмоприемниками СВ-110 и СГ-110. Шаг между сейсмоприемниками  $\Delta x=2$  м. Возбуждение упругих волн ударное (кувалда весом 10—15 кг). Регистрировались продольные Р-волны по схеме ZZ (вертикальные удары и вертикальные сейсмоприемники) и поперечные S-волны по схеме УУ (горизонтальные удары и горизонтальные сейсмоприемники).

Анализ волнового поля по сейсмограммам и годографам Р и S волн (рис. 1 и 2) показал, что на всех изученных участках кажущаяся скорость Р и S волн непрерывно возрастает с удалением от пункта удара ПУ, вызывая криволинейность годографов, построенных по первым вступлениям. Нагоняющие годографы не параллельны нагоняемым. Отсутствие четких точек перегиба на годографах указывает на то,

что в изучаемой среде нет резких преломляющих границ. Перечисленные особенности позволяют отнести Р и S волны к классу рефрагированных, а толщу глинистых образований на изученных участках считать градиентной средой с неравномерным возрастанием скорости с глубиной.



Инженерно-геологические данные, годографы и графики  $V(h)$  для сухих (а) и обводненных (б) майкопских глин КМВ.

- 1 — делювиальные глины
- 2 — элювиальные глины
- 3 — коренные глины

Для определения истинных значений скорости продольных  $V_P$  и поперечных  $V_S$  волн и их изменения с глубиной  $V(h)$  применялась методика и алгоритмы, разработанные В. И. Бондаревым [1] и реализованные в программах «Градиент» для ЭВМ «Наири-2М» и «Грунт» для ЕС-1022. По этим программам обработаны все материалы сейсморазведки.

Изучение взаимосвязи инженерно-геологических и гидрогеологических условий залегания майкопских глин с их сейсмическими (скоростными) характеристиками осуществлялось путем сопоставления этих свойств, полученных в различных районах Предкавказья.

Результаты проведенных исследований изложим на примере двух участков, один из которых находится в районе п. Бородыновка (КМВ), а другой — в г. Элиста (Калмыкия).

**Участок «Бородыновка».** На рис. 1, а и б, приводятся результаты параллельных инженерно-геологических и сейсморазведочных исследований. Для сопоставления выбраны площадки с примерно одинаковой мощностью и строением коры выветривания, но с разными инженерно-геологическими и гидрогеологическими условиями залегания глин [2].

Дудка I пройдена на межоползневом гребне. Грунтовые воды здесь отсутствуют. Влажность элювия составляет 20—23%, плотность  $\gamma_{ск} = 1,4—1,5$  г/см<sup>3</sup>. При переходе к коренным глинам влажность снижается до 16,5—18%, а  $\gamma_{ск}$  увеличивается до 1,7 г/см<sup>3</sup>. Площадка у скв. 4 расположена в основании оползневого склона. Здесь, по данным бурения, вскрыт наиболее обводненный на участке «Бородыновка» разрез. В делювиальных отложениях  $W=24—28\%$ ,  $\gamma_{ск} = 1,4—1,6$  г/см<sup>3</sup>. Элювиальные отложения имеют влажность 28—30% и  $\gamma_{ск} = 1,3—1,6$  г/см<sup>3</sup>. К элювию приурочены грунтовые воды, уровень которых после вскрытия устанавливается в делювиальных отложениях на глубине 2 м. На глубине 9—10 м, по данным бурения, залегают коренные глины с  $W=18—20\%$  и  $\gamma_{ск} > 1,6$  г/см<sup>3</sup>.

Различие инженерно-геологических условий изменяет упругие характеристики пород, что проявляется в заметном изменении вида годографов и рассчитанных по ним скоростных характеристик изучаемых геологических разрезов. Проанализируем особенности  $V_P(h)$ ,  $V_S(h)$  и  $V_S/V_P(h)$ , полученных в различных условиях.

График  $V_P(h)$  для необводненных (сухих) майкопских глин (рис. 1, а) представляет собой сложную кривую, которая до глубины ~12 м имеет вогнутую в сторону оси Oh форму. На глубине 12 м эта кривая имеет выраженную точку перегиба, которая литологически соответствует переходу от элювия к коренным глинам, после чего кривая  $V_P(h)$  становится выпуклой, а величина  $V_P$  быстро приближается к значе-

нию  $V_P = 1900$  м/с, характерному для коренных майкопских глин КМВ.

При обводнении или высокой влажности пород, слагающих разрез майкопских глин, скорость  $V_P(h)$ , как видно из рис. 1, б, интенсивно возрастает в верхней части разреза и уже на глубине 4—6 м достигает 1400—1600 м/с, что соответствует полному водонасыщению пород [3]. График  $V_P(h)$  для обводненных глин на всем протяжении имеет выпуклую форму, а максимальная кривизна этой кривой соответствует переходу от элювия к коренным глинам, после чего кривая асимптотически приближается к значению  $V_P = 1900$  м/с.

Графики  $V_S(h)$  для сухих и обводненных глин имеют однотипный характер, скорость поперечных волн постепенно и закономерно увеличивается с глубиной. Кривые  $V_S(h)$  имеют выпуклую форму и достигают своего асимптотического значения на уровне кровли коренных глин. Необходимо отметить значительное снижение скорости поперечных волн по всей глубине разреза при обводнении майкопских глин. Из сопоставления графиков  $V_S(h)$  на рис. 1, а и б, видно, что значения  $V_P$  для сухих глин изменяется от 300 м/с в верхней части разреза до 650 м/с в коренных породах. При обводнении глин величина  $V_S$  существенно уменьшается и составляет 150—400 м/с в элювиально-делювиальных отложениях и ~500 м/с в коренных глинах. Этот эффект связан с ухудшением (снижением) прочностных свойств майкопских глин при увеличении их влажности до границы раскатывания [5].

Рассмотрим графики  $V_S/V_P(h)$  для этих разрезов. Величина отношения  $V_S/V_P$  для сухих элювиально-делювиальных образований нелинейно изменяется от 0,6 до 0,35, а график  $V_S/V_P(h)$  на рис. 1а имеет выпуклую форму и точку перегиба на уровне кровли коренных глин. В случае обводненных глин величина отношения  $V_S/V_P$  изменяется от 0,18 до 0,35, а вид графика  $V_S/V_P(h)$  на рис. 1, б имеет вогнутую форму с точкой перегиба также на уровне коренных глин. Величина отношения  $V_S/V_P$  в коренных майкопских глинах КМВ в обоих случаях составляет ~0,35.

Аналогичные исследования были проведены в 1979 г. в Калмыкии, в районе г. Элисты. Результаты этих работ приводятся на рис. 2, а и б. Геологический разрез у скв. 3 (рис. 2, а), расположенной в верхней части пологого склона, представляет собой майкопские глины с мощным (~12 м) слоем сухих элювиальных образований. Грунтовые воды отсутствуют. Влажность элювия здесь изменяется от 38 до 32%, плотность скелета  $\gamma_{ск} = 1,3—1,4$  г/см<sup>3</sup>, в коренных глинах  $W=30\%$ ,  $\gamma_{ск} > 1,5$  г/см<sup>3</sup>. Обводненные майкопские глины были изучены у скв. 5. Уровень грунтовых вод вскрыт в элювии на глубине 6 м. Влажность элювия выше УГВ составляет 32—38%,  $\gamma_{ск} = 1,3—1,4$  г/см<sup>3</sup>. Ниже УГВ влажность

Элювия равна 40—42%,  $\gamma_{ск} = 1,3—1,5 \text{ г/см}^3$ . В коренных глинах  $W=30—32\%$ ,  $\gamma_{ск} > 1,5 \text{ г/см}^3$ .

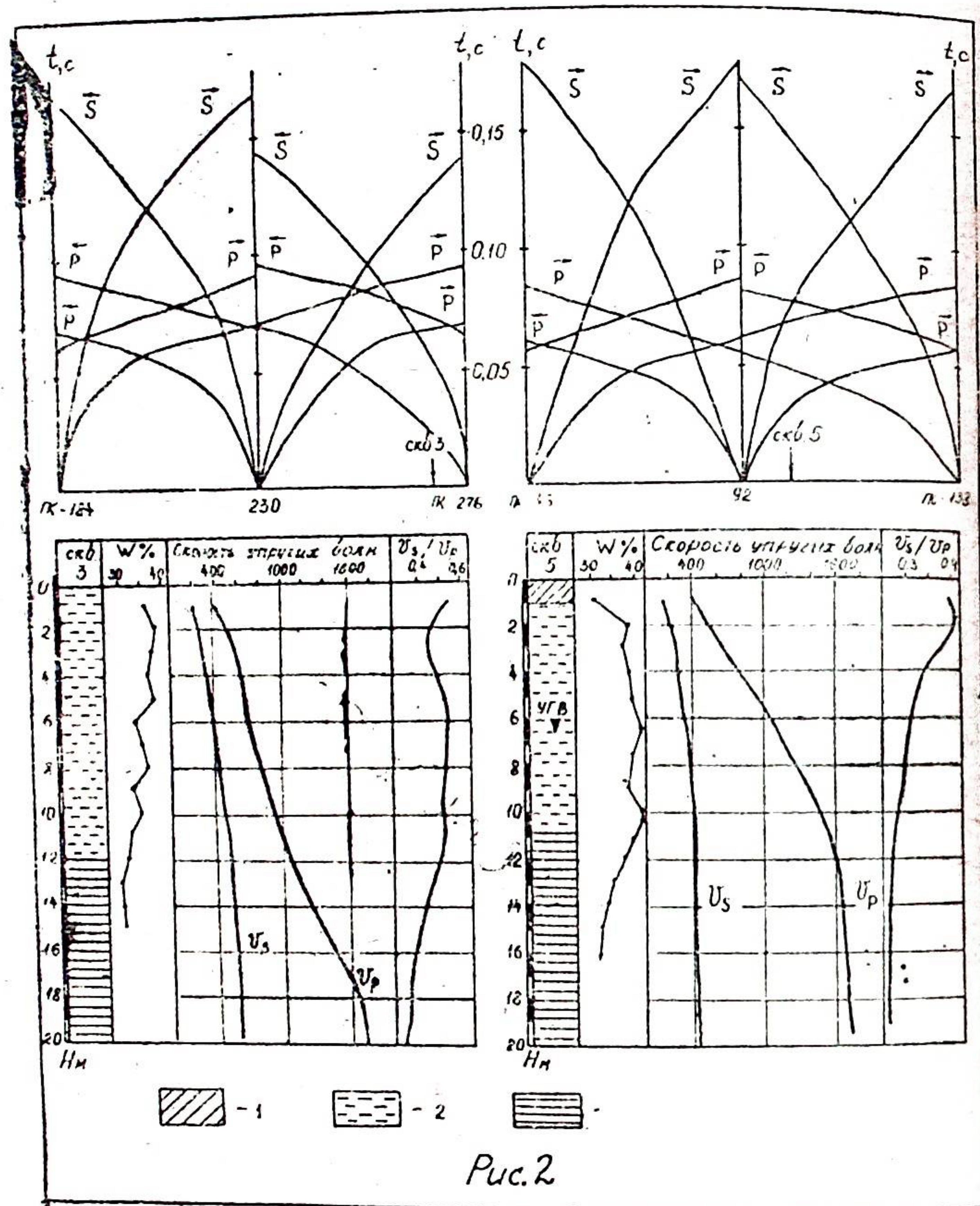


Рис. 2

Инженерно-геологические данные, годографы и графики  $V(h)$  для сухих (а) и обводненных (б) майкопских глин Калмыкии.

- 1 — делювиальные глины
- 2 — элювиальные глины
- 3 — коренные глины

Для майкопских глин Калмыкии вид и характер изменения графиков  $V_p(h)$ ,  $V_s(h)$  и  $V_s/V_p(h)$  на участках с различными инженерно-геологическими условиями в целом

тот же, что и для майкопских глин КМВ. Однако необходимо отметить, что в целом скорости упругих волн в майкопских глинах Калмыкии на 15—20% ниже, чем в глинах КМВ. Для обводненных глин это различие еще выше, а величина  $V_s/V_p \approx 0,35$ , которая является стабильным сейсмическим параметром коренных майкопских глин в различных районах Предкавказья, в обводненных коренных глинах Калмыкии снижается до 0,26.

Результаты проведенных исследований майкопских глин позволяют определить наиболее значительные инженерно-геологические факторы, которые влияют на изменение скоростных характеристик. К таким факторам относятся условия залегания майкопских глин, трещиноватость элювия, его обводненность и минералогический состав глин.

Различие условий залегания определяется в основном рельефом. На возвышенностях и межоползневых гребнях мощность коры выветривания достигает максимальных значений (до 15—20 м). Элювий здесь обладает сильно развитой горизонтальной макро- и микротрещиноватостью, которая уменьшается вниз по разрезу [4, 7]. Вода в трещинах имеется лишь в незначительном количестве. На участках с пологим рельефом, на оползневых склонах в элювии майкопских глин формируются локальные водоносные горизонты, которые замедляют процесс выветривания, что выражается в уменьшении мощности элювиальной зоны. Трещиноватость в обводненном элювии снижена за счет того, что глины в данном случае находятся в состоянии набухания.

Сопоставляя графики  $V_p(h)$ ,  $V_s(h)$ ,  $V_s/V_p(h)$  для участков с разными инженерно-геологическими условиями, видим, что эти графики (рис. 1 и 2) различны, особенно для верхней выветрелой зоны майкопских глин. В толще сухих элювиальных отложений изменение  $V_p(h)$  происходит по экспоненциальному закону, приближенно описываемому уравнением  $V_p = pe^{mh}$ , а в толще обводненных элювиальных образований изменение  $V_p(h)$  хорошо описывается уравнением степенной функции вида  $V_p = nh^m$ . Этим же уравнением описывается изменение  $V_s(h)$  и для сухих и для обводненных глин. Для однозначной оценки инженерно-геологических свойств майкопских глин по данным сейсморазведки необходимо определить физический смысл и значение коэффициентов  $p$  и  $m$  в уравнениях, описывающих графики  $V(h)$ . Представляется, что коэффициент  $p$  связан с влажностью изучаемых пород, а  $m$  — с их трещиноватостью (количеством трещин на единицу длины). Например, в коренных майкопских глинах, где трещиноватость отсутствует ( $m=0$ ), величины  $V_p$  и  $V_s$  практически постоянны и определяется только влажностью пород, а уравнение  $V(h)$  приобретает вид  $V=p$ , т. е. прямая, параллельная оси  $Ox$ . Нахождение

$p$  и  $m$  усложняется тем, что они не являются постоянными для данного геологического разреза, однако решение этой задачи возможно, так как влажность и трещиноватость пород в выветрелой зоне в зависимости от инженерно-геологических условий имеет строго определенный интервал. Возможно, такой подход позволит найти набор синтетических коэффициентов  $p$  и  $m$ , постоянных для определенного типа геологического разреза [6].

Отметим еще особенности, которые были выявлены при изучении майкопских глин. Во-первых, из рис. 1, а и 2, а видно, что в случае необводненного разреза граница кровли коренных глин по данным сейсморазведки картируется ниже, чем по данным бурения, что объясняется наличием трещин в «коренных», по данным бурения, глинах. Во-вторых, установлено, что содержание монтмориллонита оказывает заметное влияние на величину  $V_p$  в майкопских глинах и практически не влияет на  $V_s$  в них. Так как наличие монтмориллонита и его количество в составе майкопских глин непосредственно связано с их способностью поглощать и удерживать воду, то становится ясным механизм влияния минерального состава на упругие свойства породы. Этот механизм связан с изменением влажности пород. Так, например, в коренных глинах КМВ  $W=15-17\%$ , содержание монтмориллонита в гидрослюдистых смешанно-слоистых образований в глинистой фракции составляет около  $30\%$ , а в коренных глинах Калмыкии  $W=30\%$ , монтмориллонита —  $40-50\%$  и, как следствие этого, скорости продольных волн здесь на  $15-20\%$  ниже, чем в глинах КМВ.

Таким образом, исследование майкопских глин с помощью сейсморазведочных методов позволяет изучать инженерно-геологические условия залегания и свойства майкопских глин. Вид и характер зависимостей  $V_p(h)$ ,  $V_s(h)$  и  $V_s/V_p(h)$  позволяет выявлять сухие и обводненные участки майкопских глин, определять мощность коры выветривания, а также судить об изменении свойств майкопских глин (минералогический состав, влажность, трещиноватость и т. д.) в различных районах Предкавказья и для различных типов геологических разрезов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бондарев В. И. Сейсмический метод определения важнейших физико-механических характеристик нескальных грунтов. — Автореферат диссертации. Свердловск, 1978.
2. Гранит Б. А., Миронюк С. Г. Зависимость скорости упругих волн

от влажности и выветрелости майкопских глин. — В кн.: Физические поля и сейсмические свойства горных пород. М.: Стройиздат, 1981, с. 30—41.

3. Кригер Н. И., Кожевников А. Д. О значении явлений переноса для формирования сейсмических свойств пород. — В кн.: Инженерно-геологическая основа СМР: Ташкент, ФАН, 1977, с. 64—75.

4. Макеев З. А. Инженерно-геологическая характеристика майкопских глин. — М.: Изд-во АН СССР, 1963, 267 с.

5. Миронюк С. Г. Пороговые значения влажности в элювии и делювии майкопских глин. — Инженерные изыскания в строительстве. — Реф. сб. 15, ЦИНИС, 1979, вып. 6, с. 4—6.

6. Николаев А. В. Сейсмические свойства грунтов. — М.: Наука, 1965, 184 с.

7. Белый Л. Д. | Гранит Б. А., Ляпунова Г. М. Связь анизотропии скорости упругих волн в глинистых породах с экзогенной трещиноватостью и макропористостью. Настоящий сборник.

Ш. Ш. Загиров  
ДагПТИОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ РАЗВИТИЯ ПРОЦЕССОВ  
И ОПТИМИЗАЦИЯ ИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Одним из основных факторов, определяющих устойчивость массивов горных пород, а также возведенных на них зданий и сооружений, являются различные процессы (геологические, геотехнические или инженерно-геологические). Поэтому оценка параметров развития процессов является актуальной задачей. Решение этой задачи требует прежде всего наличия определенной исходной информации об особенностях развития процессов. Причины их развития и степень влияния отдельных из них могут изменяться во времени с изменением инженерно-геологических условий. Это обстоятельство требует систематического изучения режима и причин развития процессов.

За изменением геологической среды и развитием процессов ведутся режимные наблюдения. В отличие от информации, накапливаемой в ходе инженерно-геологических изысканий за короткий промежуток времени, наблюдения за процессами (подтопление, деформации, оползни, выветривание, осадконакопление, изменение состояния мерзлых грунтов и т. д.) ведутся за длительный период.

На развитие процессов влияет комплекс факторов, которые не всегда поддаются непосредственному учету. Эти факторы, как правило, носят случайный характер и поэтому количественно их можно характеризовать с привлечением вероятностных мер. На практике, идя на определенные упрощения, выделяют доминирующие факторы и развитие процесса изучают в зависимости от них или же изучение процесса проводится с учетом конкретного интересующего направления (например, влияние теплового режима сооружения на состояние мерзлых грунтов, поднятия уровня грунтовых вод на просадочные явления и т. д.). Часто ограничиваются изучением конкретного фактора (развитие деформации, изменение несущей способности и т. д.), который в итоге определяет безопасную работу сооружения и устойчивость массивов.

Такое рассмотрение приближает непосредственно к методике проектирования сооружений по предельным состояниям.

Для конкретности допустим, что процесс изучается как развитие деформации во времени (дальнейшие соображения носят общий характер и применимы при соблюдении соответствующих ограничений по отношению любого параметра изучаемого процесса), и ее величина сверху ограничена предельно допустимым значением, то есть не должна быть больше предельного значения, устанавливаемого из тех или иных соображений (указаний СНиПов, других нормативных документов, технико-экономических соображений и т. д.). В такой ситуации состояние процесса количественно можно характеризовать вероятностью достижения предельного состояния и времени, за которое оно может быть достигнуто. Для их оценки необходимо располагать методикой оптимального исследования, выполнение которой обеспечивает необходимую точность статистических параметров, используемых при их определении. Такое рассмотрение процессов требует при их изучении привлечения методов теории случайных функций (процессов), в частности методов изучения выбросов (1,4 и др.).

Приведем общие определения, которыми в дальнейшем будем пользоваться.

Выбросом называется пересечение случайной функцией  $R(t)$  заданного уровня «b». В общем случае уровень «b» зависит от требований конкретной задачи. Например, при изучении деформаций в качестве заданного уровня можно принимать их предельно допустимые значения и условие отсутствия выброса запишется как  $R(t) \leq b$ .

Вероятность выброса (превышения предельного состояния) здесь будет равна [4]:

$$P(t) = P[b - V(t) dt < R(t) < b], \quad (1)$$

где  $V(t) = \dot{R}(t)$  — производная от случайной функции  $R(t)$ ;  $dt$  — бесконечно малый промежуток времени, за который выброс ожидается и следующий за  $t$ .

Вероятность  $P(t)$  вычисляется как [4]:

$$P(t) = dt \int_0^{\infty} f(b, V/t) V dV, \quad (2)$$

а при знании временной плотности для вероятности выброса  $P(b/t)$

$$P(t) = P(b/t) dt, \quad (3)$$

где  $P(b/t) = \int_0^{\infty} f(b, V/t) V dV. \quad (4)$

Если выброс ожидается за нижний заданный уровень (например, при уменьшении прочности просадочных грунтов при увлажнении), то плотность вероятности выброса равна

$$P'(b/t) = - \int_0^{\infty} f(b, V/t) V dV. \quad (5)$$

В теории случайных функций (процессов) различаются стационарные и нестационарные функции. Заметим, что функция считается стационарной в широком смысле, если математическое ожидание и дисперсия постоянны, а корреляционная функция зависит только от разности моментов времени [1, 4]. При этом, если не постоянно только математическое ожидание, то функцию можно изучать как стационарную с нулевым математическим ожиданием [1]. Нестационарные процессы являются наиболее общими, но их изучение связано с определенными трудностями, вызванными зависимостью от времени плотности распределения ординат случайной функции, плотности двумерного закона распределения ординаты и ее производной. Для стационарных функций эти плотности не зависят от времени, поэтому для них интегрирование по времени  $t$  можно заменить умножением на рассматриваемый период времени  $T$ .

Часто встречающиеся геологические и геотехнические процессы являются нестационарными. К указанным выше трудностям их изучения добавляется еще ограниченность соответствующей информации, из-за чего невозможно определить достоверные статистические характеристики.

Если функция нестационарна во всем промежутке времени, то часто при её изучении можно выделить определенные периоды времени, в пределах которых соблюдаются условия стационарности, и изучить их как стационарные функции.

Среднее время прибывания стационарной случайной функции выше заданного уровня за фиксированный период времени определяется из выражения [4]:

$$t = T \int_b^{\infty} f(R) dR, \quad (6)$$

где  $T$  — фиксированное время;  $f(R)$  — плотность распределения ординат случайной функции  $R(t)$ .

Среднее число выбросов за это же время равно:

$$\bar{n} = T \int_0^{\infty} V f(b, V) dV. \quad (7)$$

Средняя длительность выброса

$$\tau = \frac{\int_b^{\infty} f(R) dR}{\int_0^{\infty} V f(b, V) dV}. \quad (8)$$

При этом среднее число выбросов в единицу времени определяется как  $\bar{\gamma} = \bar{n}/T$  или же непосредственно по отношению

$$\bar{\gamma} = \int_0^{\infty} V f(b, V) dV. \quad (9)$$

В дальнейшем ограничимся рассмотрением стационарных геотехнических и геологических процессов или тех, что при определенных ограничениях можно изучать как стационарные.

С учетом приведенных соотношений можно определить время  $T_b$ , в течение которого не произойдет ни один выброс, то есть ордината случайной функции не превысит заданный уровень. Для этого допустим, что стационарный процесс изучается за время  $T$ . Тогда за это время в среднем будет  $\bar{\gamma}T$  выбросов, а ордината случайной функции будет находиться вне заданного уровня в течение времени  $\bar{\tau} \bar{\gamma} T$ . При этом время, за которое не произойдет выброс, равно  $T_b = T(1 - \bar{\tau} \bar{\gamma})$  или с учетом (7) и (8) (5.63) получаем

$$T_b = T(1 - \int_0^{\infty} f(R) dR). \quad (10)$$

При практическом пользовании приведенными соотношениями необходимо располагать плотностями вероятности. Если процесс нормальный, то есть имеются основания считать закон распределения ординат случайной функции нормальным, то для восстановления плотности вероятности достаточно знать математическое ожидание и дисперсию. При этом дисперсия будет равна:

$$\sigma_R^2 = K_R(\tau)_{\tau=0}, \quad (11)$$

где  $K_R(\tau)$  — корреляционная функция случайной функции, описывающей данный процесс, и в качестве которой можно принимать одно из широко известных выражений [4]. Конкретное выражение выбирается в каждом случае с учетом

априорных соображений, а параметры определяются путем обработки соответствующих данных наблюдений за параметром процесса.

Плотность вероятности в данном случае выражается как

$$f_R = \frac{1}{\sigma_R \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{(R-\bar{R})^2}{2\sigma^2_R}\right] \quad (12)$$

где  $\bar{R}$  — среднее значение случайной функции. При замене случайной функции с переменным математическим ожиданием случайной функцией с математическим ожиданием, равным нулю,  $\bar{R}=0$ .

Для заданного момента времени - ордината случайной функции и ее производная, взятые в тот же момент времени, являются некоррелированными, а для нормального процесса и независимыми случайными величинами [4]. Тогда двумерная плотность распределения вероятности  $f(R, V)$  для нормального процесса можно представить в виде:

$$f(R, V) = \frac{1}{\sigma_R \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{(R-\bar{R})^2}{2\sigma^2_R}\right] \cdot \frac{1}{\sigma_V \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{V^2}{2\sigma^2_V}\right] \quad (13)$$

Дисперсия скорости изменения ординаты случайной функции при этом равна:

$$\sigma^2_V = -\frac{d^2}{d\tau^2} K_R(\tau) \Big|_{\tau=0} \quad (14)$$

а математическое ожидание  $\bar{V}=0$ .

Сравнение выражений (4) для определения плотности вероятности и (9) для определения среднего числа выбросов в единицу времени показывает, что  $P(b) = \bar{V}$ . Тогда с учетом (13) получаем:

$$P(b) = \frac{\sigma_V}{2\pi\sigma_R} \cdot \exp\left[-\frac{(b-\bar{R})^2}{2\sigma^2_R}\right] \quad (15)$$

С учетом (15) выражение (3) для определения вероятности выброса принимает вид:

$$P = \frac{\sigma_V}{2\pi\sigma_R} \cdot \int_0^T \exp\left[-\frac{(b-\bar{R})^2}{2\sigma^2_R}\right] \cdot dt \quad (16)$$

На практике выбросы вовсе не допускаются или же являются редкими событиями. Считая при этом их и независимыми событиями, число выбросов за время  $T$  можно считать подчиняющимся закону Пуассона. Тогда вероятность события, заключающегося в том, что в течение времени  $T$  не произойдет ни один выброс за заданный уровень, в случае стационарного процесса будет равна [4]:

$$P_0 = 1^{-\bar{n}} \quad (17)$$

где  $\bar{n}$  определяется из выражения (7).

В частности, при нормальном стационарном процессе имеем [4]:

$$P_0 = \text{EXP}\left\{-\frac{T}{2\pi} \sqrt{\frac{K_R(\tau)}{K_R(\tau)} \Big|_{\tau=0}} \cdot \exp\left[-\frac{(b-\bar{R})^2}{2\sigma^2_R}\right]\right\} \quad (18)$$

где  $\ddot{K}_R = \frac{d^2}{d\tau^2} \cdot K_R(\tau)$  — вторая производная от корреляционной функции  $K_R(\tau)$ .

При этом выражение (10) для определения времени, в течение которого не произойдет выброс, имеет вид:

$$T_b = T \left\{ 1 - \frac{1}{2} \left[ 1 - \Phi\left(\frac{b-\bar{R}}{\sigma_R}\right) \right] \right\} \quad (19)$$

где  $\Phi\left(\frac{b-\bar{R}}{\sigma_R}\right)$  — интегральная функция Лапласа.

При практическом пользовании приведенными здесь соотношениями необходимо знать статистические характеристики параметра изучаемого процесса — среднее значение, дисперсию, корреляционную функцию. Получение их достоверных значений требует достаточного количества информации, обес-

печивающего необходимую точность и надежность определяемых характеристик. Как показано в [3], при использовании модели случайной функции требуется большое количество информации.

Для обоснования интервала дискретизации ряда наблюдений за развитием процесса в данном случае можно пользоваться результатами [3], выбрав соответствующее выражение в зависимости от того, оценивается ли математическое ожидание или корреляционная функция. Если требуется оценить обе характеристики, то необходимо пользоваться тем соотношением, расчет по которому дает меньшее значение интервала дискретизации ряда наблюдений.

В данном случае в качестве параметра корреляционной функции  $\tau$  следует рассматривать интервал времени, через который производится наблюдение за изучаемой характеристикой процесса.

Если, например, в качестве корреляционной функции рассматриваемого процесса принять выражение

$$K(\tau) = \sigma^2 e^{-\alpha|\tau|} \left( \cos \beta\tau + \frac{\alpha}{\beta} \sin \beta\tau \right), \quad (20)$$

то вероятность того, что за данное время не произойдет ни один выброс, определится из выражения:

$$P_0 = \text{EXP} \left[ -\frac{T}{2\pi} \sqrt{\alpha^2 + \beta^2} \cdot 1 - \frac{(b-R)^2}{2\sigma^2 R} \right]. \quad (21)$$

Анализ выражения (21) показывает, что вероятность невозможности выброса уменьшается с возрастанием периода времени  $T$ , за который изучается процесс, и параметров корреляционной функции  $\alpha$  и  $\beta$ , характеризующих структуру процесса. Эта вероятность также уменьшается с возрастанием неоднородности процесса.

Приведенные здесь соображения могут служить теоретической базой, позволяющей количественно характеризовать состояние различных процессов. Если рассматриваются геотехнические процессы, то вероятность невозможности выброса (превышения предельного значения) должна быть не ниже требуемой надежности за весь период эксплуатации сооружения. Что касается времени, за которое эта надежность должна быть обеспечена, то в качестве него можно принимать нормативный срок эксплуатации зданий и сооружений.

1. Болотин В. В. Применение теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений.— М.: Стройиздат, 1971, 255 с.
2. Вейтцель Е. С. Теория вероятностей.— М.: Наука, 1969, 572 с.
3. Загиров Ш. Ш. О необходимом интервале дискретизации ряда наблюдений при инженерно-геологических исследованиях.— Тр. ИГ Даг. ФАН СССР, 1980, вып. 4(24), с. 147—157.
4. Свешников А. А. Прикладные методы теории случайных функций.— М.: Наука, 1968, 463 с.

Г. Н. Назаров  
Дагестангражданпроект

## СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИРАЩЕНИЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ПО КОЛИЧЕСТВЕННЫМ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Обосновывается способ определения приращений сейсмической интенсивности по прочностным показателям пород. Используя данные о приведенных коэффициентах крепости пород по разрезу на основе полученных автором соотношений представляется возможным, аналогично тому, как и при наличии данных об акустических жесткостях пород, оценить составляющие приращений сейсмической интенсивности, обусловленные влиянием изменения крепости массива и обводненности пород. Полученная зависимость приращения интенсивности, по обобщенному показателю крепости пород, является практически аналогом той составляющей приращения сейсмической интенсивности, которая в зависимости, выведенной С. В. Медведевым, обусловлена изменением акустической жесткости.

Поскольку уровень напряжений в сейсмических волнах при землетрясениях практически соответствует тем, которые имеют место при измерениях модулей деформаций и прочностных характеристик, а не тем, которые возникают при проведении сейсморазведочных исследований, то соответственно прочностные характеристики могут лучше коррелировать с проявлениями сейсмичности.

Прямое определение скоростей распространения продольных и поперечных волн в основаниях сооружений при значительных сейсмических нагрузках, соответствующих интенсивностям воздействий в 7—9 баллов, в ближайшее время следует считать практически не осуществимым, поэтому более перспективным направлением для повышения точности СМР является использование прочностных или деформационных характеристик грунтов, получаемых при инженерно-геологических исследованиях.

Показатели прочности, также как и модули деформации, могут быть использованы в качестве характеристик не только упругости, но и остаточной деформируемости грунтов. Следовательно, показатели прочности грунтов являются важ-

ным фактором, который определяет соответствующую деформируемость сооружений.

Даны формулы для определения средней крепости анализируемой толщи по значениям прочностных показателей слагающих ее пластов и формулы определения приращений сейсмической интенсивности на основе инженерно-геологических данных.

Приращение сейсмической интенсивности, обусловленное резонансом, физически связывается с чисто волновыми явлениями и обнаруживает не прямые, а лишь косвенные связи с коэффициентом крепости. Так же как и по РСМ-73 приращения интенсивности за резонанс определяют по параметрам  $m$  и  $s$ . Параметры  $m$  и  $s$  при этом определяются, исходя из данных о коэффициенте крепости подстилающей ее более жесткой толщ, о глубине кровли и экспериментальных значениях периода колебаний  $T$ .

Предложены рекомендации к применению способа определения приращений сейсмической интенсивности по обобщенным коэффициентам крепости грунтов.

А. Д. Абакаров, П. И. Крамынин  
ДагПТИ, ЦНИСК

## ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ ПЛОЩАДОК ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА СЕЙСМОСТОЙКИХ ЗДАНИЙ В г. МАХАЧКАЛЕ

### ВВЕДЕНИЕ

В сейсмоактивных районах особую опасность для зданий и сооружений представляют сейсмические волны, возникающие при землетрясении, и особенно, генерируемые самими сооружениями, за счет резонансных колебаний.

Существующая в настоящее время оценка сейсмической опасности площадки строительства детерминированной величиной — расчетным баллом — не отражает с достаточной полнотой и определенностью той совокупности количественной информации, которая необходима для проведения оптимизационных расчетов сооружений на сейсмостойкость.

В этом случае важно знать закон колебаний грунта, поскольку сейсмостойкость сооружения зависит также от их конструктивных решений, динамических характеристик и особенностей колебания основания. Это обстоятельство, путем выбора параметров сооружений, позволяет управлять, в определенных пределах, их сейсмостойкостью и создавать оптимальные системы.

Анализ последствий землетрясений, происшедших в последние годы, показал, что даже в пределах одного района для разных типов сооружений они могут быть различными. Например, при землетрясении 1960 г. в г. Коньсепсон (Чили) наблюдались многочисленные разрушения железобетонных одноэтажных зданий, в то время, как высокие кирпичные трубы, обладающие низкой прочностью, оставались неповрежденными. Совершенно противоположный эффект от того же землетрясения наблюдался в г. Вальдивия (Чили). Здесь малоэтажные жесткие здания в основном сохранились, а были разрушены высокие гибкие. Аналогичные последствия землетрясений наблюдались в Мехико-Сити (1957 г.), в Каракасе (1967 г.), в Скопле (1968 г.), в Бухаресте (1977 г.). В г. Махачкале при землетрясении 1970 г. больше пострадали жесткие массивные здания.

Основными факторами, определяющими столь резкое различие в поведении гибких и жестких сооружений, явились резонансные колебания некоторых из них, вызванные существенными различиями спектрального состава колебаний грунтов при землетрясении даже в пределах одного района. Спектр колебаний землетрясения зависит от параметров очага, среды и характеристик грунтов района.

Современный уровень развития инженерной сейсмологии позволяет определить некоторые вероятностные характеристики спектральных параметров.

С учетом прогнозируемых характеристик землетрясений для района можно выбрать рациональные площадки для строительства сейсмостойких зданий. Это позволит повысить их надежность или снизить затраты на антисейсмическое усиление путём снижения расчетного балла.

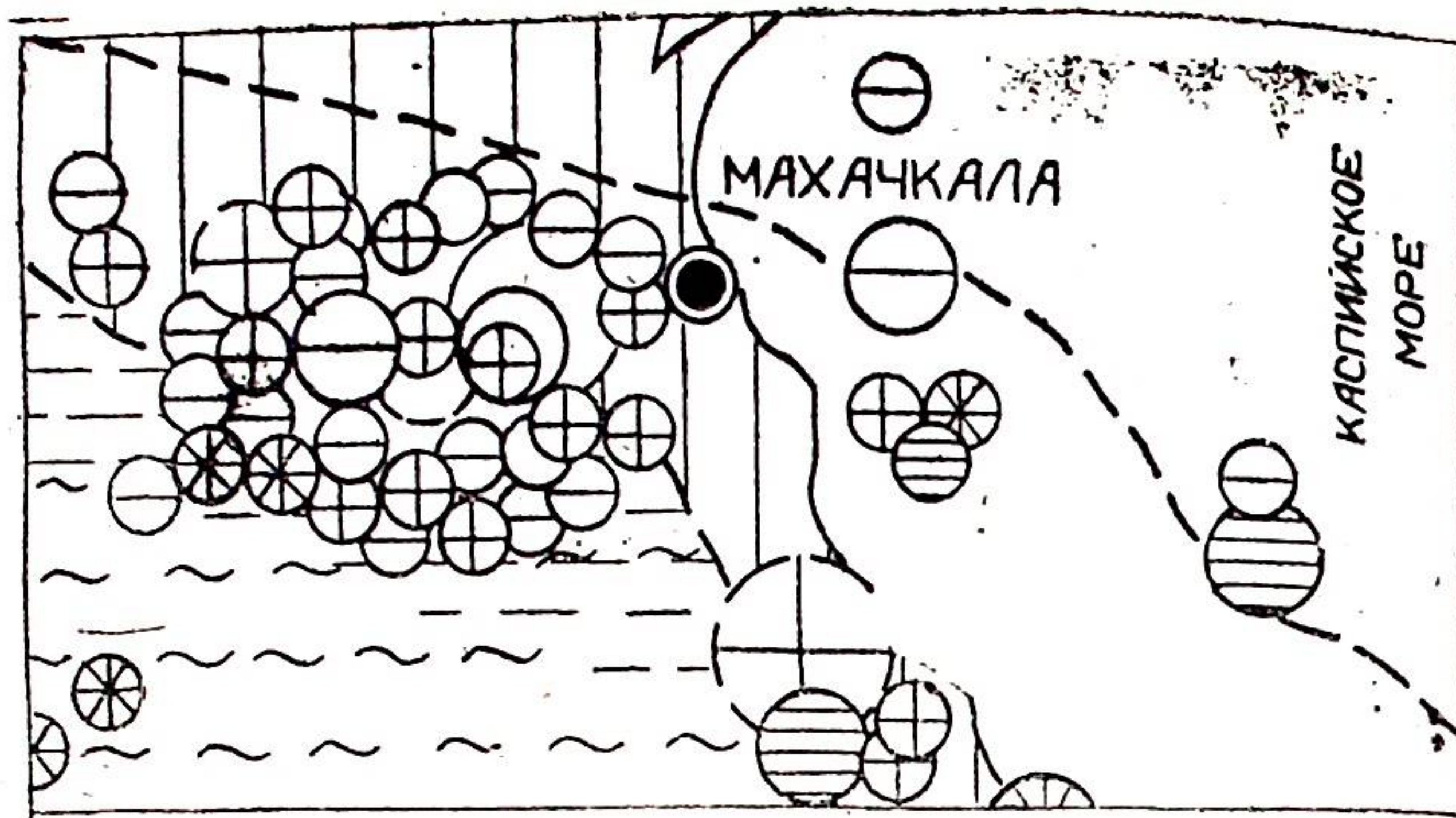
### I. Оценка сейсмической опасности площадок строительства при возможных сильных землетрясениях

Планом застройки г. Махачкалы предусмотрено возведение зданий и сооружений на площадках с различными инженерно-геологическими условиями. В связи с этим большое значение имеет расчёт параметров колебаний разных типов грунтов при возможном сильном землетрясении, поскольку при одинаковой интенсивности эффект сотрясений сильно зависит от инженерно-геологических условий площадки строительства [1].

При расчете сотрясений необходимо иметь данные о сейсмической обстановке изучаемого района. В качестве основных сейсмологических параметров, подлежащих учету, выделяются следующие — магнитуда (класс) и глубина очага землетрясения, активность, повторяемость и сотрясаемость. На основе этих данных выделяются зоны возможных очагов сильных землетрясений, направленность излучения из очага (возможный механизм очага) и интервал времени, в течение которого это землетрясение может произойти.

В Дагестане, за последнее время, произошло два восьмибалльных землетрясения (14 мая 1970 г. и 10 января 1975 г.) и пять семибалльных землетрясений. Средняя продолжительность между восьмибалльными землетрясениями, при этом, составила 4—4,5 года, семибалльных — 2 года.

Для города Махачкалы сейсмическая активность  $A_{10}$  составляет 0,24 с наклоном графика повторяемости  $\gamma=0,55$ . Для территории Дагестана, вообще, график повторяемости ( $s=70000 \text{ км}^2$ ) был построен по инструментальным данным за период времени с 1903 по 1975 гг., нормирование произведено на площадь  $1000 \text{ км}^2$  [2].



ОБОЗНАЧЕНИЯ:

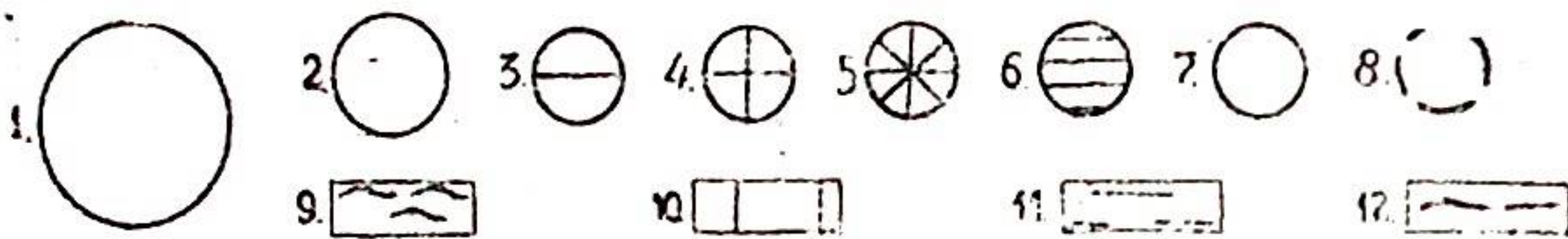


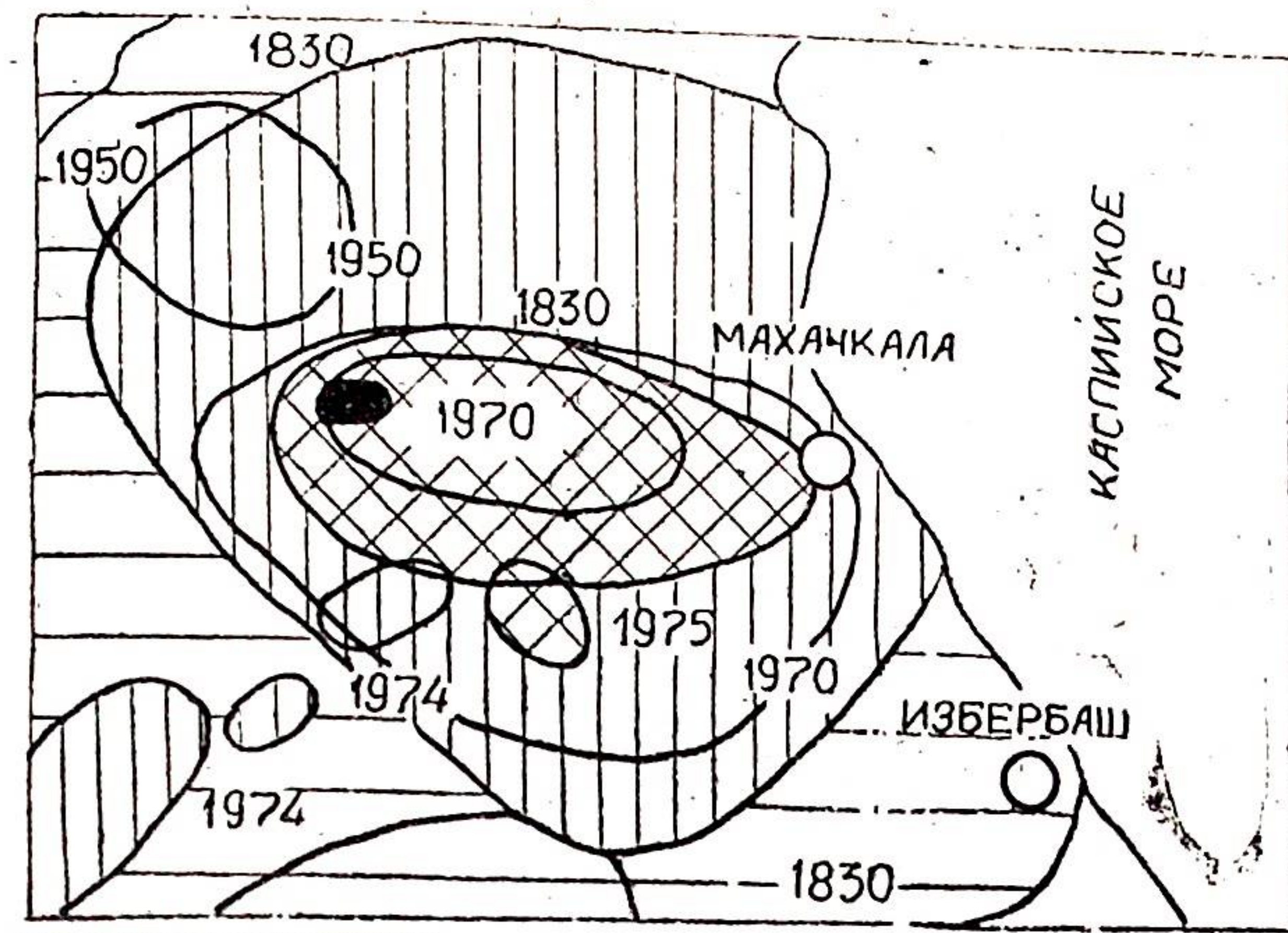
Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений Дагестана, прилегающих к г. Махачкале (фрагмент [2]).

1 —  $M=6,1-7,0$ ; 2 —  $M=5,1-6,0$ ; 3 — глубина очага  $h=0-10$  км; 4 —  $h=11-20$  км; 5 —  $h=21-40$  км; 6 —  $h=41-80$  км; 7 —  $M=4,1-5,0$ ; 8 — очаги, выделенные по макросейсмическим данным; 9 — область мезозойской складчатости; 10 — предкавказский краевой прогиб; 11 — поперечные структуры; 12 — глубинные разломы.

Средний период возникновения сильных землетрясений с  $M=7,0-7,2$  ( $k=17$ ) оценивается в 220 лет, с  $M=6,5-6,7$  ( $k=16$ ) 85 лет и с  $M=6,1$  ( $k=15$ ) 35 лет [4].

Определение максимально возможных землетрясений на Северном Кавказе было выполнено количественными методами Ю. В. Ризниченко и Э. А. Джибладзе по комплексу сейсмологических, гравиметрических, геодезических и геоморфологических данных [3]. Исходя из этих данных район г. Махачкалы попадает внутрь контура восьмибалльных сотрясений. Эти сотрясения возникают при землетрясениях с  $M=6,5-6,7$ , эпицентры которых расположены на расстояниях, соизмеримых и больших длины разрыва ( $L \leq \Delta \leq 2L$ , где  $L$  — длина разрыва,  $\Delta$  — эпицентральное расстояние) (рис. 1, 2). Подтверждением этого является и карта изосейст максимальной наблюдавшейся интенсивности (рис. 3).

На территории, прилегающей к г. Махачкале, возможно возникновение землетрясений с  $M=5,1-7,0$ . Глубина этих землетрясений может варьировать от 0 до 20 км. Вблизи г. Махачкалы выделены две наиболее крупных очаговых зоны,



ОБОЗНАЧЕНИЯ:

Рис. 2. Сводная карта изосейст землетрясений Дагестана (фрагмент [2]).

1 —  $J=9$ ; 2 —  $J=8$ ; 3 —  $J=7$ ; 4 —  $J=6$  баллов; 5 — изосейсты уверенные; 6 — год землетрясения.

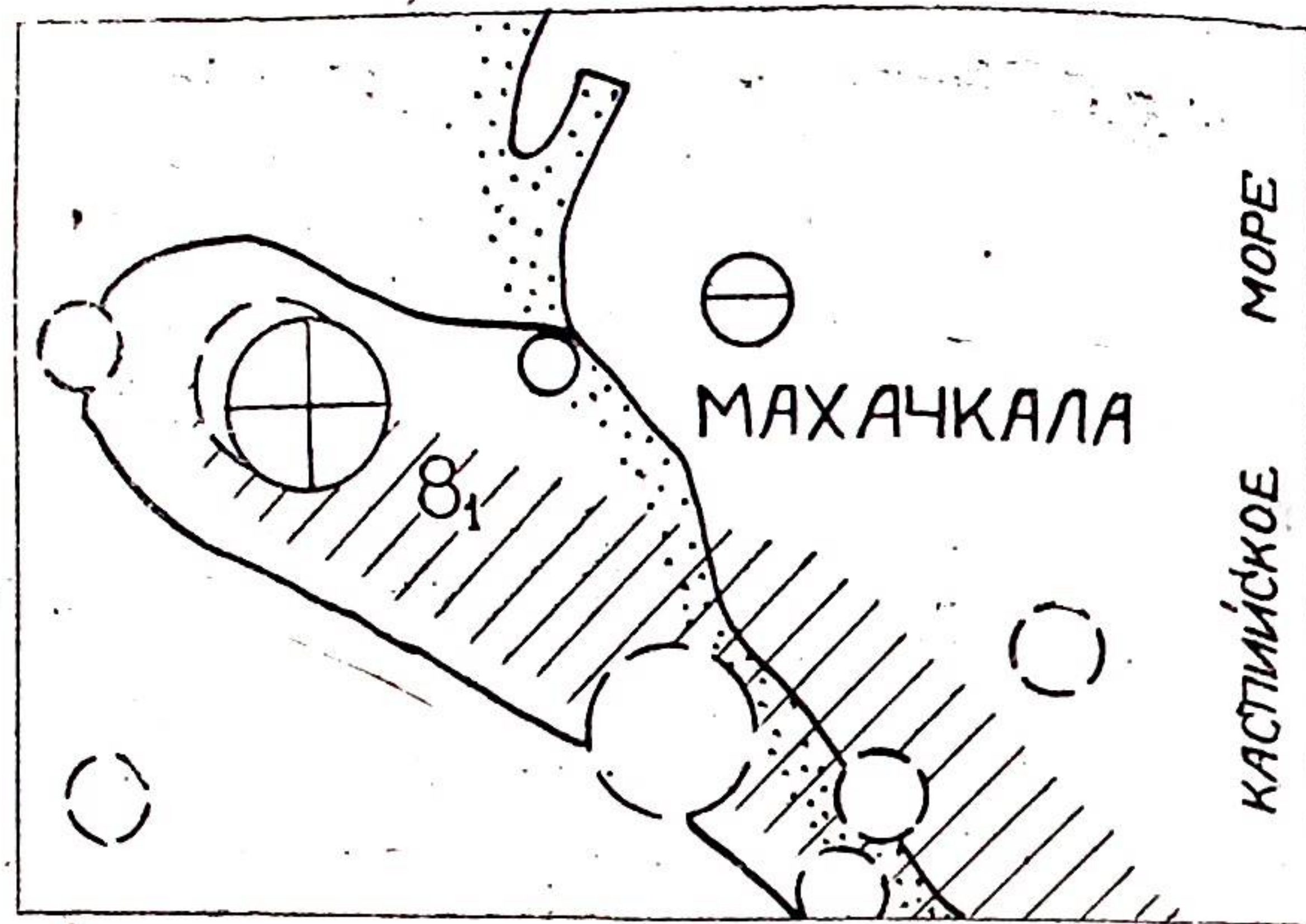
одна из которых расположена западнее ( $M=6,1-7,0$ ,  $\Delta=40-50$  км) и другая — северо-восточнее города (в море) ( $M=5,1-6,0$ ,  $\Delta \geq 30$  км) (см. рис. 1, 3).

Из анализа карты (см. рис. 2) видно, что изосейсты известных землетрясений имеют вытянутость приблизительно с запада на восток. Причём, четко прослеживается поджатость изосейст на западе и вытянутость их на восток. Исходя из этого, можно сделать качественный вывод о том, что механизм землетрясения рассматриваемой зоны представляет собой односторонний разрыв.

На основании вышеизложенного нами был проведен расчёт ускорений и периодов колебаний грунтов, которые могут иметь место при землетрясениях с  $M=6,1-6,6$  с эпицентрами, расположенными на расстоянии  $\Delta=40$  км и  $\Delta=50$  км и с  $M=5,5-6,0$ , эпицентр которого расположен на расстоянии  $\Delta=30$  км.

Для расчёта использовались палетки ускорений и периодов колебаний скальных грунтов, построенные для заданного диапазона магнитуд в функции эпицентрального расстояния и с учётом направленности излучения из очага [4]. Кроме этого, использовались зависимости ускорений и периодов ко-

лебаний от магнитуды и эпицентрального расстояния [7]. Палетки и зависимости построены по максимально наблюдаемым ускорениям колебаний грунтов сильных землетрясений мира.



ОБОЗНАЧЕНИЯ:



Рис. 3. Схема сейсмического районирования Дагестана (фрагмент [2]).

1 —  $h < 80$  км;  $M = 6,1 - 7,5$ ; 2 —  $M = 5,1 - 6,3$ ; 3 —  $h = 11 - 20$  км; 4 — очаги, выявленные по макросейсмическим данным; 5 — зоны наиболее вероятного возникновения очагов землетрясений; 6 — изолинии интенсивности; 7 — границы зон с интенсивностью сотрясений в баллах (индекс 1 соответствует средней повторяемости сотрясений один раз за 100 лет).

Переход от амплитуд колебаний скальных грунтов к амплитудам колебаний рыхлых в инженерном диапазоне периодов производился с помощью таблицы коэффициентов усиления [5], на которые умножается амплитуда ускорений скального грунта, снятого с палетки или с графика. При этом учитывается мощность  $H_i$ , скорости распространения поперечных волн  $V_i$  и плотности  $\rho_i$  рыхлых отложений, а также скорости распространения поперечных волн  $V_0$  и  $\rho_0$  подстилающих пород. Среда рассматривается как упругий слой, лежащий на упругом полупространстве. На основании имеющихся данных рассчитываются значения коэффициентов усиления  $m_i$  и  $n_i$ .

$$m_i = \frac{V_i \rho_i}{V_0 \rho_0}; \quad n_i = \frac{H_i}{V_i T_i},$$

где  $T_i$  — период колебаний, соответствующий максимальной амплитуде ускорений.

Задавая различные значения периодов  $T_i$ , строятся зависимости ускорений колебаний рыхлых грунтов разных мощностей

$$a_{\text{рыхл}} = f(H_i, T_i); \quad a_{\text{рыхл}} = a_{\text{ск}} \cdot k,$$

где  $k$  — коэффициент усиления.

Район города Махачкалы сложен породами третичного и четвертичного возрастов. Отличительной особенностью района является большое разнообразие инженерно-геологических условий и частая смена литологического состава пород.

Для расчёта параметров колебаний нами выбраны три характерные в инженерно-геологическом отношении участка, подробное изучение которых было проведено И. Л. Ревелисом и Н. А. Дгебуадзе [6].

1. Участки, сложенные толщей известняков и песчаников анджарской серии с выходами на поверхность. Они представлены песчаниками с прослоями известняков.

2. Участки, сложенные рыхлыми отложениями мощностью 3—6 м, которые представлены песками и супесями, подстилаемыми глинисто-песчаными породами нижневалынского комплекса.

3. Участки, сложенные суглинками мощностью от 5 до 10 м. Суглинки коричневато-жёлтые, перекрытые небольшим слоем делювиальных суглинков и супесей.

Выбранные участки 1, 2, 3 расположены в районах I—2, VI—1 и VI—2, представленных на схематической карте инженерно-геологического районирования территории Махачкалы для целей городского строительства [8]. Скорости распространения поперечных волн и плотности выделенных типов грунтов для изучаемых площадок определялись В. В. Поповым, Г. Н. Назаровым и Г. А. Лямзиной [7].

Для расчётов мы использовали данные о скоростях, полученных вышеприведенными исследованиями с последующей корректировкой их в соответствии с таблицей инженерно-геологических характеристик для различных грунтов, составленной Г. Н. Назаровым [8].

В соответствии с изложенным была составлена таблица № 1.

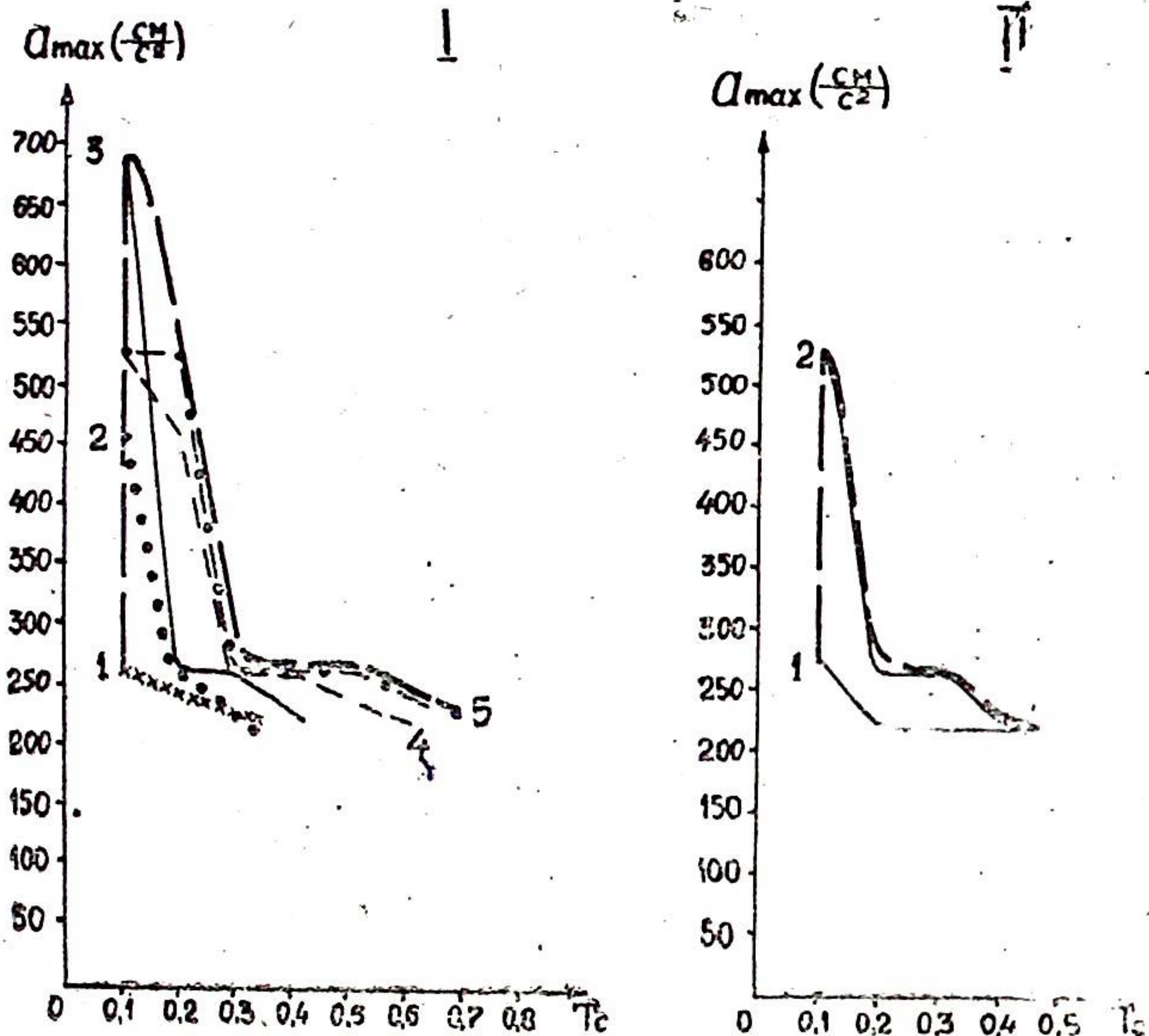
Эти параметры были использованы при расчётах  $m_i$  и  $n_i$  для определения  $K_i$ .



$M=6.1-6.6$ ,  $\Delta=40$  км.

СУГЛИНКИ

ПЕСКИ И СУПЕСИ



ОБОЗНАЧЕНИЯ:

- I. 1-H=3м, 2-H=5м, 3-H=7м, 4-H=9м, 5-H=10м.  
 II. 1-H=3м, 2-H=6м. — динамическая кривая.

Рис. 5. Спектральные кривые ускорений колебаний рыхлых грунтов при  $M=6,1-6,6$ ,  $\Delta=40$  км.

грунтов (супеси, пески, суглинки) в диапазоне периодов от 0,1 до 0,6 с.

Для грунтов, представленных песками и супесями, также наблюдается увеличение амплитуды ускорений колебаний с увеличением мощности рыхлой толщи.

На рис. 4, 5, 6 штриховой линией показаны динамические кривые, которые указывают на опасный (с точки зрения сейсмической опасности) диапазон периодов и амплитуд

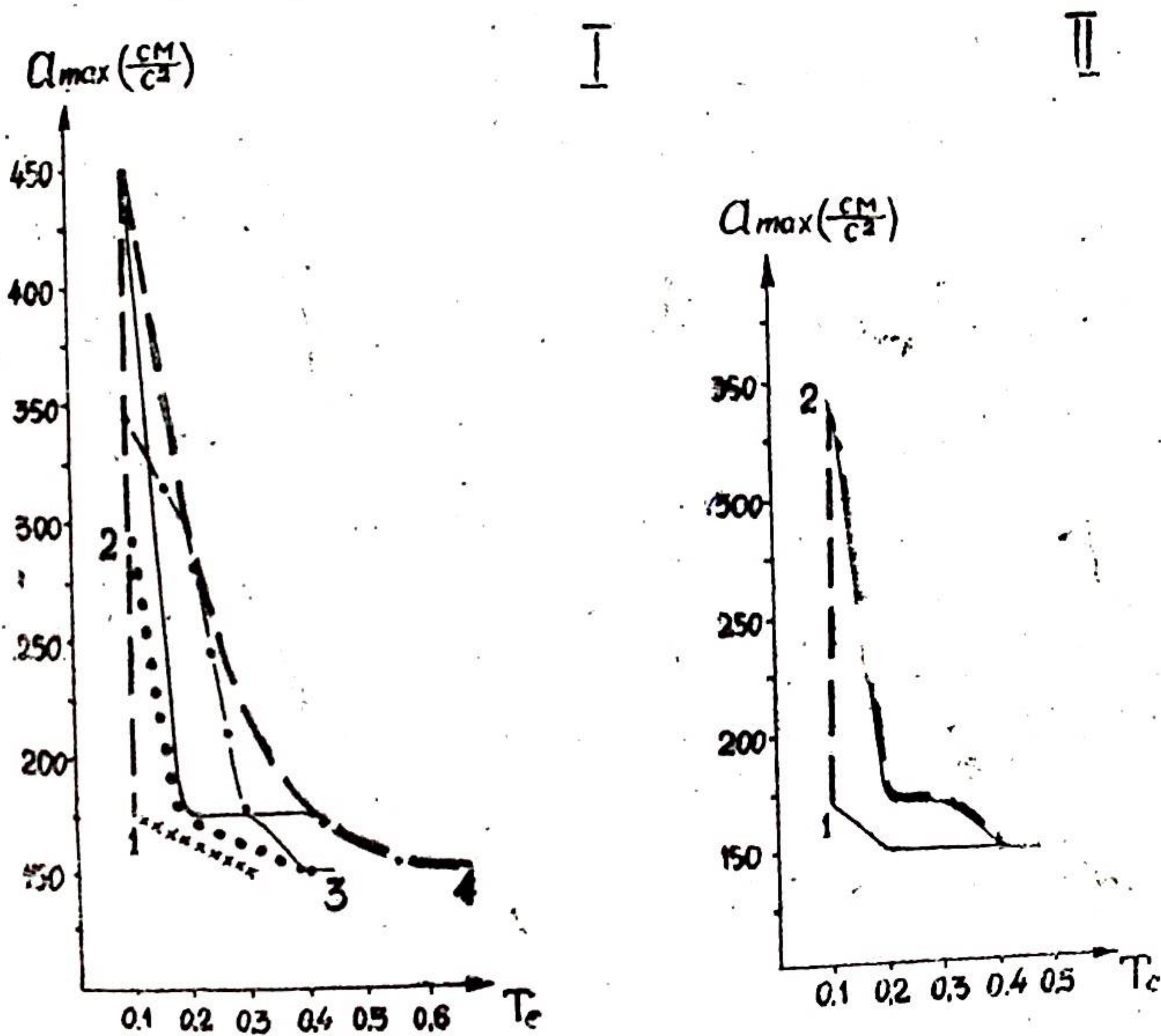
ускорений колебаний рыхлой толщи выбранных для анализа участков.

Построенные нами кривые позволяют с меньшим риском произвести оценку сейсмической опасности площадки строительства и рассчитать надёжность сооружения.

$M=5.5-6.0$ ,  $\Delta=30$  км.

СУГЛИНКИ

ПЕСКИ И СУПЕСИ



ОБОЗНАЧЕНИЯ:

- I. 1-H=3м, 2-H=5м, 3-H=7м, 4-H=9м  
 II. 1-H=3м, 2-H=6м. — динамическая кривая.

Рис. 6. Спектральные кривые ускорений колебаний рыхлых грунтов при  $M=5,5-6,0$ ,  $\Delta=30$  км.

## 2. Выбор рациональных проектных решений сооружений на основе оценки сейсмической опасности площадок строительства

Процесс проектирования зданий и сооружений в сейсмоопасных районах основан на учете большого количества разнообразной информации о действующих нагрузках и о работе конструкций при этих нагрузках. С момента начала проектирования мы сталкиваемся и с множеством требований, предъявляемых к проекту. Некоторые из них порой являются противоречивыми, например, малая стоимость сооружения и его большая надёжность.

По существующей методике [9] лучший вариант проектного решения сооружения выбирается на основе системы стоимостных показателей сооружения. При этом в стоимость сооружения включают и стоимость затрат на антисейсмическое усиление, определяемую расчётным баллом площадки строительства. Кроме того, нормы проектирования зданий и сооружений в сейсмоопасных районах [10] предусматривают определенные затраты на восстановление сооружения после землетрясения. Чем больше будет надёжность сооружения, тем меньше потребуется затрат на восстановление. Величина надёжности существенно зависит не только от балльности, но и других спектральных характеристик землетрясения. Отсюда следует, что при выборе оптимального варианта проектного решения и рациональной площадки строительства наряду со стоимостью надо учесть и показатель надёжности сооружения  $P(T)$ , определяемый как вероятность ненаступления состояния отказа в течение расчётного срока службы  $T$

$$P(T) = 1 - P[R]. \quad (1)$$

Вероятность отказа

$$P[R] = \sum_j \sum_i P[R_i / \Phi_j] P[\Phi_j], \quad (2)$$

где  $P[\cdot]$  — вероятность осуществления события, указанного в скобках;

$R_i$  — событие, связанное с наступлением отказа  $i$ -го вида;

$\Phi_j$  — событие, состоящее в осуществлении  $j$ -го землетрясения с соответствующими спектрально-временными характеристиками.

Аналогично оценивается надёжность и при сильных ветровых воздействиях.

Кроме стоимости и надёжности, к важнейшим критериям выбора оптимального решения следует отнести технологиче-

ские, архитектурно-эстетические и функциональные показатели сооружений и площадок строительства. Поэтому выбор оптимального проектного решения и рациональной для него площадки строительства должен быть произведен путем оценки последствий принимаемого решения по всем рассматриваемым критериям.

Данная задача соответствует задаче стохастического программирования [11], общая структура которой включает следующие элементы:

$\Pi$  — множество площадок строительства;

$p$  — отдельная площадка строительства,  $p \in \Pi$ ;

$K$  — множество проектных решений;

$k$  — отдельное проектное решение,  $k \in K$ ;

$I$  — множество критериев принятия решения;

$i$  — отдельный критерий принятия решения,  $i \in I$ .

Оптимальная функция решения  $f(p, k)$  при этом будет соответствовать минимальному общему риску.

$$f(p, k) = \min_{\substack{k \in K \\ p \in \Pi}} \sum_{i=1}^I f_{ik} \quad (3)$$

где  $f_{ik}$  — нормированная функция прямых или косвенных потерь (затрат, убытков) по критерию  $i$ , связанная с выбором  $p$ -й площадки для  $k$ -го проектного решения.

То есть, здесь задача сводится к поиску минимальной строки матрицы  $\{f_{ik}\}$ .

Решение задачи в виде (3) связано с трудностями нахождения обобщенной оценки по каждому критерию с учетом всех его последствий.

Удобным для практических целей является решение многоцелевых задач методом системного анализа, предложенным Руа [12]. Здесь для каждого действия  $f_{ik}$  присваивается число, которое достаточно полно представляет информацию, содержащуюся в  $f_{ik}$ . При этом множество рассматриваемых критериев разбивается на три класса:

$I^-(k, k')$  — подмножество критериев, по которым  $k$  предпочтительнее  $k'$ ;

$I^-(k, k')$  — подмножество критериев, по которым  $k$  равноценно  $k'$ ;

$I^-(k, k')$  — подмножество критериев, по которым  $k'$  предпочтительнее  $k$ .

Для каждого из этих подмножеств формулируется свой критерий, объединяющий все критерии, вошедшие в данное подмножество, и через три числа  $P^+(k', k'')$ ,  $P^-(k', k'')$ ,  $P^-(k', k'')$  (аналогичные в некотором смысле весом) представляют относительную важность этих трех подмножеств.

Эта информация далее используется для построения отношения превосходства.

Условие превосходства одного варианта проектного решения над другим для рассматриваемой площадки строительства представляем в виде

$$\frac{P^+(k', k'')}{P^-(k', k'')} \geq c, \quad (4)$$

где  $c$  — некоторое положительное число,  $c \geq 1$ .

Оптимальное решение принимается из условия максимума суммы отношений  $P^+/P^-$  для каждого проектного решения и последовательно по всем площадкам строительства.

$$F(n, k) = \max_{\substack{k \in K \\ k \in \Pi}} \sum (P^+/P^-). \quad (5)$$

При принятии оптимальных проектных решений можно расчётом оценить надёжность и стоимость сооружения на рассматриваемой площадке, а потом перевести эти величины в цифровые показатели.

#### Пример.

Используя приведенную выше методику, рассмотрим задачу выбора наилучшей конструктивной схемы многоэтажного здания для двух площадок строительства: 1 — со скальными грунтами и 2 — с суглинками с мощностью от 5 до 10 м. Для скальных грунтов ожидаемые преобладающие периоды колебаний лежат в диапазоне 0,2—0,8 с при максимальных ускорениях — 190—230 см/сек<sup>2</sup>. Количественные характеристики параметров ожидаемых землетрясений для рыхлых грунтов приведены на рис. 4 и рис. 5, 6. Здесь максимальным ускорениям колебаний грунтов соответствуют преобладающие периоды в диапазоне 0,1—0,3 с.

Рассмотрим следующие сопоставимые виды конструктивных решений многоэтажного здания (см. рис. 7: 1—9-этажное крупнопанельное здание (П), 2—9-этажное крупнопанельное здание с первым гибким этажом (ПГ), 3—9-этажное крупнопанельное здание с системой активной сейсмозащиты в виде выключающихся связей в первом гибком этаже (ПВС). Периоды собственных колебаний для зданий типа П лежат в диапазоне 0,2—0,3 с, для зданий типа ПГ — 0,8—1 с.

Здание с выключающимися связями в начальном состоянии жёсткое, с периодами 0,1—0,3 с, а после выключения связей — гибкое, с периодами 0,8—1 с. В результате выключения специально запроектированных связей жёсткости эта система может перейти из жёсткого состояния в гибкое, что позволяет ей адаптироваться к сейсмическим воздействиям,

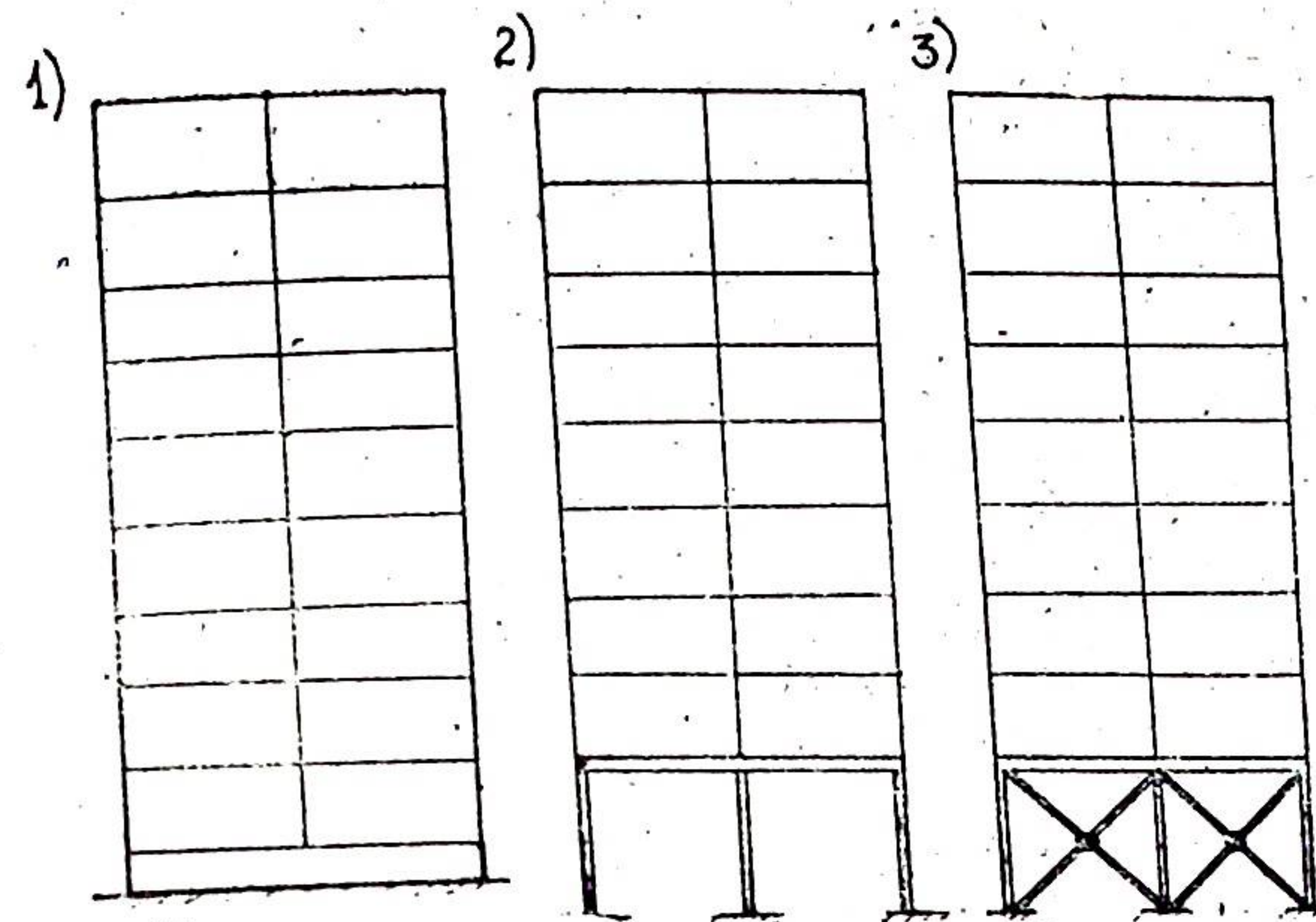


Рис. 7. Схемы конструктивных решений зданий.  
1 — 9-этажное крупнопанельное здание; 2 — крупнопанельное здание с первым гибким этажом; 3 — крупнопанельное здание с выключающимися связями в первом гибком этаже.

т. е. уйти от резонансных колебаний [13], что существенно повышает её надёжность.

Далее предположим, что наиболее важным критерием является надёжность (сейсмостойкость); вторым по важности — стоимость здания, функционально-архитектурные и технологические требования будем считать менее важными.

Обозначим оценку критерия надёжности через  $P_1$ , стоимости —  $P_2$ , функциональности, включая архитектурные требования —  $P_3$ , по технологическим требованиям —  $P_4$ .

При этом примем

$$P_1 > P_2 > P_3 = P_4. \quad (6)$$

Будем считать, что критерии  $P_3$  и  $P_4$ , рассмотренные совместно, имеют несколько большую важность, чем критерий стоимости

$$P_3 + P_4 > P_2. \quad (7)$$

В соответствии с (6) и (7) примем следующие значения весов

$$P_1 = 7, P_2 = 5, P_3 = 3, P_4 = 3.$$

Далее по рассматриваемым критериям составим шкалы оценок.

При этом надёжность и стоимость зданий будут зависеть от рассматриваемой площадки строительства. Функциональность зданий, включающая архитектурно-эстетические аспекты, и технологичность можно считать не зависящими от площадок строительства. Функциональность здания с гибким первым этажом (ПГ) выше, чем крупнопанельного, так как каркасный первый этаж представляет архитектору большую свободу. Там могут быть расположены магазины, различные учреждения и т. д. Наличие вертикальных связей между колоннами в здании типа (ПВС) несколько ограничивает его функциональность.

С технологической точки зрения чисто панельное здание имеет преимущество над зданием с гибким этажом и с выключающимися связями, так как устройство монолитного каркаса первого этажа и работы, связанные с устройством связей жёсткости в рамках, осложняет процесс строительства.

Таблица 2

Шкала оценок

Критерий	Конструкция	Шкала оценок для скальных грунтов		Шкала оценок для суглинков	
		Средняя	Низкая	Средняя	Низкая
Надежность ( $P_1$ )	П	Средняя	НС	Низкая	НН
	ПГ	Низкая	НН	Средняя	НС
	ПВС	Высокая	НВ	Высокая	НВ
Стоимость ( $P_2$ )	П	Средняя	СС	Средняя	СС
	ПГ	Высокая	СВ	Средняя	СС
	ПВС	Средняя	СС	Средняя	СС
Функциональность ( $P_3$ )	П	Низкая	ФН	Низкая	ФН
	ПГ	Высокая	ФВ	Высокая	ФН
	ПВС	Средняя	ФС	Средняя	ФС
Технологичность ( $P_4$ )	П	Высокая	ТВ	Высокая	ТВ
	ПГ	Средняя	ТС	Средняя	ТС
	ПВС	Низкая	ТН	Низкая	ТН

В таблице 2 приведены приближенные шкалы оценок по принятым критериям для площадки со скальным грунтом и суглинками. Оценка надёжности произведена с учетом возможных резонансных колебаний, связанных с совпадением периодов собственных колебаний зданий с преобладающими периодами колебаний грунтов при землетрясении, и с учётом надёжности самой конструктивной схемы здания. Здесь так-

Таблица 3

Матрица оценок

Конструкции	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$
Скальные грунты				
П	НС	СС	ФН	ТВ
ПГ	НН	СВ	ФВ	ТС
ПВС	НВ	СС	ФС	ТН
Суглинки				
П	НН	СС	ФН	ТВ
ПГ	НС	СС	ФВ	ТС
ПВС	НВ	СС	ФС	ТН

же учтена опасность для гибкого здания (ПГ) сильных ветровых воздействий, характерных для г. Махачкалы.

При оценке стоимости учтены восстановительные работы после землетрясения и затраты на антисейсмическое усиление, вытекающие из норм проектирования [10].

В таблице 3 приведена матрица оценок, соответствующая данным таблицы 2.

Согласно формулы (4), найдем отношение  $P^+/P^-$  для каждой пары проектных решений и приведем их в таблице 4.

При этом записываем только те, для которых  $P^+/P^- \geq 1$ .

Таблица 4

Отношения  $P^+/P^-$

$k'$	$k''$			$\sum P^+/P^-$
	1	2	3	
Скальные грунты				
1	—	4	—	4
2	—	—	—	—
3	3,33	2	—	5,33
Суглинки				
1	—	—	—	—
2	3,33	—	—	3,33
3	3,33	1,17	—	4,5

Из таблицы 4 следует, что на площадках строительства со скальными грунтами лучше строить здание с выключающимися связями или чисто панельное здание. Для площадок строительства с суглинками лучшим является здание с выключающимися связями или с первым гибким этажом.

В заключение отметим, что в приведенном примере рассмотрены не все критерии оценки проекта, а только основные, касающиеся конструктивного решения здания с точки зрения сейсмостойкости. При разработке реальных проектных решений данный метод должен быть расширен. Веса критериев и шкала оценок могут быть уточнены путём непосредственного расчёта надёжности и стоимости зданий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Медведев С. В. Инженерная сейсмология. — М.: Стройиздат, 1962, 284 с.
2. Сейсмическое районирование территории СССР, Северный Кавказ. Ответ. ред. В. И. Бунэ, Г. Л. Горшков. М.: Наука, 1980, с. 120—126.
3. Ризниченко Ю. В., Джибладзе Э. А. Определение максимальных возможных землетрясений по комплексным данным для Кавказа. — Изв. АН СССР. Физика Земли, 1974, № 5, с. 64—85.
4. Крамынин П. И. Метод прогноза сейсмических воздействий при сильных землетрясениях. — В кн.: Прогноз сейсмических воздействий. Вопросы инженерной сейсмологии, М.: Наука, 1984, № 25, с. 36—50.
5. Крамынин П. И., Штейнберг В. В. Параметры колебаний жёстких грунтов при сильных землетрясениях. — В кн.: Вопросы инженерной сейсмологии. М.: Наука, 1976, вып. 18, с. 23—35.
6. Ревелис И. Л., Дгебуадзе Н. А. Инженерно-геологические особенности территории г. Махачкалы, влияющие на сейсмическое микрорайонирование. — В кн.: Сейсмическое микрорайонирование г. Махачкалы. /Ред. В. В. Попов, Махачкала, 1970, с. 16—24.
7. Попов В. В., Назаров Г. Н. Особенности сейсмического микрорайонирования в условиях обводненных грунтов на примере г. Махачкалы. — В кн.: Сейсмическое микрорайонирование г. Махачкалы. Ред. В. В. Попов, Махачкала, 1970 г. с. 47—57.
8. Назаров Г. Н. Скорости распространения продольных и поперечных волн в грунтовых массивах и основные инженерно-геологические характеристики грунтов. — В кн.: Сейсмическое микрорайонирование. Ред. С. В. Медведев. М.: Наука, 1977, с. 129—136.
9. Руководство по выбору проектных решений в строительстве (общие положения) НИИЭС, ЦНИИПроект Госстроя СССР. — М.: Стройиздат, 1982, 104 с.
10. СНиП 11-7-81. Строительство в сейсмических районах. /Госстрой СССР/ — М.: Стройиздат, 1982 48 с.

1. Ермольев Ю. М. Методы стохастического программирования. — М.: Наука, 1976, 239 с.

12. Вопросы анализа и процедуры принятия решений. Сборник переводов под редакцией И. Ф. Шахнова. — М.: Мир, 1976, 228 с.

13. Айзенберг Я. М., Нейман А. И., Абакаров А. Д., Деглина М. М., Чачуа Т. Л. Адаптивные системы сейсмической защиты сооружений. — М.: Наука, 1978, 233 с.

Н. С. Красилова, Т. Ю. Пиотровская  
МГУ

### МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИТЕРИЕВ РЕГИОНАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ МАССИВОВ СКАЛЬНЫХ ПОРОД ПРИ МЕЛКОМАСШТАБНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ В ГОРНОСКЛАДЧАТЫХ ОБЛАСТЯХ

При мелкомасштабных исследованиях на больших площадях в горных труднодоступных и часто закрытых районах сложно получить инженерно-геологическую информацию о состоянии массивов скальных пород. Предлагаемая методика была опробована при проведении комплексных инженерно-геологических и мерзлотно-гидрогеологических исследований в пределах территории зоны освоения БАМ для целей наземного гражданского и промышленного строительства.

Рассматриваемый район очень большой по площади, не освоенный в инженерно-геологическом отношении, труднодоступный. Несмотря на средне- и высокогорный рельеф практически почти повсеместно закрыт элювиальными и склоновыми щебнисто-дресвяными четвертичными отложениями. При этом он отличается сложным геологическим строением, в том числе тектоникой, активными новейшими движениями. Рассматриваемая территория включает участки крупнейших геоструктур: Алданский щит Сибирской платформы, Джугджуро-Становую область протерозойской складчатости, Монголо-Охотский складчатый пояс. Эти структуры осложнены шовными зонами, многочисленными глубинными разломами. Все это привело к сложной дислоцированности пород и большой неоднородности характера трещиноватости. В районе развит пестрый набор скальных пород. Среди них встречаются метаморфические породы, представленные гранулитовой формацией ( $AR_1$ ), амфиболовой формацией ( $AR_2$ ) и диафторитовой (PR). Широко развиты граниты внедрения (MZ и PZ) и ультраметаморфогенные (PR и AR). Встречаются небольшие массивы пород базитовых формаций (PR, PZ и MZ), локально распространены эффузивные и эффузивно-терригенные породы. К небольшим грабенам приурочены мощные толщи терригенных угленосных пород.

Рассматриваемая территория со среднего протерозоя и до позднего мела испытывала поднятие и деформацию платфор-

менного типа. С позднего мела начинается орогенный этап развития. Происходит заложение нового структурного плана и начинается формирование горного рельефа Удокано-Становой горной области. За орогенный этап древние породы фундамента, выведенные на поверхность, испытали суммарные поднятия до 2000 м и локальные прогибания до 1000 м. Это обусловило интенсивную деформацию массивов скальных пород, что еще больше увеличило их трещиноватость и неоднородность. Следует отметить, что, несмотря на крайне разнообразный состав пород развитых в районе, по своим свойствам они относятся преимущественно к классу прочных и высокопрочных пород. Поэтому состояние массивов скальных пород определяется в основном характером и степенью их нарушенности, обусловленной генетическими формационными особенностями массива и характером его постгенетического, в основном орогенного развития. Трудность получения представления о состоянии массивов скальных пород, степени их нарушенности при проведении региональных мелкомасштабных исследований в пределах подобных территорий побудила поиски прямых и косвенных показателей, которые помогли бы получить сравнительную оценку массивов пород и, главное, вскрыть региональные закономерности изменения их состояния.

В качестве критериев оценки состояния массивов скальных пород предлагается: неотектоническая блочность, мегатрещиноватость, фоновая макротрещиноватость, геодинамическое состояние массивов, обусловленное степенью их неотектонической подвижности, степень эрозивной расчлененности, прочность самих пород в массиве, степень экзогенной разуплотненности верхних частей массива, криогенное состояние, обводненность.

Для выявления региональных закономерностей изменения состояния массивов пород в горно-складчатых районах необходим прежде всего неотектонический анализ территории. Такой анализ был проведен и для территории зоны освоения БАМ. Он заключался в изучении истории поднятия исходной предорогенной поверхности выравнивания. Начинаясь с выявления разновысотных ярусов междуречий, которые рассматривались как части единой предорогенной поверхности, поднятые в разное время на разную высоту. Размещение разновозрастных ярусов междуречий раскрывает историю орогенного воздымания, устанавливает исторические закономерности орогенного деформирования пород фундамента, позволяет выделить участки относительных поднятий и опусканий, т. е. позволяет выявить неструктурный план строения территории, выделить неоструктуры разных порядков и структуроформирующие блоки. Составлена карта неотектонических деформаций и районирования. Рассчитан показатель-степень

блочности по отношению числа элементарных дифференцированно развивающихся блоков к площади структуроформирующего (3-го или 4-го) порядка.

Неотектоническая блочность является одним из основных показателей степени дробности орогенной нарушенности массивов пород. На карте орогенной деформированности и истории поднятия массивов пород на фоне площадей развития массивов пород, показанных значками, дан цветом приближенный геологический возраст активных орогенных поднятий тех территорий, где массивы расположены. Орогенная деформированность их включает разрывные нарушения, создающие неотектоническую блочность. Указаны порядок блоков, направления и величины их перекосов, величина мегатрещиноватости и степень неотектонической блочности. Неоструктуры, вмещающие массивы скальных пород, которые испытывали длительное устойчивое поднятие, характеризуются меньшей неотектонической блочностью. Они представляют собой монолитные блоки ( $100 \cdot 10^{-5}$ ) или разбиты на крупные блоки  $(100-300) \cdot 10^{-5}$ . Депрессии характеризуются обычно мелкоблочным строением ( $500 \cdot 10^{-5}$ ).

Мегатрещиноватость является следующим после неотектонической блочности уровнем нарушенности пород. Анализ мегатрещиноватости проводился путем расчета и последующей статистической обработки коэффициента мегатрещиноватости ( $\text{км}/\text{км}^2$ ). В качестве исходных данных послужила карта прямолинейных элементов рельефа и ландшафта, составленная по результатам дешифрирования аэрофотоснимков на всю территорию площадью почти 100 тыс.  $\text{км}^2$ . Проведенные исследования показали, что основные региональные закономерности изменения интенсивности трещиноватости в рассматриваемом районе обусловлены новейшими структурами, характером и амплитудой их движений, а также формационной принадлежностью пород. Нарушаются эти закономерности близостью глубинных разломов. Полученные данные сведены на карте трещиноватости. В неоструктурах 1-го и 2-го порядков мегатрещиноватость уменьшается по мере снижения амплитуды поднятия. Разброс значений коэффициентов мегатрещиноватости в пределах неоструктур 3-го порядка обусловлен развитием пород различных формаций. При этом наблюдается уменьшение мегатрещиноватости массивов пород по ряду: граниты Mz > граниты PR > метаморфические породы амфиболовой фации > метаморфические породы гранулитовой фации. Наиболее четко (однозначно) эта зависимость наблюдается в неоструктурах с низкой мегатрещиноватостью. В неоструктурах с высокой мегатрещиноватостью она проявляется лишь в случае унаследованного развития в процессе их активного воздымания.

Мегатрещиноватость не только определяет прочностные

и деформационные свойства массивов, но и позволяет прогнозировать пространственную приуроченность, характер и интенсивность развития геологических процессов, а также влияет на гидрогеологическую и мерзлотную обстановку. Поэтому мегатрещиноватость также выделена в качестве оценки состояния массивов пород. По коэффициенту мегатрещиноватости выделяются породы слаботрещиноватые ( $< 0,20$ ), умереннотрещиноватые ( $0,21-0,40$ ), сильнотрещиноватые ( $0,41-0,80$ ), интенсивнотрещиноватые ( $> 0,80$ ). Учитывается характер сети мегатрещин (непрерывная, прерывистая, разорванная), а также блочность по мегатрещиноватости (площадь в  $\text{км}^2$  на количество блоков).

Макротрещиноватость при мелкомасштабных исследованиях в горноскладчатых областях изучается традиционными методами, но выбор площадок для проведения замеров проводится лишь на участках, отражающих фоновую трещиноватость.

Сопоставление величины неотектонической блочности и мегатрещиноватости показывает, что они находятся в обратной пропорциональной зависимости. Устойчиво поднимающиеся неоструктуры как бы разуплотняются, расширяются, трещины раскрываются, но структуры мало дробятся. Остающиеся в поднятиях некомпенсированные впадины и прогибы, созданные в скальных породах, испытывают сжатие, приводящее к развитию скалывающих деформаций и образованию мелких блоков.

Учет всех элементов орогенной деформированности массивов пород, с расчетом приближенной средней скорости вертикальных поднятий неотектонических блоков и скорости их перекосов (градиента скорости) позволяет выявить общие региональные закономерности напряженного состояния массивов скальных пород в приповерхностной части. Это находит свое отражение на карте типов геодинамического состояния массивов пород. Определяющим для выделения типов геодинамического состояния является тектоническая подвижность территории. Выделяются наиболее подвижные, среднеподвижные и малоподвижные территории развития массивов скальных пород по средней скорости вертикальных поднятий ( $\text{мм}/\text{год}$ ), площади с развитием напряжений растяжения и сжатия, а также скорость суммарных перекосов массивов пород, входящих в неотектонические блоки, с последующим разделением их на две группы — ведущие к изменению угла падения пород ( $> 13 \cdot 10^{-4}$ ) и практически без изменения залегания пород ( $< 13 \cdot 10^{-4}$ ).

Помимо орогенной деформированности для оценки состояния массивов скальных пород использовалась их экзогенная разрушаемость через величины эрозионного разуплотне-

ния, которое происходит одновременно с их эрозионным расчленением. Величина эрозионного расчленения рассматривалась нами как возможный показатель относительной прочности массивов скальных пород при однотипных условиях длительного размывания постоянными водотоками. Подсчитывалась отдельно горизонтальная и вертикальная расчлененность рельефа с составлением соответствующих карт. Горизонтальная расчлененность рассчитывалась для каждого массива пород с учетом порядка рек и выражалась в км/км<sup>2</sup>. В расчет бралась суммарная протяженность днищ долин, а не русла рек. По степени горизонтальной расчлененности площади массивов скальных пород выделено шесть категорий с интервалами 0,20 (очень слабая, слабая, умеренная, средняя, сильная, очень сильная). Густота эрозионного расчленения массивов скальных пород на больших территориях определяется особенностями неотектонического строения. Наибольшие величины наблюдаются в условиях неоднократного перестроения структурного плана территории. В неоструктурах 3-го порядка она определяется формационной принадлежностью пород. Для массивов пород, сложенных прочными и очень прочными породами, густота эрозионного расчленения определяется их состоянием, обусловленным степенью трещиноватости; в массивах, сложенных разнопрочными породами, повышается при наличии слабопрочных прослоев. Для рассматриваемой территории максимальные значения густоты расчленения характерны для массивов пород юрской терригенно-угленосной формации. Магматические породы образуют ряд:  $\gamma M_z > \gamma PR > M_z - P_z$  (базиты). Метаморфические породы: массивы пород диафоритовой  $>$  амфиболовой  $>$  гранулитовой формаций. Сравнение по густоте эрозионного расчленения относительной прочности массивов скальных пород, находящихся в разных новейших структурах нужно проводить осторожно из-за сложного характера связи мегатрещиноватости, обуславливающей состояние массивов, с величиной их эрозионного расчленения.

Вертикальная расчлененность рассчитывалась по процентному содержанию площади с глубиной расчленения более 200 м. Эта величина связана с типом неоструктур, с суммарной вертикальной амплитудой их поднятия и с историей заложения речной сети. Изменение величины глубины расчленения не связано с составом пород, тем не менее этот показатель важен для характеристики массивов пород и территории. По глубине расчленения пород выделено четыре категории: малая ( $< 10\%$ ), небольшая (11—20%), средняя (31—50%), большая ( $> 50\%$ ).

Степень экзогенной разуплотненности массивов скальных пород, как критерий оценки их состояния, определялся на опорных участках с помощью методов электроразведки. Со-

ставлялась карта разновозрастных циклов разуплотнения массивов пород. По соотношению электросопротивлений пород в массиве и в разуплотненной зоне рассчитывался коэффициент разуплотненности. Такая зона была отбита в бассейне р. Гиллюй общей мощностью 120—140 м, где она подразделялась на два горизонта. Мощность зоны разуплотнения резко сокращается в пределах склонов современных долин, где она в этом районе полностью проморожена. По величине коэффициента разуплотненности массива скальных пород выделено четыре категории: сильно разуплотненные ( $> 5\%$ ), среднеразуплотненные (2—5%), слабонеразуплотненные (1—2%), не разуплотненные ( $< 1$ ). Выделены долинный и междуречный типы строения в зоны разуплотнения, показанные на карте типов геодинамического состояния.

При наличии многолетнемерзлых пород криогенное состояние массивов скальных пород оценивается по характеру распространения многолетнемерзлых пород (полностью промороженные, прерывисто промороженные, талые), по среднегодовым температурам — неустойчивые к изменению теплового состояния ( $> -1$ ), относительно устойчивые ( $-1 \div -3$ ), устойчивые к тепловому воздействию ( $< -3$ ), по типу криотекстур.

Степень обводненности массивов горных пород оценивалась по характеру распространения наледей. Рассчитывается их плотность по отношению количества наледей к площади ареала распространения. При этом выделяется 4 категории: высокая плотность ( $> 0,030$ ), средняя плотность (0,020—0,030), низкая (0,010—0,020) и единичные наледи, не образующие ареалов ( $< 0,010$ ).

Проводилась оценка скорости современной экзогенной разрушаемости массивов пород методом повторной фототеодолитной съемки при типичных видах склонового сноса: осыпание, криогенная десерпция (курумы потоки, склоновые курумы и нагорные террасы). Повторная съемка через три года показала, что курумы в целом неподвижны, происходит смещение отдельных глыб, аккумулятивный уступ террасы нагорной также неподвижен. Скорость осыпания в три раза быстрее, чем смещение отдельных глыб.

Полученные данные показали, что особенности орогенного постформационного развития региона постоянно меняют состояние прочных и высокопрочных (в образце) пород, в результате прочность массивов резко, хотя и в разной степени, снижается. Поэтому при изучении инженерно-геологических условий любого вида строительства необходимо проводить изучение региональных закономерностей орогенного постформационного деформирования массивов пород, определяющих их состояние. Эти закономерности могут быть выявлены при изысканиях на стадии схемы (объясняющих материалов).

Предлагаемые критерии оценки состояния массивов скальных пород использовались при инженерно-геологическом районировании территории зоны освоения БАМ для характеристики выделенных инженерно-геологических областей и их типизации по степени благоприятности для гражданского и промышленного наземного строительства.

Л. Л. Розанов  
Институт географии АН СССР

## УРОВЕННЫЙ РЕЖИМ КАСПИЙСКОГО МОРЯ В СВЯЗИ С ДАЛЬНЕЙШИМ ХОЗЯЙСТВЕННЫМ ОСВОЕНИЕМ ЕГО ПОБЕРЕЖЬЯ

Исторический опыт хозяйственной деятельности человека на побережье Каспия показывает, что в прошлом на практике не учитывалось такое природное явление, как ритмически повторяющиеся трансгрессии и регрессии Каспийского моря. Существенные колебания уровня Каспийского моря иногда происходили довольно быстро (рисунок). Например, с 1929 по 1977 гг. уровень Каспия упал на 3 м, достигнув самого низкого положения (—29 м абс.) за период в 700 лет.

Последнее почти полувекое понижение Каспийского моря привело к значительным народнохозяйственным потерям. Особенно серьезные затруднения возникли для водного транспорта. Так, судоходство в дельтах Волги и Урала поддерживается с помощью дноуглубительных работ. Обмеление прибрежных акваторий, форватеров, подходных каналов потребовало немалых капиталовложений в переустройство портов в Баку, Махачкале, Красноводске и других городах.

В связи с разработками планов экономического развития прибрежных районов Каспия и территорий в бассейнах впадающих в него рек проблема комплексного изучения колебаний уровня Каспийского моря становится все актуальнее. Применительно к проектированию крупномасштабного курортного и промышленного строительства на побережье Дагестана весьма важен учет уровня режима Каспия.

О динамике изменения уровня Каспийского моря обычно судят только на основе его водного баланса, т. е. приходной (поверхностный и подземный сток, осадки на акваторию) и расходной (испарение с поверхности, забора воды из моря на технические и хозяйственные нужды, стока в Кара-Богаз-Гол до его перекрытия) составляющих. Однако при прогнозе уровня режима замкнутого моря-озера необходимо еще учитывать поправку на изменение емкости его котловины.

Фактическая емкость или вместимость моря-озера определяется его уровнем и отметками дна. Известно, что на отметки дна Каспийского моря-озера могут воздействовать

отрицательные и положительные тектонические движения, накопление наносов за счет твердого стока рек, эоловой деятельности, осаднения из вод хемогенных или биогенных осадков, а также грязевого вулканизма.

Хотя тектоническая мобильность котловины Каспия общеизвестна, однако результаты структурно-геоморфологического изучения дна и побережья показывают, что рельеф их обусловлен взаимодействием эндогенных и экзогенных факторов (Леонтьев, 1979; Никифоров, 1977 и др.). На основе анализа осадкообразования и структуры дна Среднего и Южного Каспия ряд исследователей (Соловьев и др., 1962) пришли к выводу, что эта область характеризуется, как в прошлом, так и в настоящее время тектоническими движениями разного типа, разной направленности и интенсивности. Современные тектонические движения проявляются дифференцированно и носят колебательный, волновой характер (Лилленберг, 1963). Исходя из уровневых данных (Карта..., 1973 и др.), котловину Каспийского моря можно условно разделить, как представляется автору, на две примерно равные по площади части, испытывающие воздымание и погружение со скоростями современных тектонических движений соответственно до  $+4,7$  мм/год и  $-4,5$  мм/год. Судя по имеющимся геолого-геоморфологическим материалам, для котловины Каспийского моря, по-видимому, присущ на протяжении голоцена в целом относительный суммарный эффект равновесия между разнонаправленными тектоническими движениями.

Проведенный автором анализ тенденции изменения уровня Каспийского моря за последние 10 тыс. лет показал, что в период от 10 до 4—5 тыс. лет назад осредненный уровень Каспия находился на абсолютных отметках от  $-35$  до  $-31$  м, а за последние 4—4,5 тыс. лет он повысился и располагался на отметках от  $-31$  до  $-27$  м (Розанов, 1982). Выявленная тенденция повышения осредненного уровня Каспийского моря за последние 10 тыс. лет (рисунок, А) позволяет утверждать, что емкость котловины этого водоема явно не увеличивалась. Если же представить, что емкость его котловины на протяжении голоцена возрастала, то при таком допущении осредненный палеогидрологический уровень Каспия должен был понижаться или быть, по крайней мере, горизонтальным. Таким образом, результаты анализа осредненного палеогидрологического уровня (рассматриваемого нами как условный тренд) Каспия, наряду с материалами о геолого-геоморфологических особенностях его дна и побережья, дают возможность предполагать относительную стабильность емкости котловины Каспийского моря в течение голоцена. Вывод о том, что емкость котловины Каспийского моря в голоцене была относительно стабильной, имеет практическое значение.

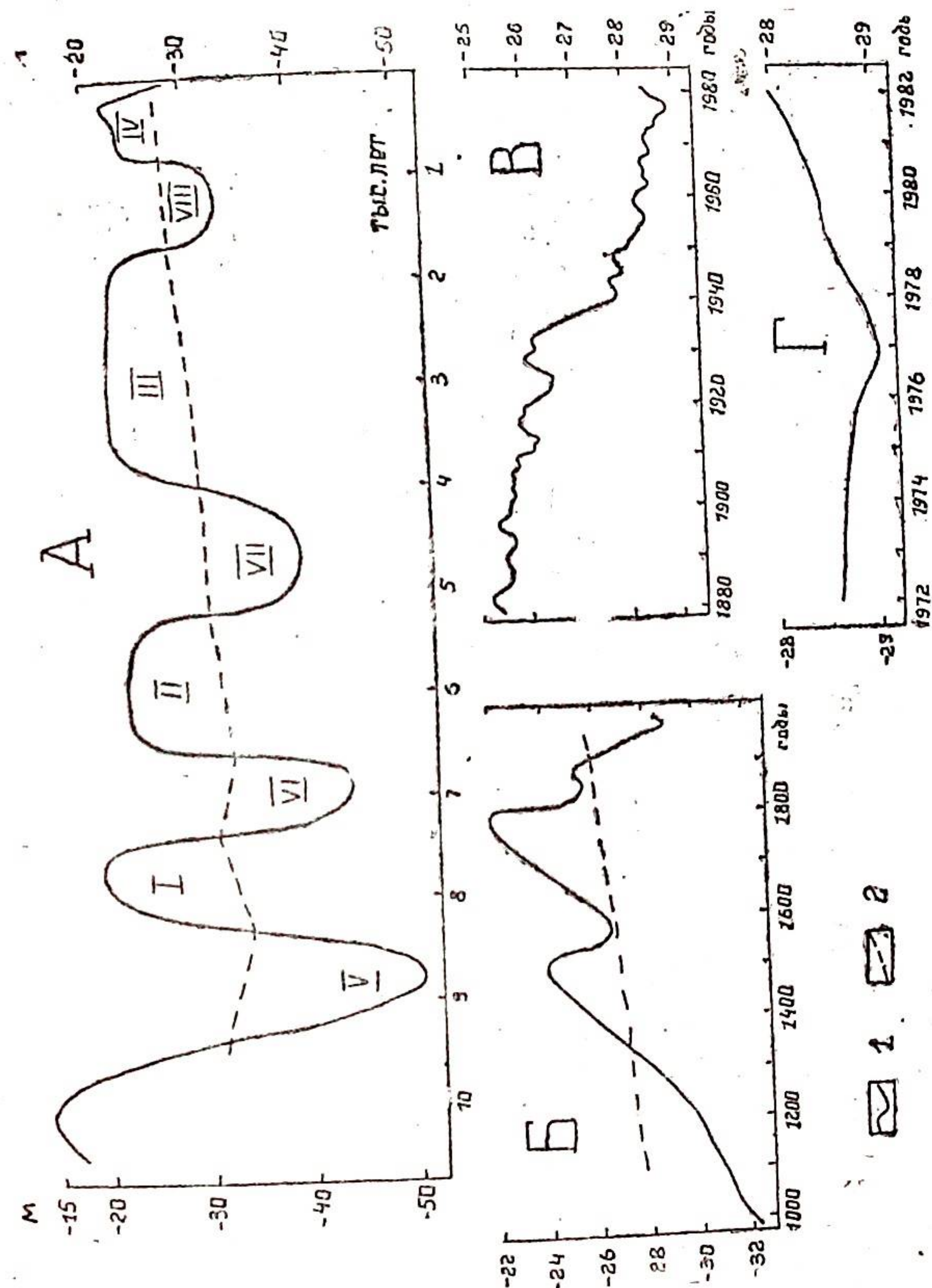


Рис. 1. Колебания уровня Каспийского моря.  
1 — кривая измененный уровня Каспия: А — за 10 000 лет (I—IV стадии новокаспийской трансгрессии, V—VIII — мангышлакская, жиландинская, махачалинская, дербентская трансгрессии); Б — то же за 1000 лет; В — то же за 10 лет; Г — то же за 10 лет; 2 — осредненная палеогидрологическая кривая измененный уровня Каспия [по (10)].

Балансовым методом по весу твердого стока рек (120 млн. т/год до сооружения различных гидротехнических объектов), эоловых наносов (40 млн. т/год) и талассогенных осадков (30 млн. т/год), принимая удельный вес грунта 2,5, автором определено ежегодное уменьшение емкости котловины Каспия на 76 млн. м<sup>3</sup>. В пересчете на объем воды при стоянии уровня моря на отметке -28 м (абс.) величина в 76 млн. м<sup>3</sup> составляет менее 0,0001%. Согласно проведенным расчетам, уровень Каспия ранее повышался за счет уменьшения емкости его котловины на 0,2 мм/год.

Результаты анализа современной геодинамики дна показывают, что она не является причиной снижения уровня Каспия в последние десятилетия, как полагают (Рихтер, 1960 и др.). Емкость котловины Каспийского моря в современную эпоху не увеличивается и поэтому прогноз его уровня режима, основанный на водном балансе, следует признать вполне справедливым.

Последний трансгрессивный подъем уровня Каспия отмечается, по историко-археологическим и геологическим данным (Колебания..., 1980), на отметке -22 абс. м на рубеже XVIII—XIX вв. После 1805 г. уровень Каспия, несмотря на отдельные осцилляции, характеризовался общим неравномерным снижением (рисунок, Б, В, Г), достигнув наименьшей отметки -29,02 м в 1977 г. За последние 5 лет (с 1978 по 1982 гг.) уровень Каспия повысился на 1 м, что обусловлено прежде всего многоводным стоком из бассейна Волги. Более, чем на порядок меньшее влияние на это повышение уровня Каспия оказало перекрытие плотиной залива Кара-Богаз-Гол.

О прогнозе уровня режима Каспийского моря суждения исследователей весьма неодинаковы. Так, Г. Н. Рычагов (1977, с. 60) отмечает, что «в ближайшем и обозримом будущем, вряд ли, возможно значительное понижение уровня Каспийского моря». По расчетам И. А. Шикломанова, В. Ю. Георгиевского (1980, с. 311), «в перспективе до конца столетия в зависимости от сочетания метеорологических факторов в бассейне максимальная амплитуда колебаний уровня может составить 3,2 м (от -27,6 до -30,8 м)». О. К. Леонтьев (1982, с. 7) считает, что «нет больших оснований опасаться серьезного падения уровня Каспия в ближайшее время».

Исходя из относительной стабильности емкости котловины и хода изменений уровня Каспийского моря, имеющей сходство с кривой нормированной автокорреляционной функции (рисунок, А), отражающей направленность процесса, вполне допустимо, по мнению автора, естественное понижение в отдаленном будущем (100—200 лет) уровня Каспия до -30 м и -32 м (без учета антропогенного фактора). Вместе с тем, судя по характеру уровня режима Каспийского моря (рисунок Б, В, Г), на фоне общего естественного сни-

жения возможны кратковременные подъемы уровня Каспия, что имеет практическое значение для хозяйственного развития побережья.

Изложенные данные о характере колебаний уровня Каспия и прогнозе его уровня режима могут быть положены в основу проектных разработок предполагаемого крупномасштабного курортного и промышленного строительства на каспийских берегах, в том числе и на территории Дагестана.

В стабилизации уровня Каспия заинтересованы все отрасли народного хозяйства. Причем рыбное хозяйство заинтересовано не только в стабилизации, но и в повышении уровня Каспийского моря до отметки как минимум -27,5 м. Поскольку в решении проблемы Каспия приоритет отдан развитию рыбного хозяйства, то привязку проектов курортного и промышленного строительства на побережье, по-видимому, следует проводить с учетом возможной будущей стабилизации уровня Каспийского моря на абсолютных отметках между -27 и -28 м. Вместе с тем, приходится констатировать, что начавшееся курортное строительство на побережье Дагестана, по наблюдениям автора, соориентировано на прогноз о постоянном понижении уровня Каспия в обозримой перспективе. Однако, как мы отмечали выше, уровень режим Каспийского моря в будущем в значительной мере окажется под контролем человека. Поэтому одной из насущных задач, в связи с вероятной будущей стабилизацией уровня Каспийского моря путем гидротехнических мероприятий, является внесение соответствующих корректив в существующие проектные разработки предполагаемого крупномасштабного курортного и промышленного строительства на каспийском побережье. При этом крайне важно спрогнозировать возможные нежелательные природные процессы и ту геоморфологическую обстановку в береговой зоне, которые можно ожидать при уровне тяготения моря к абсолютной отметке -27,5 м.

Обратим внимание, что в результате повышения уровня Каспия с 1978 по 1982 гг. на 1 м в его береговой зоне натурально проявились все те природные процессы, которые ранее при снижении уровня моря не наблюдались. Необходимость в моделировании нежелательных природных процессов в настоящее время отпала, так как состоявшееся повышение уровня моря, причем очень быстрое, позволяет изучать их в действительности. Заинтересованным организациям желательно оперативнее использовать предоставленную природой возможность натуральных наблюдений за процессами абразии, затопления, подтопления в береговой зоне Каспия в условиях повышения его уровня с -29 до -28 м. Уместно здесь напомнить о том, что подъем уровня Каспийского

моря выше — 28 м приведет, по мнению [5] к размыву (уничтожению) возникших в довоенное время низких морских террас, которые уже экономически освоены (возведены рекреационные, производственные и жилые здания, проложены дороги и коммуникации).

В результате проведенного осенью 1982 г. автором полевого изучения динамики современных природных процессов в ряде районов побережья между городами Астрахань и Баку можно говорить, что на некоторых участках побережья, в том числе и Дагестана, повышение уровня моря вызвало весьма нежелательные последствия. Так, в районе с. Крайновка активный клиф, интенсивно разрушаемый абразией, подступил уже к жилым домам поселка. Из-за размыва, затопления и подтопления сильно сократились пляжи на побережье манасской зоны отдыха. Практически в полосе воздействия штормовых волн оказался новый строящийся корпус турбазы «Дербент».

Наблюдения автора показали, что текущее повышение уровня Каспия отразилось, о чем ранее предупреждали О. К. Леонтьев и др. (1977), прежде всего на низких морских террасах, возникших в до- и послевоенное время, для которых характерны абсолютные высоты в диапазоне между — 28 и — 25 м. Поэтому особо привлекают к себе внимание факты санаторно-курортного строительства на низких морских террасах. Например, возведенный и возводимые корпуса санатория «Каспий» в манасском районе размещены на площадке низкой морской террасы, имеющей высоту в данном месте — 25 и — 26 м, т. е. без учета возможного воздействия штормовых и нагонных вод при повышении уровня моря.

Обобщая вышесказанное, можно сделать следующие основные выводы и практические рекомендации.

1. На основе анализа материалов о геолого-геоморфологических особенностях дна и побережья Каспия, а также тенденции изменения его осредненного уровня утверждается, что емкость котловины Каспийского моря на протяжении 10 тыс. лет является относительно стабильной.

2. Исходя из относительной стабильности емкости котловины и хода кривой изменений Каспийского моря за последние 10 тыс. лет можно допустить, что Каспий близок к переходу в регрессивную фазу своего развития (без учета антропогенного фактора). Основываясь на ритмичности и затухающей амплитуде трансгрессий и регрессий, прогнозируется снижение в отдаленном будущем (100—200 лет) уровня Каспия до абсолютных отметок — 30 и — 32 м.

3. Намечаемые и уже начавшие осуществляться гидро-технические мероприятия по преобразованию водного баланса моря направлены на стабилизацию уровня Каспия на отметке между — 27 и — 28 м.

4. При привязке предполагаемых курортно-промышленных сооружений к местности, вряд ли можно игнорировать существующий проект стабилизации уровня Каспия на отметке между — 27 и — 28 м.

5. В связи с будущей стабилизацией уровня Каспия и учитывая при этом соответственно возможное воздействие морской стихии во время штормов и нагонов, по-видимому, следует признать непригодными для курортного и промышленного строительства площадки на побережье с абсолютными высотами ниже — 23 м.

6. Современная тенденция в решении проблемы Каспия заключается в стабилизации его уровня на абсолютных отметках между — 28 и — 27 м, что необходимо учитывать при развитии народного хозяйства Каспийского региона.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Карта современных вертикальных движений земной коры Восточной Европы, масштаб 1:2 500 000, М.: Изд. ГУГК, 1973.
2. Колебания увлажненности Арало-Каспийского региона в голоцене. М.: Наука, 1980, 236 с.
3. Леонтьев О. К. Каспийское море. — В кн.: Региональная геоморфология Кавказа. М.: Наука, 1979, с. 163.
4. Леонтьев О. К. Почему не сбылись прогнозы? (к вопросу об изменении уровня Каспийского моря). — Вестник МГУ сер. 5, геог. 1982, № 4, с. 3.
5. Леонтьев О. К., Маев Е. Г., Рычагов Г. И. Геоморфология берегов и дна Каспийского моря. М.: Изд-во МГУ, 1977, 210 с.
6. Лилиенберг Д. А. Современные тектонические движения и морфо-структурные особенности Восточного Кавказа и Закавказья. — В сб.: Современные движения земной коры. М.: Изд-во АН СССР, 1963, № 1, с. 284.
7. Львович М. И., Корожкович Н. И., Кесь А. С., Нейштадт М. И., Малик Л. К., Розанов Л. Л. Оценка вероятных изменений природных условий в районах изъятия, транспортирования и распределения стока. — В сб.: Влияние переброски стока на природные условия. М.: Изд. ИГАН, 1982, с. 6.
8. Никифоров Л. Г. Структурная геоморфология морских побережий. М.: Изд-во МГУ, 1977, 176 с.
9. Рихтер В. Г. Почему не сбылись прогнозы? (Движения земной коры и колебания уровня Каспия). — Природа, 1960, № 2, с. 45.
10. Розанов Л. Л. О емкости котловины Каспийского моря в голоцене. — Изв. АН СССР, сер. геог., 1982, № 2, с. 114.
11. Рычагов Г. И. Плейстоценовая история Каспийского моря. — Автореф. докт. дисс., М., 1977, 62 с.

12. Соловьев В. Ф., Кулакова Л. С., Лебедев Л. И., Масв Е. Г. Основные черты рельефа и геологической структуры дна Среднего и Южного Каспия. — В кн.: Структурно-геоморфологические исследования в Прикаспии, Л.: Гостехиздат, 1962, вып. 7, с. 445.

13. Шикломанов И. А., Георгиевский В. Ю. Проблема уровня режима и водного баланса Каспийского моря. — В кн.: Межзональное перераспределение водных ресурсов. Л.: Гидрометеониздат, 1980, с. 297.

УДК 624.131.6(470.67)

В. П. Ананьев, Л. В. Передельский  
РИСИ

### ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАБУХАЮЩИХ ГРУНТОВ РАВНИННОГО ДАГЕСТАНА В СВЯЗИ С ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫМ СТРОИТЕЛЬСТВОМ

Ирригационный опыт свидетельствует о том, что орошение новых земель в полупустынных районах сопровождается резким изменением существующих геодинамических условий, характеризуется сложным взаимодействием оросительной воды и грунтов. Все это требует от геологов всестороннего научного обоснования гидромелиоративного строительства, прогноза тех геологических явлений, которые могут возникнуть при орошении.

В этом отношении значительный интерес представляет исследование набухающих глин северной части равнинного Дагестана, одного из крупнейших и перспективных районов орошаемого земледелия на юге РСФСР. В отличие от хорошо изученных набухающих грунтов Нижнего Поволжья, Центрального Казахстана и других районов, набухающие глины Дагестана (полупустынные низовья Терека и Сулака) интересны прежде всего с точки зрения их ведущей роли в развитии своеобразных суффозионно-эрозионных явлений, приводящих к деформациям оросительной системы и огромным потерям поливных вод.

Набухающие глины равнинного Дагестана моногенетичны. В своём происхождении они связаны с озерными и аллювиальными процессами, происходящими в дельтовых равнинах в современный период. Установление строгой фациальной принадлежности глин затруднительно, поэтому авторы придерживаются точки зрения о смешанном озерно-аллювиальном генезисе набухающих глин. Обычно они приурочены к краевым частям обсыхающих разливов, озеровидным понижениям, заполнявшимся в прошлом осадками паводковых вод, к староречьям древней гидрографической сети.

Первоначально исследования набухающих озерно-аллювиальных глин и явлений, им сопутствующих, проводилось лишь в низовьях р. Сулак. В дальнейшем, в связи с реконструкцией оросительных систем им. Дзержинского и Таловской эти же породы изучались и в дельте р. Терек. Это позволило сравнить химико-минералогический состав, структуру и свой-

ства двух типов озерно-аллювиальных глин, образованных в результате аккумулятивной деятельности крупнейших рек Дагестана: Терека и Сулака. Изучены также покровные рыхлые пески и супеси мощностью до 2,5 м и подстилающие аллювиально-дельтовые глины и тяжелые суглинки.

Исследования набухающих глин, проведенные с помощью рентгена, термики и электронного микроскопа показали, что в их тонкодисперсной фракции содержатся гидрослюда диоктаэдрического типа, неупорядоченные смешанно-слоистые образования гидрослюдисто-монтмориллонитового состава, каолинит и, в некоторых образцах, хлорит. Монтмориллонит, оказывающий наибольшее влияние на набухание, обнаружен на дифрактограммах глин дельты Терека по рефлексам  $12,8-16,6 \text{ \AA}$ , смещающимся к  $17,4-18,5 \text{ \AA}$  при сольватации глицерином и к  $10 \text{ \AA}$  после обжига. В глинах дельты Сулака присутствует только смешанно-слоистая фаза гидрослюдисто-монтмориллонитового состава (смещение рефлексов после насыщения глицерином с  $10,6-13,0 \text{ \AA}$  до  $14,8 \text{ \AA}$ ). Монтмориллонит в глинах дельты Сулака во фракции  $< 1 \text{ мк}$  не обнаружен.

Для всех исследованных образцов глин характерно высокое содержание гидрослюд (до 80%), остальные глинистые минералы содержатся обычно в небольшом количестве.

Набухающие озерно-аллювиальные глины Дагестана отличаются сравнительно высокой дисперсностью и пластичностью, неводостойким типом структурных связей, значительной уплотненностью (табл. 1).

Таблица 1.  
Обобщенные показатели свойств набухающих озерно-аллювиальных глин Дагестана

Показатели	Минимум	Максимум	Квартили	Меднан. значен.	Число определ.
1	2	3	4	5	6
Удельный вес, г/см <sup>3</sup>	2,73	2,79	2,74—2,76	2,75	27
	2,72	2,78	2,74—2,76	2,75	14
Объемный вес, г/см <sup>3</sup>	1,63	1,94	1,80—1,86	1,83	27
	1,67	1,94	1,81—1,87	1,84	14
Объемный вес скелета грунта, г/см <sup>3</sup>	1,36	1,65	1,44—1,52	1,49	27
	1,33	1,62	1,45—1,53	1,48	14
Пористость, %	40,0	50,5	44—46	46	27
	40,4	52,0	44—48	47	14

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6
Естественная влажность	0,06	0,39	0,18—0,28	0,23	82
	0,14	0,32	0,17—0,29	0,22	28
Степень влажности	0,43	1,00	0,72—0,78	0,8	27
	0,45	1,00	0,71—0,77	0,8	14
Граница текучести	0,42	0,59	0,47—0,53	50	55
	0,42	0,61	0,50—0,56	53	28
Граница раскатывания	0,22	0,31	0,25—0,30	28	55
	0,24	0,32	0,26—0,29	29	28
Показатель консистенции	-0,7	0,37	-0,5—0,1	-0,2	55
	-0,5	0,20	-0,4—0,0	-0,3	28
Показатель уплотненности	0,51	1,21	0,82—0,90	0,87	27
	0,79	1,22	0,90—0,94	0,90	14
Показатель гидрофильности	0,66	0,90	0,72—0,76	0,73	27
	0,70	0,96	0,76—0,80	0,78	14
Содержание фракции $< 0,005 \text{ мм}$	30,4	72,8	45—68	56,0	32
	58,4	80,3	65—78	71,0	14
Максимальная молекулярная влагоемкость, %	-15,2	22,1	17—21	18,5	51
	15,8	24,0	18—22	20	14

Примечание: в числителе даны показатели глин дельты Сулака; в знаменателе — дельты Терека.

Некоторые различия в минеральном составе и структурных особенностях глин дельты Терека и Сулака обусловили неодинаковый характер их размокания, кинетики набухания и ряда других особенностей. Так, например, терские глины относятся к среднеразмокаемым (время полного размокания 36—45 мин.), а сулакские преимущественно к легкоразмокаемым (дезинтеграция образцов за 20—30 мин.). При влажности глин  $W > W_p$  образцы практически не размокают. Глины дельты Сулака заканчивают набухать через 1 сутки (75—90% от величины максимального набухания за 2—3 часа), а терские глины набухают в течение 5—10 суток. Разброс значений набухания-усадки (числитель) и их медианные величины (знаменатель) применены в табл. 2.

Таблица 2

Озерно-аллювиальные глины	Набухание, Н	Объемная усадка, $\Delta V$	Влажность набухания, $W_n$	Давление набухания, $P_n$ , МПа
Дельты Сулака	0,02—0,16	0,05—0,23	0,35—0,49	0,1—0,6
	0,08	0,11	0,42	0,30
Дельты Терека	0,03—0,20	0,04—0,20	0,33—0,41	0,2—0,5
	0,09	0,09	0,38	0,32

Натурные наблюдения за формированием высокой набухаемости глин проводились в дельте Сулака на примере илистых осадков высыхающего мелководного бассейна, залитого паводковыми водами.

В начальный период высыхания осадки характеризуются сильной увлажненностью ( $W=0,77-0,99$ ), рыхлостью ( $\gamma_{ск} = 0,75-0,89$  г/см<sup>3</sup>). Отмечено высокое содержание функции  $< 5$  мк (62—74%), рН среды 7,6; органики 0,8—1,2%. Среди глинистых минералов преобладают гидрослюда и смешанно-слоистые образования гидрослюдисто-монтмориллонитового состава.

После спада паводковых вод илистые осадки в условиях засушливого полупустынного климата интенсивно высыхают (объемная усадка достигает 37—44%) и превращаются в отвердевшую породу, разбитую трещинами усадки на отдельные крупные глыбы.

Крайне быстрый процесс перехода осадков в породу (экзодиагенез по Швецову М. С., 1962), возможный лишь в определенных ландшафтно-климатических зонах — важный этап в формировании глин с высоким набуханием и усадкой. Исследование сулакских глин с помощью контрактометра подтвердило, что быстрое их высыхание сопровождается возрастанием максимальных усадочных напряжений ( $F_{\sigma \max}$ ) до величины 35—40 кгс/см<sup>2</sup>. В то же время при медленном высыхании глинистого осадка усадочные напряжения ( $F_{\sigma \max}$ ) не превышают 18—24 кгс/см<sup>2</sup>.

Значительные усадочные напряжения в глинах приводят к активной перестройке их минеральной части и формированию слитной структуры, отличающейся весьма плотной упаковкой частиц и способностью к интенсивному набуханию.

Набухающие озерно-аллювиальные глины, находящиеся в субаэральных условиях, в отличие от отвердевших глин мелководных бассейнов, более уплотнены и упрочены и менее гидратированы, что свидетельствует о продолжающемся развитии процессов литогенеза.

В естественных условиях набухающие глины нередко разбиты крупными трещинами усадки, уходящими на глубину до 3,5 м от поверхности земли. Именно эта особенность глин приводит к интенсивному поглощению оросительных вод и возникновению провальных деформаций на орошаемых площадях.

Деформации грунтов на оросительных системах Дагестана с давних пор привлекали внимание исследователей (Н. Н. Григорович-Березовский, А. А. Аничков, К. И. Лисицын, В. И. Батыгин, В. А. Шмырин, М. Г. Сагидаев и др.). Едва ли не каждый исследователь предлагал свою собственную точку зрения о причинах возникновения провалов грунта. К сожалению, эти гипотезы строились в основном на материалах рекогносцировочных обследований без подробного изучения горных пород.

Детальные инженерно-геологические исследования, проведенные Южгипроводхозом и Ростовским инженерно-строительным институтом на территории равнинного Дагестана позволили установить природу провальных деформаций грунтов при орошении и разработать практические рекомендации по борьбе с ними (Гаврилов Н. И., Передельский Л. В., 1963; Ананьев В. П., Передельский Л. В., 1976).

В основу мероприятий по предупреждению неблагоприятных последствий провальных явлений при орошении положен принцип взаимной обратимости процессов набухания и усадки.

С этой целью при вводе в систему орошения Гулкутановского, Шамсутдиновского, Шамхальского, Караузекского и других участков с трещиноватыми усадочными глинами в дельтах Сулака и Терека рекомендованы многократная замочка и тщательная планировка местности. Ориентировочный объем воды, необходимой для закрытия трещин усадки составляет 1850—3400 м<sup>3</sup>/га в зависимости от характера строения и свойств грунтовой толщи.

Дальнейшее совершенствование методов прогноза поведения набухающих глин Дагестана при орошении должно идти по пути глубокого изучения их состава и свойств, всестороннего исследования процессов, протекающих в зоне аэрации при переменном режиме влажности, с учетом геоструктурных и ландшафтно-климатических особенностей региона.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ананьев В. П., Передельский Л. В. Прогноз суффозионно-эрозийных явлений на орошаемых массивах, сложенных трещиноватыми усадочными глинами.

ными грунтами. — Тезисы докл. III межведомственного совещания по вопросам прогнозирования гидрогеологических условий, М., 1976, вып. V.

2. Гаврилов Н. И., Передельский Л. В. Сулакский «карст». — Природа, 1963, № 3.

3. Передельский Л. В. Природно-антропогенные геологические явления в дельтовых районах засушливой зоны СССР и их связь со смежными геологическими явлениями. — Изв. вузов, сер. геол. и разведка, 1974, № 4.

4. Швецов М. С. Процессы, превращающие осадки в породы и изменяющие породы. — Тр. 3-го Всесоюзного совещания по литол. и минерал. осадочн. пород. АН АзССР, Баку, 1962.

УДК624.138; 624.138(470.67)

Н. В. Воляник, В. Д. Зотов,  
С. В. Трусова, А. И. Семененко  
РИСИ

### ТЕХНИЧЕСКОЕ МЕЛИОРИРОВАНИЕ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ УПЛОТНЕНИЕМ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ИНЖЕНЕРНО- ГЕОЛОГИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ ДАГЕСТАНА

В докладе рассматривается постановка крупномасштабного, долговременного натурального эксперимента, дается анализ полученной информации о различных аспектах создания трамбованием грунтовых подушек и их свойствах. Площадка, на которой были поставлены эксперименты, по инженерно-геологическим условиям близка многим районам Дагестана.

Наибольшее сходство лессовых отложений Дагестана с лессовой толщей экспериментальной площадки (Донно-Сальский водораздел) отмечается для предгорной равнины на севере автономной республики, где развита лессовая толща эолово-делювиального происхождения, мощностью от 8—10 до 20—25 м. Природная влажность в зоне аэрации не превышает 14%, а ее средние значения около 9%. Объемная масса грунта — 1,57 г/см<sup>3</sup>, пористость — 47%, число пластичности — 0,08—0,12. В глинистой фракции существенно преобладают гидрослюды. Класс структуры лессовых грунтов (по А. К. Ларионову) зернистый и зернисто-плёчатый, а также зернисто-агрегативный.

В пределах экспериментальной площадки мощность лессовых отложений достигает 28 м, причем уровень грунтовых вод (УГВ) от природного рельефа был зафиксирован на глубине около 10 м. Девятиметровая просадочная толща состоит из двух инженерно-геологических элементов (ИГЭ). В интер-

вале глубин 1—4 м лессовые грунты имеют  $\bar{W}=10\%$ ; объемную массу грунта — 1,60 г/см<sup>3</sup>; пористость — 45,5%. Число пластичности — 0,09÷0,11. Для П-го ИГЭ (глубина 5—9 м)

характерны более высокие значения  $\bar{W}$ ,  $\gamma_0$  и  $J_p$ , соответственно большая плотность и меньшая относительная просадочность лессовых грунтов.

По минеральному составу лессовые грунты обоих эле-

ментов являются гидрослюдистыми (табл. 1) как и лёссы предгорной равнины Дагестана.

Таблица 1  
Минеральный состав фракции < 0,001 мм лессовых грунтов экспериментальной площадки

Глубина, м	Содержание минералов, %			
	монтмориллонит	гидрослюда	каолинит	хлорит
2,0	16	66	5	4
4,0	13	69	5	3
6,0	22	60	4	4
8,0	12	66	9	3

По структурным признакам лессовые грунты обоих ИГЭ относятся к зернистым ( $K_1=0,23$ ) и зернисто-агрегативным ( $K_1=0,16^*$ ).

Итак, лессовые отложения 1-го ИГЭ очень близки по составу, структуре и свойствам лессовым отложениям территории Дагестана, а, следовательно, к ним применимы выводы и рекомендации, полученные на экспериментальной площадке, хотя она расположена вне рассматриваемого дагестанского региона.

На опытной площадке было проведено испытание штампов: ОШЕ-1, ОШЕ-2, ОШУ-1 и ОШУ-2, представляющих в плане сварные металлические прямоугольники размерами  $0,8 \times 4,0$  м. Перед началом испытаний основание штампов ОШУ-1 и ОШУ-2 было уплотнено тяжелыми трамбовками массой 7,5 т, при этом высота уплотненной грунтовой подушки составила 1,6 м.

Штамповые испытания проводились в котловане глубиной 1,0 м от природного рельефа (за счет удаления почвы и понижения поверхности грунта в процессе трамбования).

При дальнейших замерах этот уровень был принят за отметку  $\pm 0,00$  м. По периметру котлована были устроены дренажные траншеи, засыпанные щебнем и представляющие собой замкнутый контур глубиной 4,5 м от дна котлована. Вода подавалась в траншеи через специальные короба, установленные в траншеи на глубину до 2 м.

По оси опытных штампов устанавливались грунтовые

\* Структурные коэффициенты:  $K_1, K_2, K_3$  по классификации РИСИ. См. Материалы IV Всесоюзной конференции по инженерной геологии. 1980 г.

марки на глубинах: 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 и 3,0 м. Измерение вертикальных перемещений углов опытных штампов и глубинных марок выполнялось прецизионным нивелированием.

Программой эксперимента предусматривалось нагружение штампов до значения удельного давления по подошве 0,3 МПа, стабилизация деформаций и подъем УГВ через дренажные траншеи.

Постановке основного крупномасштабного эксперимента предшествовали методические лабораторные и полевые опыты.

При лабораторном уплотнении грунта природного состава сериями от 5 до 30 в приборе ДорНИИ (малом) содержание фракции < 0,005 мм возросло от 6,6% до 13,7%. Интересно отметить, что эти цифры совпадают с результатами анализа образцов лессового грунта, отобранных со дна котлована, уплотненного трамбованием.

Следовательно, в процессе уплотнения происходит диспергация грунта, увеличение удельной суммарной поверхности части, а значит и количества связываемой воды, повышение роли коагуляционных связей в уплотненном грунте.

Было также отмечено повышение концентрации порового раствора в грунте после его уплотнения в приборе ДорНИИ. Подобный факт можно объяснить увеличением удельной поверхности породы, доступной для растворяющего воздействия воды в форме порового раствора. Этот процесс вызывает уменьшение количества связанной воды в грунте и, безусловно, влияет на величину оптимальной влажности уплотнения.

Динамические импульсы оказывают определенное воздействие и на глинистые минералы: монтмориллонит и гидрослуду. Так, при рентгеновских исследованиях фракции < 0,001 мм образца трамбованного грунта пик  $18,4 \text{ \AA}$  у монтмориллонита более размыт, чем на рентгенограммах образцов из грунтов природного сложения. При уплотнении изменяется и характер маркирующего пика у гидрослуды. Все это в сочетании с исчезновением эндопика на термограмме при  $620^\circ$  свидетельствует об ухудшении их кристаллохимического совершенства, что в свою очередь отразится на снижении способности связывать поровый раствор, а в конечном счете снизит сцепление уплотненного лессового грунта. Проведенные лабораторные методические опыты на лессовых грунтах различного состава позволили установить, что:

$W_{\text{опт}}$  — оптимальную влажность трамбования следует определять экспериментальным путем, а не по расчетным формулам, опирающимся на величину  $J_p$ ;

при большой засоленности ( $> 0,3\%$  на 100 г сухой породы)  $W_{\text{опт}}$  превышает  $J_p$ , а при меньшей засоленности лессового грунта —  $W_{\text{опт}}$  меньше  $J_p$ ;

$W_{opt}$  зависит от числа ударов трамбовки (молота в лабораторных условиях) и величины динамического импульса; отклонение влажности трамбуемого грунта от оптимальной влажности на  $\pm 5\%$  приводит к снижению объемной массы грунта на  $0,10 \div 0,15 \text{ г/см}^3$ , величину в  $3 \div 5$  раз превышающую допустимый разброс однородности уплотненного массива по плотности.

Полевые методические опыты по уплотнению трамбовкой массой 7,5 т лессовых грунтов района опытной площадки были направлены на изучение структурно-текстурных особенностей уплотненного грунта в пределах уплотненной подушки и оценку деформативных свойств мелиорированного лессового грунта с новыми структурными связями, сформированными в условиях уплотнения при  $W_{opt}$ , установленными по описанной выше методике.

После окончания трамбования с высоты  $6 \div 7 \text{ м}$  до отказа  $1 \div 1,5 \text{ см}$  был открыт шурф до глубины 5,5 м. Грунт, отобранный с глубины (от природного рельефа): 1,5—2,0—2,5—3,0 имел неоднородное строение, поэтому монолиты разделялись на блоки, по 2—3 в каждом (табл. 2).

В монолите № 0 верхняя зона имеет наибольшее уплотнение, но состоит из отдельных элементов, разделенных тонкими трещинами, в связи с чем, при среднем значении  $\gamma_{ск} = 1,83 \text{ г/см}^3$  у него большой разброс по плотности ( $1,84 \div 1,88$ ). Кроме того, относительная просадочность и сжимаемость грунта из верхней зоны монолита несколько выше, чем в средней зоне. Нижняя зона менее уплотнена, значение  $\gamma_{ск}$  снижается до  $1,73 \text{ г/см}^3$  против  $1,79 \text{ г/см}^3$  в средней зоне, выше относительная просадочность и сжимаемость (табл. 2).

Ниже, по монолитам 1, 2 и 3 наблюдается чередование зон с большим и меньшим уплотнением. Однако, модули деформации во всех случаях после трамбования, по результатам компрессионных испытаний, возрастают в  $2,5 \div 4,0$  раза, а относительная просадочность повсеместно менее 1%.

Степень влажности грунтов, уплотненных трамбованием, характеризуется почти полным водонасыщением, особенно в верхней зоне, что практически исключает дополнительное доувлажнение при подъеме уровня грунтовых вод или поступления воды сбоку. При приложении значительных динамических воздействий к грунту структура его претерпела глубокую перестройку, о чем свидетельствует сравнительный анализ результатов дисперсного (Д) и агрегатного (А) анализов, приведенных в табл. 3 и 4.

В верхнем слое утрамбованного грунта по монолиту № 0 отмечено снижение  $K_1$ , что свидетельствует о некотором дроблении частиц песчаной фракции. Эта же тенденция прослеживается до глубины 3,5 м.

Падение величины  $K_2$  практически по всей исследуемой

Таблица 2

Изменение плотности и деформативности лессовых грунтов контрольного узла в результате трамбования

№ монолита	Глубина, м	Влажность монолита	Объемная масса, г/см <sup>3</sup>		Коэффициент пористости	Степень влажности	Модуль деформации, кгс/см <sup>2</sup>		$\delta$ в % при $P=3 \text{ кгс/см}^2$	
			влажного	скелета			естеств.	трамбов.	естеств.	трамбов.
0—I		0,16	2,12	1,83	0,470	0,92	38	101	3,6	0,5
0—II	1,5	0,17	2,09	1,79	0,503	0,91	32	155	3,3	0,4
0—III		0,18	2,04	1,73	0,555	0,87	46	69	4,0	0,8
1—I	2,0	0,18	2,08	1,76	0,528	0,92	33	105	3,6	0,8
1—II		0,19	2,07	1,74	0,546	0,94	33	80	3,6	0,8
2—I	2,5	0,17	2,06	1,76	0,528	0,87	33	158	4,2	0,4
2—II		0,17	2,01	1,72	0,564	0,81	33	121	4,2	0,6
3—I	3,0	0,18	2,05	1,74	0,546	0,89	33	87	3,6	0,2
3—II		0,18	2,03	1,72	0,564	0,86	33	139	3,6	0,2
4	3,5	0,15	1,96	1,70	0,582	0,70	39	140	4,2	0,3
5	4,0	0,17	1,85	1,58	0,703	0,65	62	88	1,7	1,1
6	5,0	0,21	1,79	1,48	0,812	0,70	47	42	2,8	2,8
7	5,5	0,21	1,75	1,45	0,859	0,66	29	36	3,6	3,6

Таблица структурных характеристик грунтов до тромбования

Глубина, м	Вид анализа	Содержание частиц, %						Структурные коэффициенты		
		>0,10	0,10—0,05	0,05—0,01	0,01—0,005	0,005—0,002	<0,002	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>
1,0	Д	12,5	1,05	37,7	6,2	7,9	34,6	0,16	0,74	0,04
	А	14,5	2,7	52,4	9,5	12,0	8,9			
1,5	Д	9,2	0,8	32,2	17,9	9,0	30,9	0,11	0,65	0,26
	А	12,3	5,5	52,3	14,2	3,9	10,9			
2,0	Д	2,8	1,8	53,0	5,2	8,9	28,3	0,05	0,63	0,20
	А	12,8	7,5	49,7	8,8	10,5	10,6			
2,5	Д	1,9	1,0	46,5	6,9	9,4	34,3	0,03	0,71	0,20
	А	13,4	5,5	47,5	10,5	13,1	10,0			
3,0	Д	5,5	19,4	41,5	7,1	4,5	22,0	0,33	0,61	0,44
	А	29,4	18,4	38,4	10,3	1,0	8,5			
3,5	Д	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	А	—	—	—	—	—	—			
4,0	Д	3,3	14,8	36,0	18,4	6,7	21,5	0,22	0,53	0,18
	А	12,1	20,6	43,9	10,5	4,2	9,1			
5,0	Д	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	А	—	—	—	—	—	—			
5,5	Д	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	А	—	—	—	—	—	—			
6,0	Д	1,5	9,7	52,8	2,2	1,7	32,0	0,13	0,78	0,15
	А	20,4	25,0	37,1	6,5	4,1	6,9			

Таблица 4

Таблица структурных характеристик грунтов после тромбования

Глубина, м	Вид анализа	Содержание частиц, %						Структурный коэффициент		
		>0,10	0,10—0,05	0,05—0,01	0,01—0,005	0,005—0,002	<0,002	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>
1,0	Д	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	А	—	—	—	—	—	—			
1,5	Д	8,4	2,1	34,6	16,0	7,3	35,8	0,12	0,28	0,20
	А	8,3	20,5	34,7	5,6	10,5	20,6			
2,0	Д	3,1	2,7	26,4	31,1	10,3	26,3	0,06	0,21	0,03
	А	4,2	4,6	48,5	13,5	12,1	17,0			
2,5	Д	4,7	2,9	48,7	7,5	12,5	29,6	0,01	0,45	0,08
	А	6,6	7,6	54,3	8,3	14,2	9,1			
3,0	Д	2,1	14,9	44,0	9,8	9,0	20,1	0,20	0,30	0,06
	А	9,1	18,0	47,3	10,1	8,0	12,5			
3,5	Д	4,6	12,5	30,9	11,4	8,4	32,1	0,21	0,52	0,17
	А	17,1	13,9	43,1	6,5	11,1	8,3			
4,0	Д	5,6	7,5	37,4	18,3	6,7	24,6	0,15	0,42	0,17
	А	12,1	15,5	48,0	6,0	11,4	6,9			
5,0	Д	6,2	12,5	34,9	18,8	5,1	22,3	0,23	0,60	0,03
	А	9,8	11,3	5,3	17,7	4,1	6,9			
5,5	Д	7,4	13,2	38,0	7,2	7,9	23,3	0,26	0,69	0,12
	А	9,6	20,6	44,8	15,2	8,2	1,6			

толще также свидетельствует о разрушении агрегатов в процессе трамбования. Количество фракции  $< 0,002$  мм по данным агрегатного анализа приближается к ее содержанию при дисперсной подготовке образцов, тем самым фиксируется разрушение части коагуляционных связей.

Коэффициент  $K_3$ , отражающий степень прочности и водостойкости агрегатов, резко снижается (табл. 4) у образцов до глубины  $3,5 \div 4,0$  м. Таким образом, малопрочные агрегаты разрушились. Оставшиеся агрегаты и монозерна приняли более плотную упаковку, а промежутки между ними заполнялись увеличившимся количеством пылеватых и глинистых частиц. Увеличение количества последних, несвязанных в агрегаты, приводит к увеличению удельной поверхности, что, в свою очередь, способствует удержанию уплотненным грунтом большего количества физически связанной влаги.

Рассмотрим теперь результаты основного натурного эксперимента, проведенного в грунтовых условиях, приближающихся к грунтовым условиям района развития лессовых толщ предгорий на севере Дагестана.

Таблица 5

Средние значения осадок штампов и установленных в их основаниях глубинных марок, мм

Удельное давление по подошве штампа, МПа	Номер штампов и марок и глубина их установки					
	ОШЕ № 1, 2 0,0 м	М-1 0,5 м	М-2 1,0 м	М-3 1,5 м	М-4 2,0 м	М-5 2,5 м
0,05	10	3	1	0	—	—
0,10	13	5	4	1	0	—
0,15	19	8	6	4	0	—
0,20	30	13	11	6	2	—
0,30	50	21	19	10	5	1

—	ОШУ					
	№ 1, 2 0,0 м	М-1 0,5 м	М-2 1,05 м	М-3 1,5 м	М-4 2,0 м	М-5 2,5 м
0,05	12	2	0	—	—	—
0,10	18	5	2	0	—	—
0,15	25	10	4	2	1	—
0,20	35	15	6	4	2	—
0,30	40	19	8	5	2	1

Анализ данных, приведенных в таблице 5, показывает, что суммарная осадка штампов на естественном основании (50 мм) в процессе их загрузки при естественной влажно-

сти больше чем осадка штампов на уплотненном основании (40 мм). Наибольший интерес при этом представляет сопоставление того, какая часть общей деформации основания штампов зафиксирована в интервале между подошвой штампов и уровнем заложения глубинной марки М-1 (0,5 м). По мере увеличения удельного давления, по подошве штампов эта доля в основании штампов ОШЕ убывает от 70 до 57% общей деформации основания при соответствующей ступени нагрузок.

В основании штампов ОШУ эта доля также убывает — от 83 до 52% общей деформации. Обращает на себя внимание тот факт, что эти же проценты при низких ступенях загрузки штампов (0,05 ÷ 0,10 МПа) выше для штампов ОШУ и ниже для них при  $p = 0,3$  МПа по их подошве.

Как отмечалось выше, грунт уплотненной подушки в верхней своей части имеет специальное строение с системой тонких трещин, закрытие которых во время начальных стадий загрузки и вызывает псевдоповышающую деформируемость уплотненного основания.

Если вычислить модули общей деформации для различных этапов загрузки, получим противоречивую картину сжимаемости естественного и уплотненного оснований. Для диапазона удельных давлений 0,05 ÷ 0,15 МПа:  $E_e > E_y$  примерно в 1,5 раза, а для  $p = 0,2 \div 0,3$  МПа  $E_y > E_e$  в 4 раза.

Этот последний результат соответствует данным лабораторных испытаний однородных образцов из уплотненной подушки (см. табл. 2). Из сказанного следует вывод, что при постановке полевых штамповых опытов на уплотненном основании верхние 0,5 м этой подушки — наиболее разбитые трещинами — необходимо удалять перед установкой штампа.

При этом следует иметь в виду, что уплотненное основание под подошвой реальных фундаментов загружается постепенно и когда будут созданы эксплуатационные нагрузки, то трещины сомкнутся и основание будет работать в таком же напряженно-деформируемом состоянии, что и при конечных ступенях загрузки ОШУ № 1 и 2. После стабилизации осадок штампов ОШЕ и ОШУ под нагрузкой 0,3 МПа (наблюдения велись в течение 6 месяцев) был произведен постепенный подъем УГВ. Последнее достигалось путем интенсивной подачи воды в дренажные траншеи. Подача воды осуществлялась круглосуточно и замерялась водомером.

Через 5 суток после начала замачивания грунтовые воды были зафиксированы во всех шести наблюдательных скважинах, однако подъем УГВ относительно начального положения отличался значительными колебаниями от 0,8 до 3,4 м. К исходу 10 суток УГВ во всех скважинах существенно выровнялся, и составил в среднем 5,6 м, а  $\sigma \pm 0,35$ . В период от 10 до

20 суток подъема УГВ почти не происходило, его средняя величина составила 5,7 м, произошло выравнивание зеркала грунтовых вод. Далее от 20 до 45 суток наблюдается плавный повсеместный подъем УГВ на 1,1 м. По мере насыщения влагой массива грунта вокруг опытной площадки, происходило уменьшение расхода воды в сутки на поддержание 1 м напора, так на 10 сутки эта величина составила 9,8, а на 20 суток — 9,2 и на 45 суток — 6,7 м<sup>3</sup>.

Средняя максимальная величина подъема УГВ — 6,8 м, а  $\sigma \pm 0,40$ . Надо отметить, что начиная с 10 суток и до конца эксперимента по подъему УГВ разброс в величинах подъема поверхности зеркала грунтовых вод характеризовался коэффициентом вариации  $V=0,06$ , что соответствует представлениям о наличии достаточной однородности массива по влажности и плотности, а именно эти свойства породы и определяют равномерность распределения в ней грунтовых вод. При подъеме УГВ с отметки —9,0 до отметки —2,5 м в основаниях опытных штаммов на грунтах с природной плотностью проявились просадочные деформации (30 ÷ 35 мм).

Штампы же на уплотненном основании в тоже время дополнительных деформаций практически не испытали, т. к. уплотненный массив обладает повышенными значениями прочностных и деформативных характеристик. Кроме того, степень влажности его, как показали методические опыты, 0,8 ÷ 0,9 и он практически не способен к доувлажнению при подъеме УГВ.

На основании проведенных исследований представляется возможным сделать следующие выводы:

1. Легкие и средние по грансоставу лессовые отложения, в том числе и Дагестана, хорошо поддаются уплотнению трамбовками массой 5 ÷ 7,5 т при влажности уплотнения, соответствующей —  $W_{\text{опт}}$ .

2. Оптимальную влажность ( $W_{\text{опт}}$ ) следует каждый раз определять экспериментальным путем, т. к.  $W_{\text{опт}}$  зависит от многих факторов геологического и технологического характера.

3. Грунтовые подушки (массивы) из уплотненных тяжелыми трамбовками лессовых грунтов обладают высокой прочностью и малой сжимаемостью, весьма водостойки, в том числе и при длительном обводнении на окружающей территории.

4. При определении модуля общей деформации уплотненных массивов лессовых грунтов в полевых условиях верхние 0,5 м слоя утрамбованных грунтов следует удалять из-под штампа.

## РЕЗУЛЬТАТЫ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА К ИЗУЧЕНИЮ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГЛИНИСТЫХ ПЛИОЦЕН-ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ КАСПИЙСКОГО МОРЯ В ПРОЦЕССЕ ЛИТОГЕНЕЗА

Проблема формирования и изменения свойств горных пород является важнейшей в инженерной геологии и исследуется на протяжении нескольких десятилетий. Из основных теоретических положений этой проблемы, сформулированных [1, 2] следует, что наиболее важным фактором формирования и изменения физико-механических свойств дисперсных пород является литогенез, в процессе которого глинистые отложения проходят несколько этапов, различающихся по степени литификации, интенсивности геохимических преобразований, синерезиса, дегидратации, уплотнения, по природе структурных связей и иным характеристикам.

Поэтому особенности формирования свойств глинистых пород в процессе литогенеза привлекают пристальное внимание многих исследователей. За последние 2—3 десятилетия благодаря работам [1—10] изучены основные этапы этого формирования, выявлены общие закономерности изменения состава, состояния, строения и свойств, решен ряд иных задач, что способствовало познанию природы свойств глинистых пород и разработке теоретических основ их инженерно-геологической оценки. При этом в качестве основных объектов исследований неоднократно использовались разрезы плиоцен-четвертичных отложений Каспийского моря. Благодаря тому, что условия образования этих отложений, их минеральный и гранулометрический составы изменяются несущественно в значительном (до 1200 м и более) интервале глубин, влияние литогенеза на свойства пород выступают здесь в сравнительно «чистом» виде. Результаты исследований опубликованы не только в научной литературе, но также в учебниках как классический пример стадийности формирования свойств осадочных пород [11]. Остановимся вкратце на этих результатах.

В интервале глубин от 0,5—4 до 1200—1250 м в рассмат-

риваемых отложениях выделяется, как правило, 5 зон литогенеза [4, 8, 9]. Нижние границы залегания этих зон для различных разрезов показаны в табл. 1, где нумерация зон нами изменена: часто выделяемая зона II названа зоной I-a, зона III — зоной II и т. д.

Перечисленные в табл. 1 зоны литогенеза выделяются, как правило, на основе анализа закономерностей вертикальной изменчивости показателей свойств. Некоторые из таких закономерностей для наиболее детально изученного разреза скважин — № 4 и 8-а Алятинской структуры иллюстрируются на рис. 1 (по данным [3]).

Анализ рис. 1 позволяет отметить, что на общем фоне незакономерного изменения состава пород, уменьшения пористости и увеличения пластической прочности выделяются группы точек с различающимися особенностями вертикальной изменчивости, которые можно рассматривать в качестве отдельных зон. Например, первая зона характеризуется резким уменьшением, вторая — существенным увеличением пористости и плавным повышением прочности пород. В третьей и четвертой зонах пористость снова уменьшается, более резко увеличивается  $P_{пл}$ . Однако приведенный анализ несколько навязан системой обозначений. Если отвлечься от нее, то легко создать множество вариантов расчленения рассматриваемого разреза.

Так, зона I может быть продолжена до глубины 15 м ( $lgN=1,2$ ), либо выделена зона I-a в интервале от 4 до 15 м, т. к. до этой глубины продолжается уменьшение пористости и увеличение прочности. Эту же зону (I или I-a) можно ограничить глубиной 8 м, либо продолжить до глубины 30—40 м. Зону III можно выделить в интервале глубин от 30 до 200 (отмечается закономерное уменьшение пористости), либо до 300—350 м (после этого уменьшение  $p$  и увеличение  $lgP_{пл}$  наиболее стремительно) и т. д., т. е. получить весь спектр интервалов глубин залегания тех или иных зон, отмеченных в табл. 1 не только для охарактеризованного, но и для других аналогичных разрезов (за исключением поднятия Сарыгай-баши).

Таким образом, результаты выделения отдельных этапов формирования свойств пород (зон литогенеза) на основе анализа закономерностей вертикальной изменчивости этих свойств характеризуется существенной неопределенностью. Положение не улучшается, если число показателей увеличивать (в ряде работ их насчитывается более 20), вводить новые характеристики, различные критерии в виде отношений показателей, их разностей и т. п. Подтверждением такой неопределенности является различное число зон в сходных интервалах глубин аналогичных разрезов и даже одного и того же разреза. Например, в интервале от 10—24 до 60 м (в грани-

Таблица 1  
Зоны литогенеза плиоцен-четвертичных глинистых отложений Каспийского моря

Зоны	Глубина нижней границы залегания пород от дна моря, м												
I	7—8	4—4,5	4—4,5	4—6	10	10—11	10	13—15	10—15	21—24	15—20	15—35	...
Ia	—	7—8	15	—	16—18	—	30—40	—	30—40	—	30—40	—	—
II	70—90	—	—	61—91	40—45 100—105	115—125	60	60	128	128	250—300	...	9—12
III	550—600	—	—	544—610	220	220	...	...	...	...	600—700	450—500	65—80
IV	$\geq 1200$	—	—	$\geq 1200$	...	...	...	...	...	...	$\geq 1250$	$\geq 1250$	$\geq 90$
Источник сведений	[3]	[4]	[8]	*	[6]	*	[7]	*	[7]	*	[9]	*	*
Местоположение объекта	Алятинская структура (скв. № 4 и 8а)			Участок в 2 км восточнее о. Глиняного			Склон банки Макарова (скв. 7)		Поднятие банки Кужани (скв. 9)		Скв. 15 (6 км западнее банки Макарова), скв. 16 (4,5 км СЗ о. Лось) и др. [10]		

\*) По результатам системного анализа экспериментальных данных. В этом случае два числа в одной строке означают дискретность опробования и означают нижнюю границу данной зоны (первое число) и верхнюю — следующей (второе число). Глубины на участке Сарыгай-баши приблизительные ( $\pm 3—5$  м). Во всех случаях прочерк означает отсутствие зоны, три точки — отсутствие сведений.

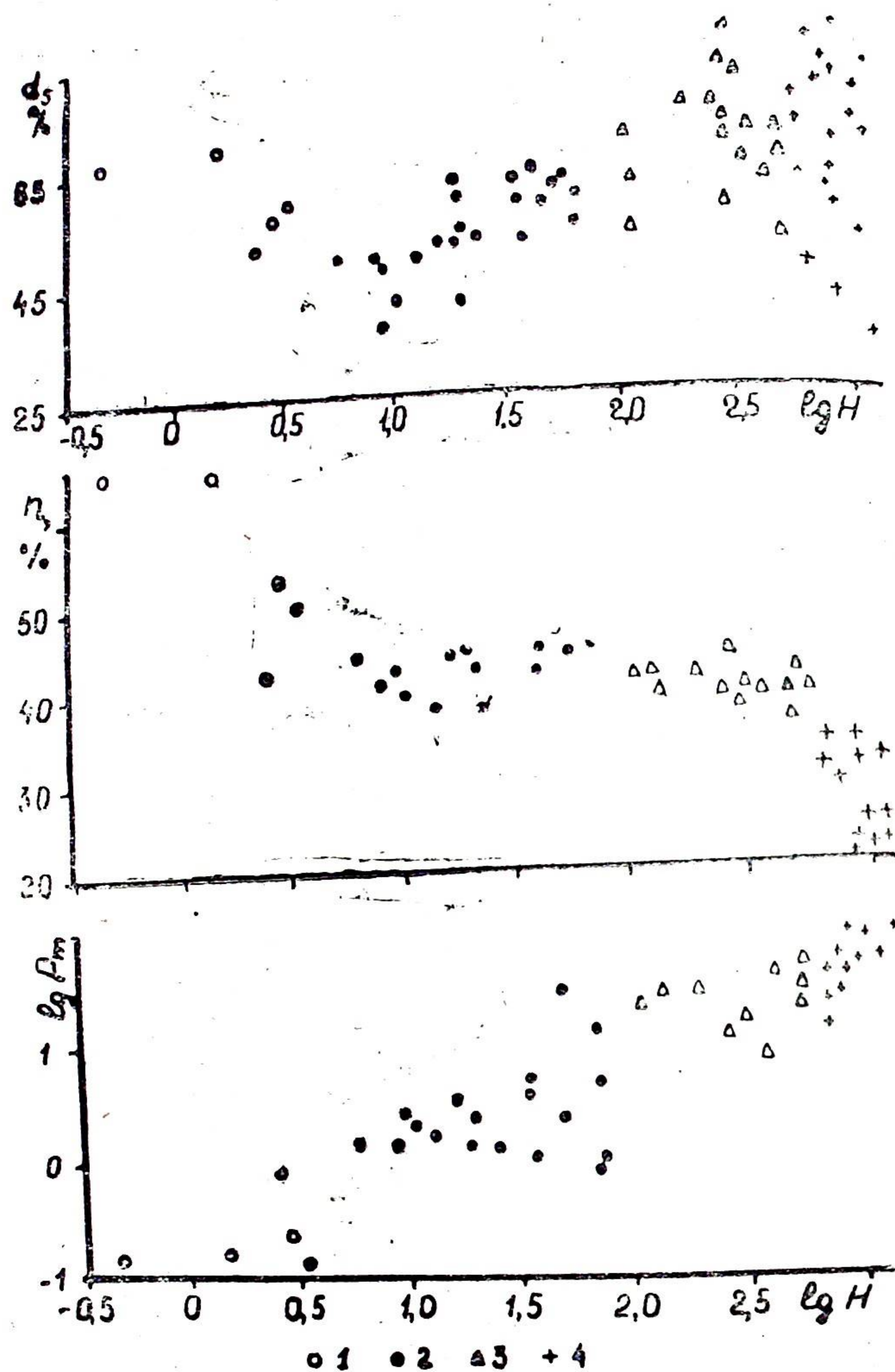


Рис. 1. Зависимости содержания фракции диаметром менее 0,005 мм,  $d_5$  пористости  $n$  и логарифмов пластической прочности  $\lg P_m$  от логарифмов глубин залегания пород  $\lg H$  в сводном разрезе глинистых отложений Алятинской структуры: 1—4 — частные значения показателей свойств пород для I—IV зон литогенеза соответственно.

цах зон I-a—II) выделяется одна [3], чаще две [4; 7—9], иногда три\*) [6] зоны (см. табл. 1).

Устранение отмеченной неопределенности возможно на основе такого метода экспериментальных данных, который соответствует сущности изучаемого объекта.

Изымаем

ичных глинистых

Таблица 2

Пок	ы корреляции $r$					
	МВ	W	п	$l_L$	$P_m$	Н
Содержание фракции 0,05 мм, $d_n$	0,80	-0,30	-0,40	-0,2	0,30	0,30
То же, менее 0,001	0,74	0,0	0,1	-0,1	-0,1	-0,1
То же, менее 0,0001	0,90	0,1	0,1	-0,1	0,0	0,1
Медианное значение	0,88	-0,2	-0,2	0,0	0,1	0,1
Граница текучести	0,95	0,1	0,2	0,1	-0,1	0,0
Граница раскаты	0,90	0,1	0,1	-0,1	0,0	0,1
Число пластичности	0,87	0,1	0,2	0,0	-0,1	-0,1
Максимальная мощность ММВ	0,33	0,2	0,28	0,0	-0,2	-0,1
Близость W	0,34	*	0,94	0,96	-0,68	-0,69
Перистость п, %	0,1	0,99	*	0,93	-0,84	-0,86
Показатель концентрации	0,1	0,96	0,95	*	-0,74	-0,76
Пластическая про	0,1	-0,88	-0,85	-0,94	*	0,91
Глубина залегания	0,1	-0,84	-0,85	-0,88	0,94	*
Плотность пород	0,28	-0,97	-0,99	-0,93	0,85	0,85
Показатель уплотнения	0,0	-0,95	-0,94	-0,99	0,94	0,88
Относительная влажность	0,0	0,93	0,90	0,98	0,94	-0,90
Показатель степени	0,24	-0,88	-0,87	-0,96	0,94	0,91
Сопротивление $R, 10^5$ Па	0,1	-0,83	-0,82	-0,88	0,96	0,89

изованных взаимосвязей.  $r$ , для недостоверных — до 0,1.

цах зон I-a—II) выделяется одна [3], чаще две [4; 7—9], иногда три\*) [6] зоны (см. табл. 1).

Устранение отмеченной неопределенности возможно на основе такого метода экспериментальных данных, который соответствует сущности изучаемого объекта.

Изучаемые инженерной геологией горные породы представляют собой неоднородные многокомпонентные динамические открытые природные системы [12], поведение которых определяется не только показателями состава, состояния и свойств, но также структурой, характером и особенностями взаимосвязи между этими показателями. Изучение последних возможно на базе корреляционного анализа показателей физико-механических свойств горных пород, в процессе которого необходимо учитывать такие важные качества сложных развивающихся систем, как иерархичность, эмергентность, целостность, многообразие типов связей и т. п. [13]. Результаты такого анализа должны быть особенно эффективны при изучении литогенеза, в процессе которого глинистые отложения претерпевают качественные изменения: в сложных развивающихся системах такие изменения сопровождаются преобразованием структуры исследуемых взаимосвязей. Последние, таким образом, несут генетическую информацию и могут использоваться для решения широкого круга задач теории и практики инженерной геологии [11, 12].

Закономерности поведения плиоцен-четвертичных глинистых отложений как сложной развивающейся системы исследованы прежде всего на примере хорошо изученного объекта — сводного разреза Алятинской структуры Бакинского архипелага. Почти безошибочная публикация результатов изучения свойств этих отложений [3] позволяет проверить полученные нами выводы.

Оценка некоторых параметров распределения и взаимосвязей важнейших показателей свойств по данным 65 наблюдений (в выборку не включены данные по тем монолитам, по которым отсутствуют сведения о прочностных показателях) приведена в табл. 2, где  $\bar{x}$  — среднеарифметические значения показателей  $x$ ,  $\sigma_x$  — стандарты,  $A$  — асимметрия,  $Z_A$  — стандартизованное значение асимметрии.

Данные, приведенные в табл. 2, позволяют отметить значительные стандарты многих показателей ( $d_5$ ,  $W$ ,  $I_L$ ,  $R_m$  и др.) и существенную асимметрию их распределения. Последнее обстоятельство потребовало замены значений ряда переменных их логарифмами или логарифмами их функций, что позволило линеаризовать взаимосвязи, форма которых

\*) Как будет показано ниже, в этом интервале можно выделить только одну зону литогенеза.

Таблица 3  
Взаимосвязи показателей свойств плиоцен-четвертичных глинистых отложений в сводном разрезе Алятинской структуры

Уравнение зависимости $y=f(x)$	$S_{y/x}$	$\frac{S^2_{y/x}}{\sigma_y^2}$	Уравнение зависимости $y=f(x)$	$S_{y/x}$	$\frac{S^2_{y/x}}{\sigma_y^2}$
$W_L = 2,8 d_5^{0,66}$	2,9	21	$I_L = 2,1W/W_L$	0,10	3
$W_L = 11,5 e^{-0,5 Mlgd}$	3,0	22	$K_d = 1 - I_L$	0,07	2
$W_p = 2,8 \sqrt{d_5}$	1,1	21	$K_c = 24 - 23 I_L$	4,5	12
$W_p = 9 e^{-0,35 Mlgd}$	1,2	22	$K_c = 2 + 23 K_d$	4,3	11
$W_p = 2 W_L^{0,64}$	0,05 $W_p$	24	$K_c = 51 - 51 W/W_L$	3,0	5
$I_p = 0,1 W_L^{1,42}$	1,2	8	$R = 1,7 P_m^{0,7}$	0,3 R	6
$MMB = 1,8 d_5^{0,55}$	0,9	18	$P_m = 0,57 R^{1,35}$	0,4 P <sub>m</sub>	6
$MMB = 6 e^{-0,4 Mlgd}$	1,0	22	$P_m = 240 - 5,4 n$	17	16
$MMB = 0,9 W_L^{0,8}$	0,7	11	$P_m = 34 - 110 I_L$	18	18
$n = 100 - 36 \gamma_{ск}$	0,8	1	$\Delta V = 9 + 18 I_L$	5,9	30
$n = 153 - 55 \gamma$	1,2	2	$\Delta V = 27 - 0,73 K_c$	5,6	27
$\epsilon = 0,04 - 0,27 W$	0,03	1,4	$\Delta V = 27 - 16 lg P_m$	5,0	21
$W = 3,9 \cdot 10^3 e^{-2,5 \gamma}$	2,7	7	$\Delta V = 73 lg W - 0,6 W_L$	-64 5,1	22

Примечание:  $S_{y/x}$  — остаточный (условный) стандарт,  $\sigma_y^2$  — полная дисперсия показателя  $y$ ,  $e$  — основание натуральных логарифмов,  $\epsilon$  — коэффициент пористости,  $\Delta V$  — объемная усадка. Размерности характеристик влажности — в %; зависимости прочностных показателей от их косвенных признаков — для II—IV зон литогенеза, объемной усадки — для I—III зон. При оценке параметров уравнений выполнялась отбраковка условных крайних вариант на уровне значимости 0,05 (отбраковано 0—2 значения).

отличается от прямолинейной, и оценить тесноту этих взаимосвязей с помощью коэффициентов корреляции.

Значения коэффициентов корреляции  $r$  позволяют выделить 4 группы тесно взаимосвязанных характеристик, названные показателями состава ( $d_{11}$ ,  $d_{11}$ ,  $d_5$ ,  $Mlgd$  и находящиеся в тесной зависимости от них  $W_L$ ,  $W_p$ ,  $I_p$  и  $MMB$ ), состояния ( $I_L$ ,  $K_d$ ,  $W/W_L$ ,  $K_c$ ), физических ( $W$ ,  $n$ ,  $\gamma$ ,  $\gamma_{ск}$ ) и прочностных ( $P_m$ ,  $R$ ) свойств. Данные о характере, форме и параметрах взаимосвязей перечисленных и некоторых иных показателей приведены в табл. 3.

Внутри каждой из выделенных групп показатели свойств обладают тесными, иногда квазифункциональными взаимозависимостями. Так, благодаря слабой изменчивости плотности минеральной части пород ( $\gamma_s = 2,783$  при стандарте 0,02 г/см<sup>3</sup>), плотность их скелета является в сущности функцией пористости ( $r = 0,995$ , в связи с чем сведения о  $\gamma_{ск}$  в табл. 2 не приведены). Водонасыщенное состояние пород\* (степень влажности равна в среднем 0,95) обусловило квазифункциональные взаимосвязи плотности, пористости и влажности ( $|r| = 0,97 - 0,99$ ). Это же обстоятельство явилось причиной тесных и квазифункциональных взаимосвязей показателей состояния пород ( $|r| = 0,94 - 0,99$ ). Тесно взаимосвязаны прочностные характеристики ( $r = 0,96$ ). Достоверные и как правило тесные взаимосвязи отмечаются между показателями состава пород (см. табл. 2).

Тесные корреляционные взаимосвязи большинства характеристик внутри каждой выделенной группы свойств позволяют выбрать представляющие показатели этих свойств [15] и тем самым значительно сократить число признаков, необходимых и достаточных для описания свойств и их поведения. Для этого необходимо прежде всего убедиться в устойчивости рассмотренных взаимосвязей, т. е. независимости их от внешних по отношению к рассматриваемой системе факторов. Из этих факторов важнейшим в данном случае является давле-

\* Отмеченное обстоятельство позволяет получить параметры некоторых зависимостей аналитически, используя известные формулы [14] и приведенные здесь дополнительные сведения.

ние вышележащей толщи пород, которое в сущности представляет собой функцию глубины их залегания  $H$  (в связи с малой дисперсией плотности) и определяет принадлежность отложений к конкретной зоне литогенеза<sup>\*\*</sup>). Такое обстоятельство обусловило тесные зависимости показателей физических свойств, состояния и прочностных характеристик от глубины залегания пород ( $|r|=0,85-0,94$ , см. табл. 2). Несмотря на это, последняя, как правило, не влияет на тесноту взаимосвязей между показателями внутри каждой из большинства выделенных групп. Например, абсолютные значения частных коэффициентов корреляции  $\rho$  влажности и плотности, плотности и пористости, пористости и влажности;  $I_L$  и  $K_d$ ;  $I_L$  и  $W/W_L$  в условиях, когда глубина залегания пород находится на одном и том же «среднем» уровне, составляют  $0,92-0,97$ , что незначительно отличается от парных коэффициентов корреляции. Несущественно различаются значения  $r$  и  $\rho$ , характеризующие взаимосвязи показателей состава рассматриваемых отложений. Это позволило оставить для дальнейшего анализа в каждой из рассматриваемых трех групп характеристик по одному показателю. Оставлены  $W$ ,  $I_L$  и  $W_L$ , а для проверки полученных выше выводов — также  $n$  и  $W_p$ . Теснота взаимосвязи между прочностными показателями зависит от давления вышележащей толщи пород:  $\rho=0,79$ , что существенно меньше  $r=0,96$ . Поэтому в процессе дальнейшего анализа рассматриваются обе характеристики.

Наряду с наличием тесных и квазифункциональных взаимосвязей внутри каждой из выделенных групп показателей свойств, данные табл. 2 позволяют отметить взаимосвязи между показателями отдельных групп. Так, прочность пород зависит от физических характеристик и показателей состояния, последние — от физических свойств. Эти зависимости классифицируются как тесные (см. табл. 2), что в значительной мере обусловлено упомянутым влиянием внешних по отношению к рассматриваемой системе факторов: частные коэффициенты корреляции в условиях исключения этого влияния по абсолютной величине существенно меньше  $r$  и изменяются от 0,3 до 0,8. Показатели состава пород не оказывают сколько-нибудь заметного корреляционного влияния на иные характеристики: соответствующие коэффициенты корреляции, как правило, статистически несущественно отли-

<sup>\*\*</sup>) Необходимо подчеркнуть, что данный вывод справедлив лишь применительно к конкретному разрезу. В общем случае информация об  $H$  является недостаточной для суждения об интенсивности постседиментационных преобразований глинистых отложений, о чем свидетельствуют значительные (иногда в 5—20 раз) различия глубин залегания глинистых пород идентичных зон литогенеза в различных разрезах (см. табл. 1).

чаются от нуля (см. табл. 2). В то же время абсолютные значения  $\rho$  достигают  $0,4-0,7$ , что значительно выше  $r$ . Отсюда следует, что внутри рассматриваемой системы существует ряд подсистем, для которых параметры взаимосвязей между показателями отдельных групп характеристик существенно отличаются от параметров взаимосвязей, полученных для системы в целом.

Отмеченное обстоятельство иллюстрируется рис. 2: поле корреляции пористости и  $W_L$  представлено отдельными

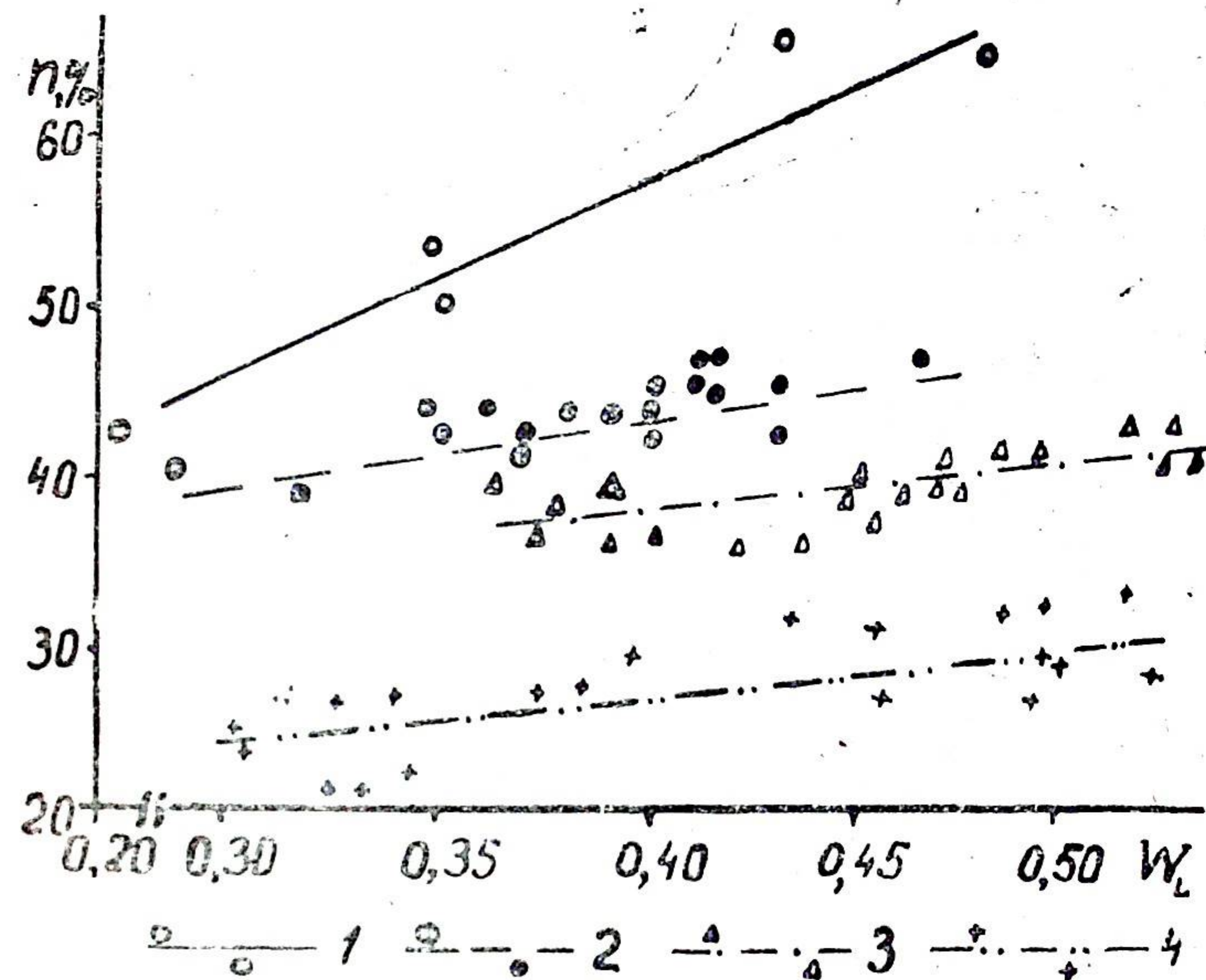


Рис. 2. Зависимость пористости  $n$  от границы текучести  $W_L$  глинистых пород Алятинской структуры: 1—4 — частные значения показателей свойств и линии регрессии для I—IV зон литогенеза соответственно.

группами условных частных значений переменных (эллипсами корреляции), которые отражают сформировавшиеся в процессе литогенеза равновесные состояния (подсистемы) глинистых отложений исследованного разреза (системы в целом). Анализ иллюстрируемого и ряда иных полей корреляции позволяет выделить 4 зоны литогенеза, что соответствует результатам работы [3] (см. табл. 1) и свидетельствует об отсутствии зоны I-а, выделяемой некоторыми исследователями [4, 8]: соответствующие значения показателей свойств

(полуэллиптические точки на рис. 2) представляют собой неразрывную часть эллипса корреляции, характеризующего зону II.

Из анализа рис. 2 следует также, что параметры зависимостей между показателями различных групп свойств, а также между рассмотренными в табл. 2 прочностными характеристиками, полученные для рассматриваемой системы, непригодны для описания поведения свойств отдельных подсистем и наоборот. Например, уравнение  $p = 25 + 30 W_L$ , характеризующее зависимость пористости от границы текучести исследованных пород в целом, может приводить к систематическим погрешностям в оценке  $p$ , величина которых на порядок больше случайных погрешностей, возможных по уравнениям, полученным для каждого из равновесных состояний в отдельности.

Отмеченная особенность поведения глинистых отложений рассматриваемого разреза как сложной развивающейся системы подтверждена результатами обработки экспериментальных данных, полученных в пределах каждого из выделенных равновесных состояний пород (зон литогенеза). Эти результаты приведены в табл. 4, где  $\sigma_x$  — среднеквадратичные погрешности среднеарифметических значений  $x$ ,  $V$  — коэффициенты вариации.

Данные табл. 4 значительно отличаются от данных табл. 2 и показывают, что в процессе литогенеза изменяются не только обобщенные значения показателей свойств, но также структура и характер взаимосвязей между свойствами. Так, с увеличением степени литификации пород изменяется теснота зависимости влажности от границы текучести, увеличивается коэффициент корреляции  $I_L$  и  $W$ , уменьшается  $r_{p_w - R}$ . Обратной пропорциональной зависимости  $I_L$  от  $W_L$ , характерная для пород зоны I, сменяется прямо пропорциональной. Противоположной закономерностью характеризуется влияние пределов пластичности на прочность.

Результаты системного анализа физико-механических свойств плиоцен-четвертичных отложений иных разрезов Каспийского моря (см. табл. 1) несущественно отличаются от рассмотренных выше, что позволило объединить различные выборочные совокупности, характеризующие выявленные равновесные состояния этих отложений. Кроме того, в связи с малым числом наблюдений, характеризующих состояние I, привлечены данные по изучению илов Каспийского моря [16] и некоторых иных акваторий [17—19 и др.]. На основании этих данных выделено слабо устойчивое (характеризующееся неоднородным эллипсом корреляции) состояние свойств глинистых отложений, которое может рассматриваться в качестве самостоятельной зоны литогенеза (зона «0», рис. 3).

Таким образом, в сводном разрезе плиоцен-четвертичных

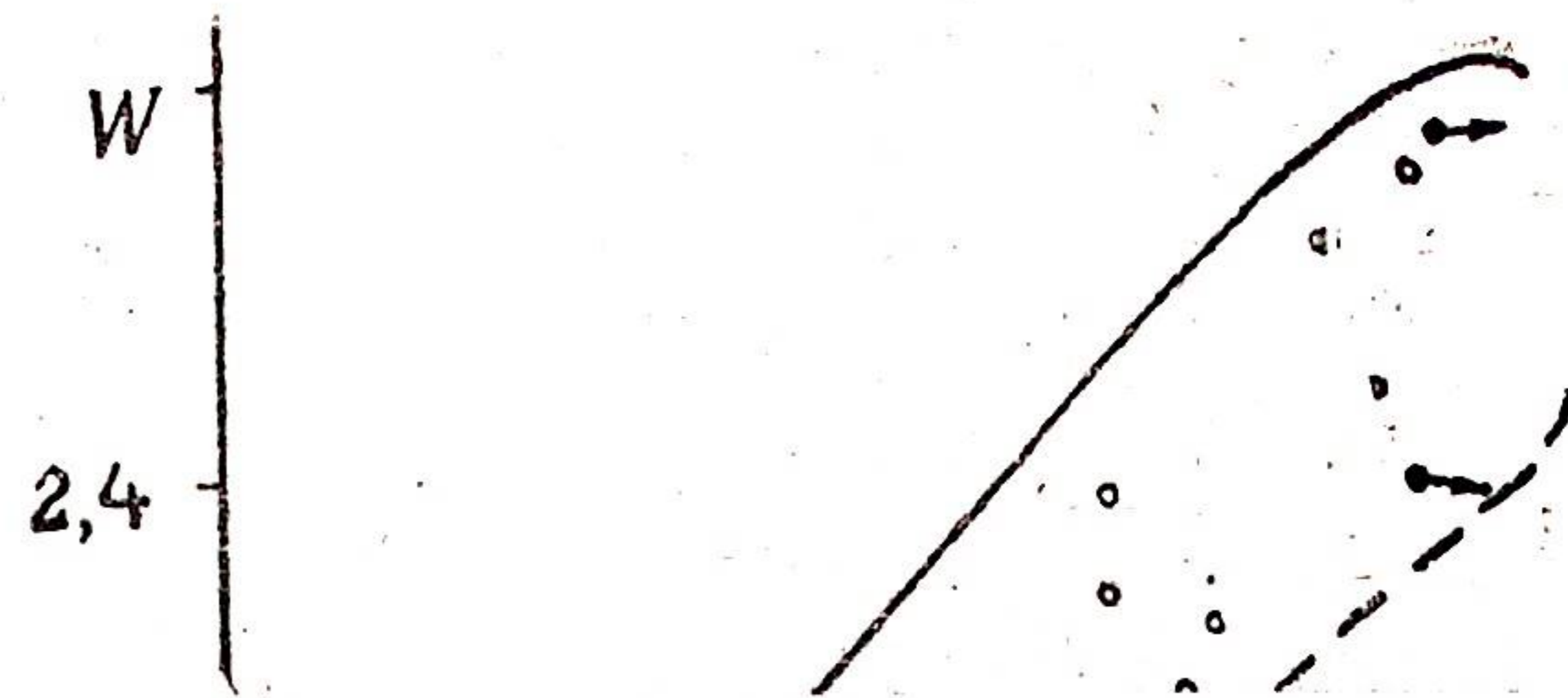


Таблица 4

Зоны литогенеза		IV. $\bar{H} = 903$ м			
Показатели свойств	$I_L$	$W$	$W_L$	$I_L$	$\lg P_m$
	0,137	0,13	0,42	-0,46	1,97
	0,020	0,029	0,08	0,14	0,12
	0,004	0,006	0,015	0,03	0,03
	0,48	22	18	—	32
	0,05	-0,1	-0,3	-0,2	-0,1
Коэффициенты корреляции	$V$	0,70			
		0,78	0,60		
		-0,72	-0,67	-0,66	
		0,93	0,70	0,68	-0,62
		-0,11	0,73	0,32	-0,67
		0,85	-0,64	-0,34	0,38
		0,20	-0,68	-0,62	0,51

\*) По результатам изучения.

(полузатитые точки на рис. 2) представляют собой неразрывную часть эллипса корреляции, характеризующего зону II.

Из анализа рис. 2 следует также, что параметры зависимостей между показателями различных групп свойств, а также между рассмотренными в табл. 2 прочностными характеристиками, полученные для рассматриваемой системы, непригодны для описания поведения свойств отдельных подсистем и наоборот. Например, уравнение  $p = 25 + 30 W_L$ , характеризующее зависимость пористости от границы текучести исследованных пород в целом, может приводить к систематическим погрешностям в оценке  $p$ , величина которых на по-

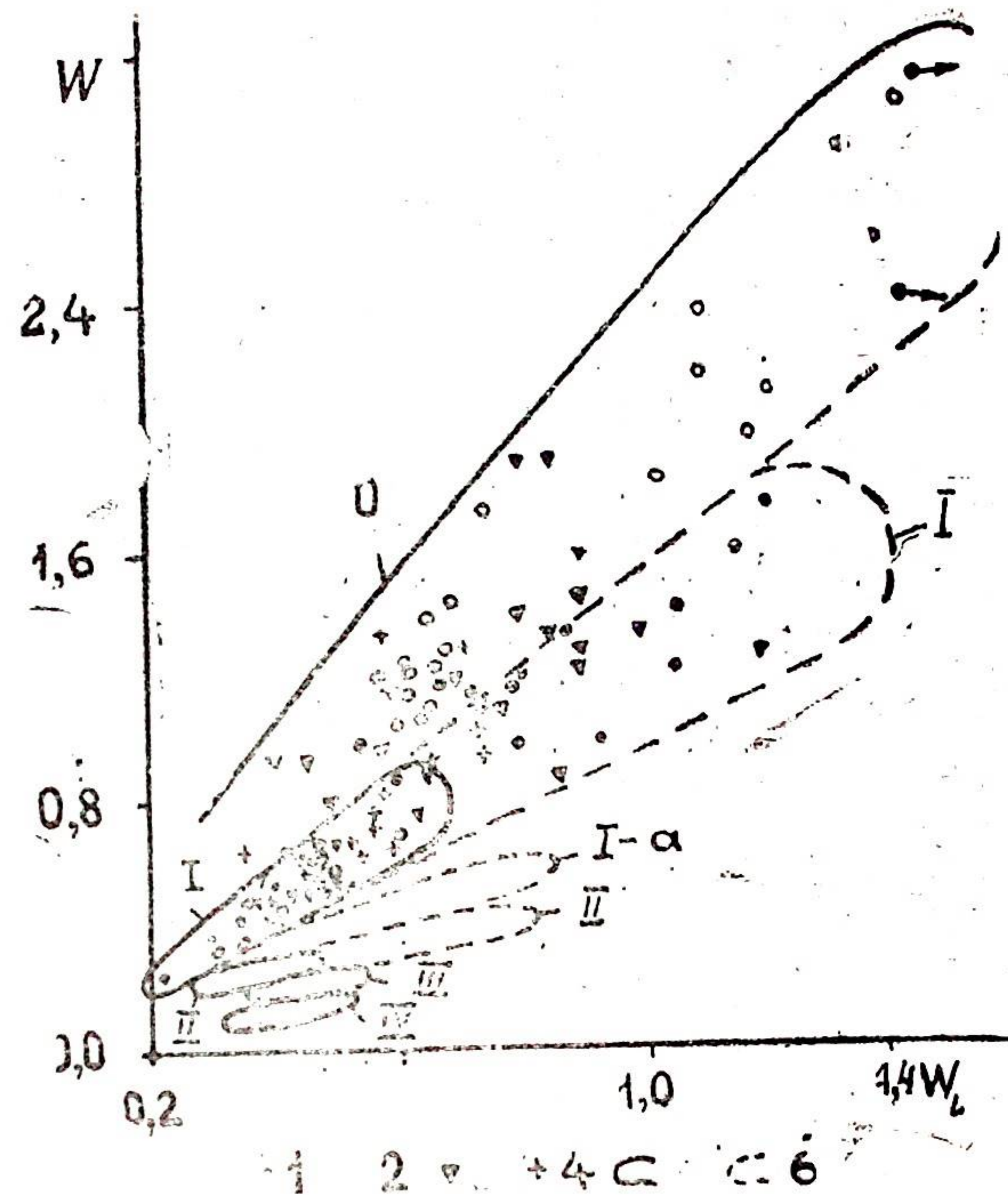


Рис. 3. Зависимость влажности  $W$  от границы текучести  $W_L$  илов Каспийского [1] и Черного [2] морей, одесских лиманов [3] и Индийского океана [4]. 0—IV — зоны литогенеза в сводных разрезах глинистых отложений Каспийского [5] и Черного [6] морей.

глинистых отложений Каспийского моря выделяется в общей сложности 5 зон литогенеза. Для каждой из этих зон изучены корреляционные взаимосвязи между основными представляющими показателями. Полученные результаты приведены в табл. 5, где  $N$  — число определений физических свойств. Там же показаны коэффициенты стандартизованных уравнений множественных регрессий типа  $Z_{x_1} = aZ_{x_2} + bZ_{x_3}$ , где  $Z_x$  — значения переменных, выраженные в  $\sigma_x$ . Такие коэффициенты позволяют оценивать роль факторов в формировании свойств пород количественно [12].

Данные табл. 5 показывают, что отдельные равновесные состояния глинистых отложений (зоны литогенеза) характе-

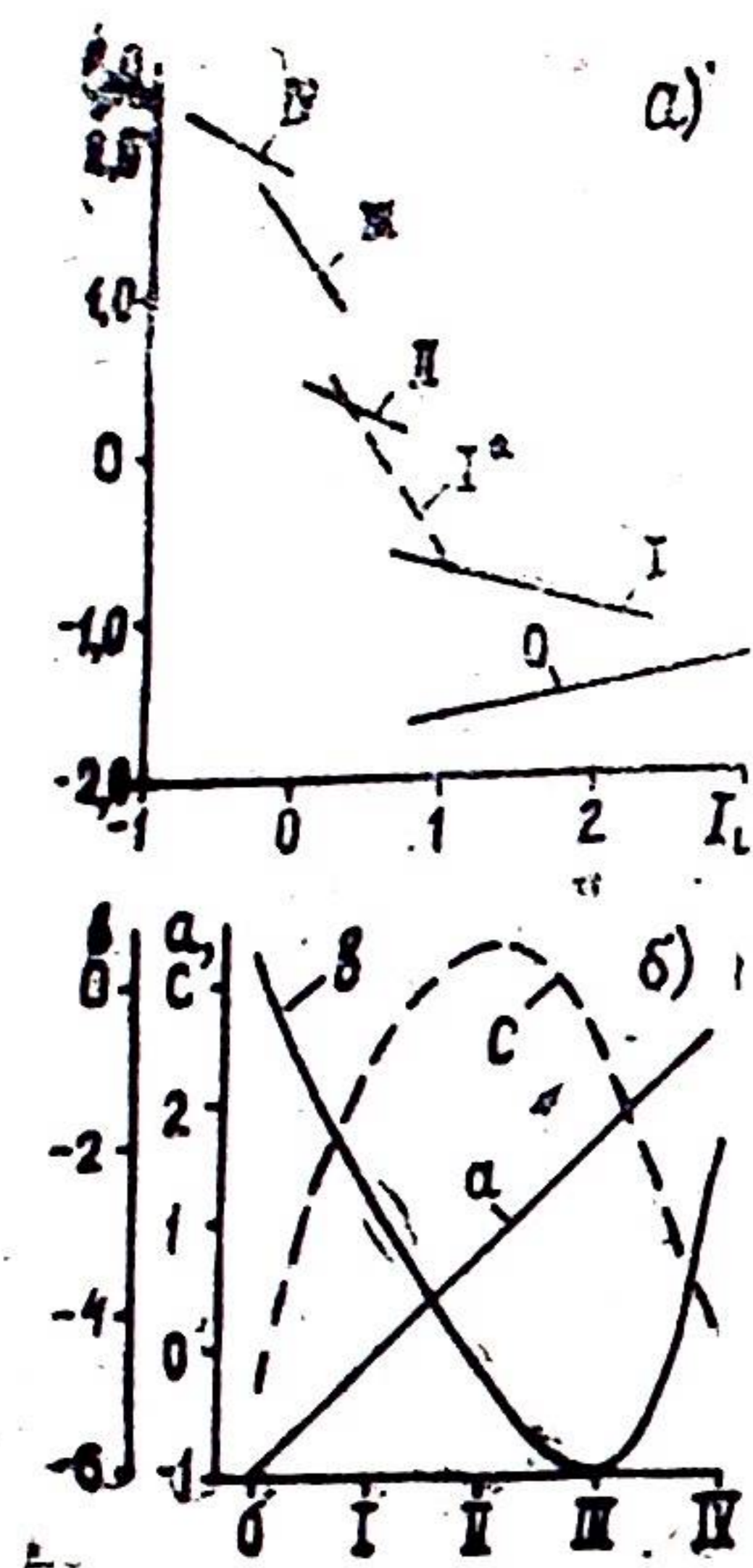


Рис. 4. Особенности поведения пластической прочности глинистых пород основных равновесных состояний (0—IV): а — зависимость логарифмов пластической прочности  $\lg P_m$  от показателя консистенции  $I_L$ , б — изменение коэффициентов множественной регрессии  $\lg P_m$  по влажности и границе текучести с изменением состояния пород.

ческих свойств пород от результатов простейших лабораторных испытаний, препятствующее широкому использованию этих зависимостей в практических целях [20] и создает теоретическую основу для преодоления этого препятствия.

Далее из табл. 5 следует, что параметры корреляционных взаимосвязей показателей различных групп свойств могут служить количественными критериями выделения стадий литогенеза глинистых пород. На основании расчетов ранговых коэффициентов корреляции установлено, что такие параметры обладают существенно большей разрешающей способностью, чем любые одномерные критерии, известные в настоящее

ризируются различными параметрами корреляционных взаимосвязей, которые отличаются также от параметров некоторых уравнений табл. 3. Увеличение степени литификации пород приводит к уменьшению коэффициента регрессии влажности по границе текучести, к изменению формы и параметров зависимости  $p$  от  $W_L$ , к снижению свободных членов, повышению коэффициентов регрессии  $I_L$  по  $W$  и  $W_L$  и к изменению роли  $W$  и  $W_L$  в формировании состояния пород. При этом изменяются как параметры статистических моделей, описывающих поведение показателей прочностных свойств в зависимости от их косвенных характеристик, так и количественная роль физических свойств и состава пород в формировании их прочности. Некоторые закономерности в изменении параметров статистических моделей поведения прочностных характеристик показаны на рис. 4, где а, б и с — коэффициенты уравнения регрессии логарифмов пластической прочности по влажности и границе текучести:

$$\lg P_m = a + bW + cW_L$$

Полученный вывод позволяет объяснить известное непостоянство зависимостей показателей механи-

времени [21]. При этом достаточно удобно использовать параметры зависимости коэффициентов пористости  $\epsilon$  от границы текучести. Для уточнения значений этих параметров обработан большой дополнительный объем экспериментальных данных [22, 23 и др.]. На основании этого установлено существование равновесного (?) состояния I-a\*) (см. рис. 3) и наличие существенных перерывов (седловин) в распределении плотности вероятностей условных частных значений  $\epsilon$  (подобных тем, которые прослеживаются на рис. 2). Эти перерывы аппроксимированы линиями регрессии  $\epsilon$  по  $W_L$ , представляющими собой наиболее вероятные нижние границы выявленных равновесных состояний. Уравнения этих линий показаны в табл. 6. Там же отмечены стадии субаквального

Таблица 6  
Статистические границы основных равновесных состояний глинистых пород

Равновесное состояние	Нижняя граница коэффициентов пористости	Стадия субаквального литогенеза	Степень литификации по В. Д. Ломтадзе	Предполагаемый тип структурных связей по В. И. Осипову
0	$\epsilon = 4,2 W_L$	сингенез	предельно малая	дальний коагуляционный
I	$\epsilon = 2,5 W_L^{0,9}$	диагенез	малая	ближний коагуляционный
Ia	$\epsilon = 1,85 W_L^{0,8}$	катагенез	средняя	
II	$\epsilon = 1,25 W_L^{0,7}$			
III	$\epsilon = 0,8 W_L^{0,6}$		высокая	переходный
IV	$\epsilon = 0,4 W_L^{0,4}$			

литогенеза, степень литификации горных пород и тип структурных связей, идентификация которых выполнена на основании анализа соответствующих результатов исследований,

\*) Зона I-a в общем достаточно широко распространена в глинистых породах. Причины отсутствия ее в исследованных отложениях Каспийского моря (см. табл. 1) неясны. Можно лишь предположить, что они обусловлены не только характером состава пород (в частности, низким содержанием органических веществ) и геологического развития территории в новокаспийское время, но также особенностями размещения скважин (закладываемых обычно в пределах сводовых поднятий).

содержащих необходимый фактический материал [2; 7—9; 14; 22; 24 и др.].

Анализ данных, приведенных в табл. 4 и 5, позволяет также отметить, что параметры корреляционных взаимосвязей между физическими показателями горных пород могут служить косвенными признаками коэффициентов уравнений, описывающих зависимости механических характеристик от показателей состава и физических свойств. Статистическое обоснование этого вывода позволило отметить реальные предпосылки прогноза параметров таких уравнений и как следствие — возможность существенного повышения эффективности инженерно-геологических исследований. Однако полученные при этом результаты требуют особого рассмотрения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ломтадзе В. Д. Стадии формирования свойств глинистых пород при их литификации. — ДАН СССР, 1955, т. 102, № 4, с. 819—927.
2. Ломтадзе В. Д. Современное состояние и задачи изучения формирования физико-механических свойств горных пород. — В кн.: Проблемы инженерной геологии. М.: МГУ, 1970, с. 69—88.
4. Постседиментационные изменения четвертичных и палеогеновых глинистых отложений Бакинского архипелага. /Под ред. Страхова П. М. М.: Наука, 1965, 250 с.
4. Коробанова И. Г. Формирование инженерно-геологических свойств терригенной формации. М.: Наука, 1970, 116 с.
5. Горькова И. М. Теоретические основы оценки осадочных пород в инженерно-геологических целях. М.: Наука, 1966, 136 с.
6. Монюшко А. М. О постседиментационных изменениях морских глинистых отложений района Бакинского архипелага. — ДАН СССР, 1962, т. 145, № 5, с. 1118—1120.
7. Поляков А. С., Гасанова Д. М., Осипов В. И. и др. О формировании инженерно-геологических свойств субаквальных глинистых отложений Бакинского архипелага в процессе литогенеза. — В кн.: Комплексные исследования Каспийского моря. М.: Изд-во МГУ, 1976, вып. 5, с. 131—139.
8. Зиангиров Р. С., Коробанова И. Г., Осипов Ю. Б., Сергеев Е. М., Шибаква В. С. Природа прочности глинистых пород. — В кн.: Проблемы инженерной геологии. М.: Изд-во МГУ, 1970, с. 99—113.
9. Поляков А. С., Осипов В. И., Котлов В. Ф., Куприн П. Н. Изменение микротекстуры физико-механических свойств глинистых отложений Бакинского архипелага при переходе их из стадии диагенеза в стадию катагенеза. — Инженерная геология, 1979, № 5, с. 29—40.
10. Алиев Ф. С., Мустафаева С. А. Инженерно-геологические условия грунтов дна Каспия у мыса Сарыгая-баши. — Известия АН Азерб. ССР, 1975, № 2, с. 100—104.

11. Сергеев Е. М., Голодковская Г. А., Зиангиров Р. С. и др. Грунтоведение. М.: МГУ, 1971, 596 с.
12. Ткачук Э. И. Статистические методы при решении инженерно-геологических задач. Новочеркасск: НПИ, 1975, 98 с.
13. Методология исследования развития сложных систем. /Под ред. Кратца К. О. и Елсеева Э. Н. Л.: Наука, 1979, 316 с.
14. Ломтадзе В. Д. Инженерная геология. Инженерная петрология. Л.: Наука, 1970, 528 с.
15. Гороховский В. М., Ткачук Э. И. Моделирование в инженерной геологии. Новочеркасск: НПИ, 1980, 84 с.
16. Поляков А. С. Инженерно-геологическая характеристика современных осадков Среднего Каспия. — В кн.: Комплексные исследования Каспийского моря. М.: МГУ, 1970, вып. 3, с. 141—148.
17. Белявский Г. А. Физико-механические свойства донных осадков северной части Индийского океана. Киев: Наукова думка, 1977, 120 с.
18. Воскобойников В. М., Конилов Е. Г., Кофф Г. Л., Коломенский Е. Н. О формировании строения и свойств лиманоморских плов Северного Причерноморья в течение голоцена. — Инженерная геология, 1980, № 4, с. 39—46.
19. Емельянов В. А. Физико-механические свойства глубоководных осадков Черного моря. Киев: Препринт ИГиН АН УССР 77-1, 1977, 46 с.
20. Ткачук Э. И. Современное состояние методики полевых инженерно-геологических исследований и пути повышения ее эффективности. — В сб.: Гидрогеология и инженерная геология. Полевые методы исследований. Новочеркасск: НПИ, 1981, с. 3—24.
21. Тезисы докладов к семинару по теме: «Критерии выделения стадий литогенеза глинистых пород различного генезиса для оценки их строительных свойств»: Ставрополь, 1976 (Сев.-Кав. отделение ПНИИИС) 36 с.
22. Поляков А. С., Куприн П. Н., Щербаков Ф. А. Физико-механические свойства миоцен-четвертичных отложений Черного моря. — Изв. вузов. Геология и разведка, 1981, № 6, с. 90—98.
23. Инженерная геология СССР, т. 1, /Под ред. И. С. Комарова, М.: Недра, 1978, 528 с.
24. Осипов В. И. Физико-химическая природа прочностных и деформационных свойств глинистых пород. — Автореф. дис... д-ра геол.-мин. наук. М.: МГУ, 1976, 44 с.

О. И. Мозговой  
СевкавЗНИИЭПсельстрой

## ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАЙОНОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЛЁССОВЫХ ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТОВ В ДАССР

Лёссовые отложения Дагестана относятся к восточному замыканию предкавказского пояса лёссовых аккумуляций. Территория их распространения располагается вдоль железной дороги Грозный—Махачкала, в полосе перехода дагестанских предгорий к Терско-Сулакской низменности и примыкает к побережью Каспийского моря. Здесь лёссовые отложения развиты в виде обособленных массивов или участков разнообразных форм и размеров.

На основе комплексного литолого-минералогического и инженерно-геологического изучения, стратиграфического расчленения и генетической типизации лёссовых отложений нами выделено 7 инженерно-геологических районов.

Крупный массив, протяженностью 50 км, околонушен на Дагестанской предгорной равнине, образованной слившимися конусами выноса рек. В южной части равнины, примыкающей к предгорьям (район I, с. Акташ-Кордон), лёссовый покров сплошной. В северной её части, представленной первой (район Ia, к северу от г. Хасавюрта) и второй (район Ib, с. Кади-Юрт, г. Хасавюрт) надпойменными слившимися террасами рек Аксай, Яман-Су, Ярык-Су, Акташ, распространение лёссовых отложений прерывистое. Обособленный массив находится на древнекаспийских морских террасах (район IV, с. Ленинкент). На первой (район IIIa, г. Кизил-Юрт) и третьей (район III, пос. Бавтугай, с. Миатлы) надпойменных террасах р. Сулак, а также в долинах малых рек в зоне предгорий (район II, сс. Танты, Ново-Лакское, Ленин-аул, Андрей-Аул) лёссовые отложения встречаются отдельными участками.

Лёссовая толща верхнечетвертичного возраста, на площади района I литологически однородна, расчленена тремя горизонтами погребённых почв; в других районах имеет изменчивый состав и невыдержанное строение.

Общая мощность лёссовых отложений колеблется в широких пределах, доходя до 25—30 м. Подстилаются они

преимущественно галечниками, а в долинах малых рек и на первой террасе — местами песками или глинами. В районах Ia и Ib на глубине 4—11 м отмечены грунтовые воды, залегающие в подошве лёссовых толщ.

Лёссовые грунты территории характеризуются пониженным содержанием глинистых частиц фракции  $\angle 0,002$  мм от 15 до 37%), низкой влажностью, высокой пористостью (см. табл. 1), быстрой размокаемостью.

В большинстве своем грунты высокопросадочные, с провальным характером деформаций, быстрым развитием просадочного процесса. Относительная просадочность при бытовом давлении достигает в разных районах 0,034—0,092. Начальное просадочное давление низкое, преобладающие значения 0,04—0,1 МПа, в отдельных интервалах 0,03—0,2 МПа.

Наиболее высокая относительная просадочность, величина которой при давлении 0,3 МПа доходит до 0,166, отмечается у лёссовых грунтов районов I, Ib и III. В разрезах других районов среди просадочных разностей встречаются непросадочные.

Особенности отдельных районов следующие.

Район I сложен лёгкими и средними суглинками низкой влажности и низкой плотности; толща грунтов в общем выдержана по строению и физико-механическим свойствам.

В районе Ia лёссовые грунты весьма пёстрого литологического состава — от супесей до глин, линзовидно переслаиваются, нередко с включением гальки или гравия. Значения всех показателей свойств колеблются в больших пределах. Части линзовидные прослойки галечника мощностью 1,0—3,4 м и песка от нескольких сантиметров до 1,3 м.

В разрезе района Ib преобладают суглинки; супеси и глины отмечаются в виде прослоев. На разных участках амплитуда колебаний значений показателей свойств различна. Местами встречаются линзовидные прослойки галечника мощностью 0,3—1,0 м, либо песка — от 1 см до 0,6 м, иногда до 4,8 м.

Район II представлен суглинками, которые в отдельных интервалах содержат включения щебня или гальки. Плотность, влажность и просадочность грунта изменяются в значительных пределах.

Район III характеризуется преобладанием лёссовых суглинков и супесей, резкой изменчивостью по площади литологического строения и значений всех показателей при низкой влажности и высокой просадочности. Часто встречаются линзы галечника мощностью от 0,1—0,3 до 2—2,5 м.

Район IIIa сложен супесями и лёгкими суглинками низкой влажности, высокопросадочными, в подошве с включением гальки и гравия.

Район IV, представленный супесями и суглинками, часто со значительным содержанием щебня, отличается повышенной

плотностью грунтов при низкой влажности. На отдельных участках отмечается значительная просадочность.

Характеристика физико-механических свойств лёссовых грунтов вышеперечисленных районов по отдельным показателям в обобщенном виде приведена в табл. 1.

Таблица 1

Средние значения показателей физико-механических свойств

лёссовых грунтов						
Район	Генезис лёссовых отложений	Природная влажность	Число пластичности	Плотность грунта, г/см <sup>3</sup>	Пористость, %	Относительная просадочность при P=0,3 МПа
1	2	3	4	5	6	7
I	Эолово-делювиальные	0,10	0,10	1,56	47,9	0,099
Ia	Аллювиальные	0,17	0,12	1,82	43,6	0,017
Iб	Аллювиальные и делювиально-аллювиальные	0,17	0,10	1,71	45,7	0,059
II	Аллювиально-делювиальные	0,18	0,11	1,86	42,3	0,035
III	Проллювиально-делювиально-аллювиальные	0,08	0,07	1,65	43,9	0,068
IIIa	Аллювиальные	0,07	0,06	1,51	49,6	0,078
IV	Делювиальные	0,07	0,07	1,80	37,3	0,047

Согласно расчетам, в различных районах территории ожидаемые просадки от собственного веса грунта составляют до 8—37 см, под фундаментами зданий — до 0,4—0,9 м (см. табл. 2).

Особенности залегания, строения и физико-механических свойств лёссовых грунтов следует учитывать при строительстве зданий и сооружений, предусматривая необходимые водозащитные и конструктивные мероприятия. Целесообразны прорезка просадочных грунтов фундаментами до подстилающего опорного слоя (галечник, песок, глина), либо устранение просадочных свойств грунтов по всей их толще.

Таблица 2

Возможные просадки лёссовых грунтов

Район	Мощность просадочной толщи, м	Возможная величина просадки оснований фундаментов Sпр, см		Тип грунтовых условий по просадочности
		от собственного веса грунта при Pб	полная, при дополнительном давлении от веса здания	
1	2	3	4	5
I	5,0—25,0 12,0	27,1—36,7 32,9	57,2—77,2 66,5	II
Ia	0,7—12,0 3,3	0—21,4 9,5	0—42,8 30,7	I—II; чаще I
Iб	1,2—17,0 8,1	0—33,5 24,7	0—92,4 46,4	обычно II; местами I
II	2,7—10,0 7,8	0—7,8	0—49,0	I—II
III	3,0—16,0 9,6	21,7—26,0 24,1	37,4—45,4 41,4	II
IV	3,0—9,0 6,0	0—16,2	0—39,6	I—II

Примечания: 1. В расчете на условный ленточный фундамент шириной 1 м, глубиной заложения 1 м, при давлении на грунт 0,2 МПа. 2. В числителе приведены наибольшее и наименьшее значения, в знаменателе — среднее.

В. А. Васильев  
ПНИИС СевКавотделение

## ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И АКУСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СУГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ МЕЖДУРЕЧЬЯ АРГУН-ХУЛХУЛАУ-ГУМС

Междуречье Аргун-Хулхулау-Гумс — типичная для предгорно-равнинной полосы Чечено-Ингушской и Дагестанской АССР территория, представляющая серию террасовых поверхностей, понижающихся с юга на север. Выделяются следующие террасы: верхнеплиоценовая (апшеронская), нижнечетвертичная (бакинская), среднечетвертичная (хазарская), верхнечетвертичные (нижне- и верхнехвалынские) и современные пойменные.

В указанном порядке уменьшаются абсолютные и относительные высоты террас и мощности суглинистых покровов на них.

Апшеронская терраса имеет отметки 225—265 м, уклоны дневной поверхности от 0,05 до 0,17 и мощность покровных суглинков до 30—40 м. Абсолютные отметки хвалынских составляют 90—150 м при уклонах 0,05—0,009 и мощности суглинков 0—9 м.

Все вышеотмеченные террасы (за исключением верхнехвалынских и современных) выходят на речные водоразделы и в совокупности с другими междуречьями составляют Чеченскую предгорную равнину. При выходе с гор на равнину древние аллювиальные отложения погружаются под более молодые отложения (ножницы террас).

Аллювий, слагающий террасы, состоит из валунно-галечниковых отложений, с песчаным заполнителем, покрытых чехлом супесчано-суглинистых отложений.

В рассматриваемом междуречье проектируется Шалинская обводнительно-оросительная система. В связи с повышенными уклонами дневной поверхности и с наличием слабодостойких связных грунтов при проектировании большое значение имеют вопросы правильной оценки размываемости грунтов в руслах каналов.

Шалинская система проектируется в районе с повышенной сейсмичностью: 7 баллов со средней повторяемостью один раз в 100 лет.

Северо-Кавказское отделение ПНИИС в содружестве с Севкавгипроводхозом провело комплексные исследования прочностных, деформационных и акустических свойств суглинистых грунтов в пределах Шалинской оросительной системы полевыми и лабораторными методами.

В полевых условиях на площадках с замоченными грунтами, в шурфах, были проведены испытания с помощью шарового штампа диаметром 300 мм. Конструкция полевого прибора была разработана нами с широким использованием деталей бурового оборудования (штанг, переходников и т. п.).

С помощью прибора, согласно разработанной методике [2], определялось сцепление ( $C_{\text{шар}}$ ) связных водонасыщенных грунтов, используемое для определения допускаемых неразмывающих скоростей водных потоков [2, 3]. Метод шарового штампа позволяет для очень слабых грунтов (водонасыщенных эоловых лессов, илов) определять также и модуль общей деформации [4].

Параллельно со штамповыми испытаниями, на образцах, в поле проводились испытания грунтов микропенетрацией конусом и сдвига в приборе ВСВ — 25.

В стационарной лаборатории определялись показатели физических и прочностных свойств (пенетрация шариковым ( $D=21,75$  мм) и коническим наконечниками, сдвиги в одноплоскостном приборе и др.) и проводились ультразвуковые измерения на аппаратуре УКБ — 1 М.

Определение различных параметров осуществлялось на одном и том же образце, что позволило получать достаточно надежные корреляционные связи между параметрами, особенно учитывая заметную микронеоднородность грунтов в объеме монолита.

Так, например, значения влажности суглинка из  $Q_{11}$  террасы при 6 определениях из одного и того же монолита изменялись от 0,17 до 0,21,  $\gamma_{\text{ск}}$  — от 1,25 до 1,43 г/см<sup>3</sup>, сцепление по шариковой пробе  $C_{\text{шар}}$  — от 0,07 до 0,17 кгс/см<sup>2</sup>, скорость прохождения упругой продольной волны  $V_p$  — от 300 до 350 м/с. После водонасыщения неоднородность несколько сглаживается, особенно в показателях прочностных свойств.

В пределах опытных площадок и отдельных геоморфологических элементов (террас) мезо- и макронеоднородность суглинистых грунтов по прочности на сдвиг в водонасыщенном состоянии в целом невысокая: коэффициенты вариации для площадки равны 12—13%, для геоморфологического элемента — 12—21% (табл. 1).

Таким образом, рассматриваемые суглинистые грунты обладают высокой микронеоднородностью, но в целом на различных геоморфологических элементах образуют достаточно однородные по прочностным свойствам толщи.

Результаты статистической обработки сдвиговых характеристик связанных грунтов по геоморфологическим элементам

Индекс возраста террасы	Наименование грунта	Количе- ство опре- делений	Средние арифметические значения (нормативные)		Коэффициенты вариации		Коэффициенты однородности		Расчетные зна- чения		
			сцепле- ния, С, кгс/см <sup>2</sup>	tgφ	угла внут- реннего трения, φ, град.	сцеп- ления	tgφ	сцеп- ления	tgφ	С, кгс/см <sup>2</sup>	φ, град.
Q <sup>1</sup> <sub>III</sub>	Суглинки	48	0,26	0,36	20	0,12	0,11	0,88	0,89	0,23	17
Q <sub>II</sub>	То же	42	0,30	0,36	20	0,20	0,22	0,80	0,78	0,24	16
Q <sub>I</sub>	То же	36	0,25	0,35	19	0,14	0,13	0,86	0,87	0,21	17
N <sub>2</sub> <sup>3</sup>	То же	42	0,28	0,35	19	0,21	0,22	0,79	0,78	0,22	16

Примечание: Расчетные значения получены для водонасыщенных грунтов применительно к требованиям опре- деления допускаемых неразмыывающих скоростей течения воды [2, 3].

Результаты испытаний суглинистых грунтов на опытных площадках шаровым штампом

Индекс возраста террасы	Наимено- вание и номер опытной площадки	Глу- бина опро- бова- ния, м	Показатели грунтов				Результаты испытаний						
			число пластин- ности, J <sub>p</sub>	естеств. влаж- ность, W <sub>ест.</sub>	влаж- ность после замачи- вания, W <sub>зам.</sub>	Объемная масса, г/см <sup>3</sup>	угол внут- реннего трения, град. φ	но- мер испы- таний	глубина (см) погру- жения шара (D = = 300 мм) при P = 500 кг	коэф- фици- ент, M	сцепление грунта, C <sub>шар.</sub> , кгс/см <sup>2</sup>		
Q <sup>1</sup> <sub>III</sub>	Герменчук	2,0	0,11	0,104	0,217	1,79	1,47	17	1	2,2	0,385	0,167	0,172
	ОП-2								2	2,07		0,177	
То же	Сержень- Юрт	1,5	0,12	0,173	0,204	1,87	1,55	23	1	1,08	0,236	0,208	0,235
	ОП-3								2	0,85		0,265	
Q <sub>II</sub>	Шали	2,0	0,12	0,180	0,200	1,67	1,39	18	1	2,64	0,351	0,140	0,135
	ОП-5								2	2,82		0,130	
N <sub>2</sub> <sup>3</sup>	Майртул	1,5	0,10	—	0,227	1,67	1,36	17	1	1,72	0,385	0,213	
	ОП-1												

Это позволяет достаточно уверенно распространять результаты испытаний шаровым штампом на опытных площадках на довольно обширные территории геоморфологического элемента.

В табл. 2 представлены результаты испытаний шаровым штампом на опытных площадках.

Величина сцепления, полученная в условиях нагружения шарового штампа 5—6 ступенями нагрузок и при 2—3-кратной повторности опытов на площадке, рассматривается нами как нормативная, достаточно надежная величина.

При сравнении значений сцепления, получаемых испытаниями на сдвиг и методом шарового и шарикового штампа, видно, что при испытаниях на сдвиг величина сцепления выше.

Ультразвуковое просвечивание монолитных образцов позволило получить общее представление о скоростях упругих волн различных по геоморфологическому положению и литологическому составу связных грунтов их изменении при увлажнении и провести дефектоскопию образцов.

У суглинистых грунтов ( $J_p = 0,12$  с  $\gamma_{ск} = 1,36 - 1,57$  г/см<sup>3</sup> и влажностью  $W_{ест.} = 0,104 - 0,190$ ) скорости  $V_p$  изменяются от 325 до 725 м/с, достигая наиболее высоких значений в «сухих» непросадочных суглинках низких верхнечетвертичных террас. После замачивания в шурфе  $V_p$  грунтов снижается до 290—590 м/с, а при водонасыщении в лаборатории — до 245—530 м/с. Соответственно снижаются и показатели прочности грунта: по пенетрации шариком  $C_{ш.} = 0,71 - 0,49 - 0,39$  кгс/см<sup>2</sup>, по сдвигу  $C = 1,34 - 0,63 - 0,45$  кгс/см<sup>2</sup>,  $\varphi = 25 - 24 - 23^\circ$ .

Полученные данные позволили получить представления об изменении сейсмической жесткости суглинистых грунтов при увеличении их влажности. В дальнейшем, в сочетании с сейсморазведочными и сейсмологическими наблюдениями, они позволят сделать прогноз инженерно-сейсмической обстановки на период эксплуатации оросительной системы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сейсмическое районирование территории СССР. М.: Наука, 1980.
2. Мирцхулава Ц. Е. Размыв русел и методика оценки их устойчивости. М.: Колос, 1967.
3. Строительные нормы и правила. — Часть 2, глава 52: Нормы проектирования. Сооружения мелиоративных систем (СНиП II-52-74). М.: Стройиздат, 1975.
4. Седенко М. В. Гидрогеология и инженерная геология. М.: Недра, 1971.

В. Ф. Разоренов, Э. М. Моргун,  
В. В. Леденев  
ВИСИ

#### АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ШТАМПОВЫХ ИСПЫТАНИЙ

Изложена методика анализа и обобщения результатов штамповых испытаний в связных и несвязных грунтах с целью определения предельного давления на основание и осадки штампа в зависимости от вертикальной нагрузки.

Методика проверена по результатам испытаний в песке 7 моделей круглых штампов диаметром от 0,05 до 0,465 м при относительном заглублении  $\lambda = h/d$  от 0,5 до 4 и в суглинке 5 моделей стенок шириной от 0,08 до 0,12 м при относительном заглублении  $h/b$  от 0,5 до 17,5. В однородном песке средней крупности с удельным весом грунта  $\gamma = 17$  кН/м<sup>3</sup> и влажностью  $w = 0,05$  было выполнено 38 испытаний\*, в элювиальном суглинке нарушенной структуры ( $w_L = 0,42$ ,  $J_p = 0,15$ ,  $\gamma_s = 26,5$  кН/м<sup>3</sup>) с  $\gamma_{ск} = 13,1$  кН/м<sup>3</sup> и  $w = 0,22$ , было проведено 25 испытаний. Показатели прочностных свойств песка составили  $\varphi = 32^\circ$ ,  $C = 0,002$  МПа, суглинка  $\varphi = 20^\circ$ ,  $C = 0,012$  МПа. Лотки имели размеры  $3 \times 3 \times 3$  и  $3,8 \times 3,6 \times 3,5$  м.

Графики «центральная вертикальная нагрузка  $P_i =$  осадка  $s$ » имеют существенно нелинейный характер и, как известно, могут быть выражены степенной функцией:

$$s_i = a P_i^m, \quad (1)$$

где  $a$  и  $m$  — параметры, подлежащие определению. Поэтому в логарифмических координатах графики « $P_i - S_i$ » должны выравняться в прямые.

Практически во всех случаях наблюдались две сопряженные прямые (рис. 1), причем абсцисса пересечения прямых  $\Phi$  рассматривалась как предел несущей способности песка и суглинка. По ординате  $s_0$  точки пересечения прямых определялись отношения  $s_0/d$  и  $s_0/b$ .

\* В проведении испытаний и анализе полученных результатов участвовали С. В. Иконин и Чинь Ван Кыонг.

Изменение углового коэффициента  $m$  — показателя степени в уравнении (1) — применительно к натурным испытаниям связано с различием в закономерности изменения скорости осадок фундаментов и свай. В соответствии с положением Н. А. Цытовича о фазах напряженного состояния грунтов в фазе сдвигов проявляются закономерно возрастающие незатухающие деформации. В данном случае при испытаниях на моделях в песке и суглинке значение  $\Phi$  соответствовало нагрузке, с повышением которой средние скорости деформаций резко увеличивались.

При испытании моделей в песке дополнительно учитывалась критическая нагрузка  $\Phi' = 1,28 \Phi$ , при которой приращение осадки в 5 и более раз превышало приращение осадки на предшествующей ступени нагрузки. Отметим, что при действии  $\Phi'$  наблюдались валики выпирания высотой до 8—10 см без образования воронки оседания.

Из уравнения (1), распространенного до  $P_i = \Phi$ , после логарифмирования получаем уравнение для определения  $m$ .

$$m = \operatorname{tg} \beta = \frac{\lg s_1/s_0}{\lg P_i/\Phi} = \operatorname{const}, \quad (2)$$

причем, как следует из условия пропорциональной зависимости между осадкой и линейным размером модели, отношения  $s_0/d$  или  $s_0/b$  представляют постоянные величины. В песках было получено  $s_0/d = 0,084 \pm 0,027$ , при показателе точности  $\rho = 0,096$ , в суглинках  $s_0/b = 0,038 \pm 0,006$  при  $\rho = 0,057$ .

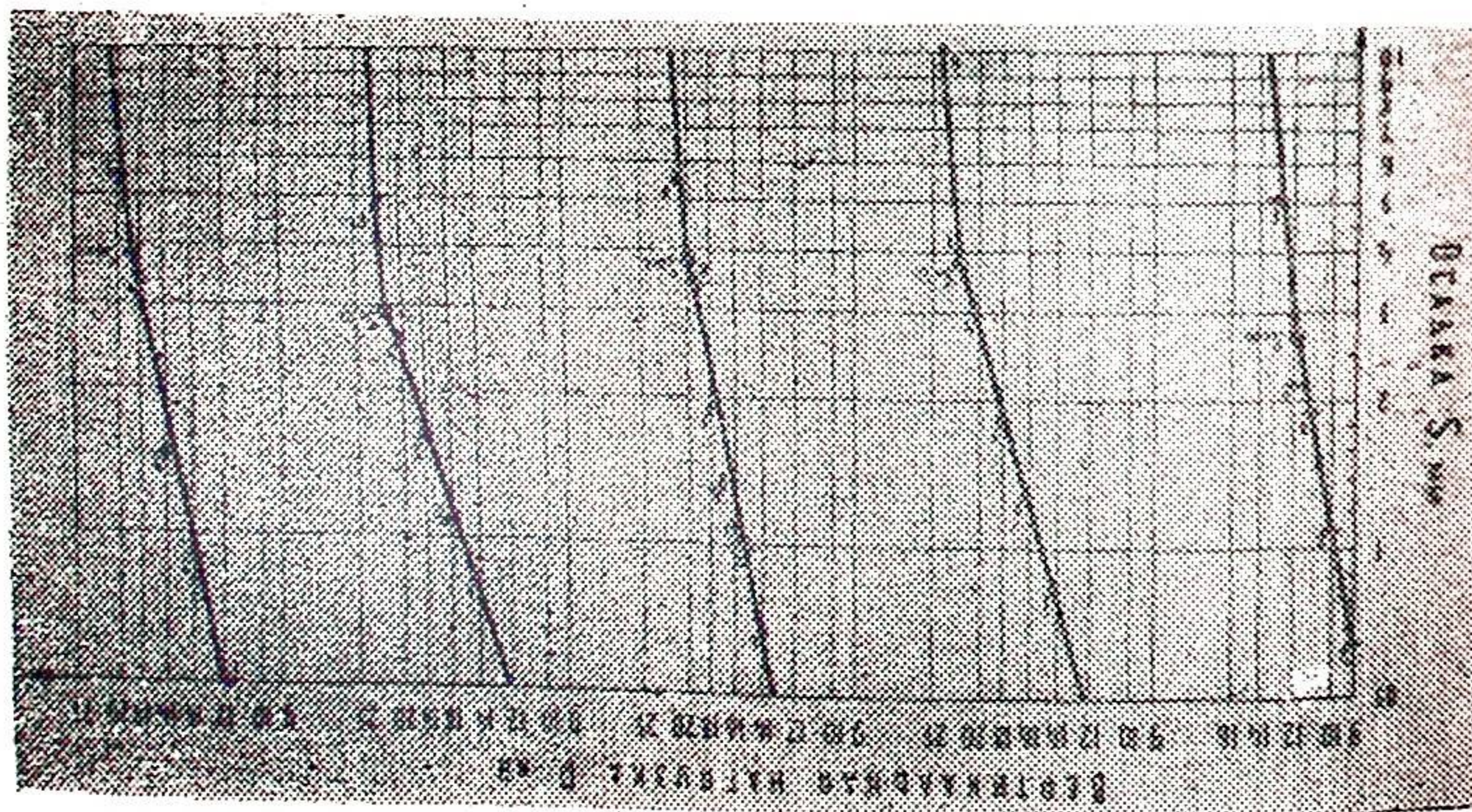


Рис. 1. Линейные графики «нагрузка-осадка», полученные по результатам испытания моделей стены в суглинке (глубина заложения 1,2 м). (В логарифмическом масштабе).

В песках выявлена линейная зависимость средней относительной несущей способности модели от глубины ее заложения

$$\frac{\Phi'}{\pi d^2/4 \cdot \gamma} = 18,3 + 166,6 h, \quad (3)$$

при коэффициенте корреляции  $0,998 \pm 0,006$  и среднеквадратической ошибке  $\pm 2,9$  м (рис. 1). Расчет, проведенный с учетом весовых коэффициентов, обобщает результаты 38 штамповых испытаний. Среднеквадратические ошибки в определении значений  $\frac{\Phi'}{\pi d^2/4 \cdot \gamma}$  для каждой глубины заложения модели показаны на рис. 2.

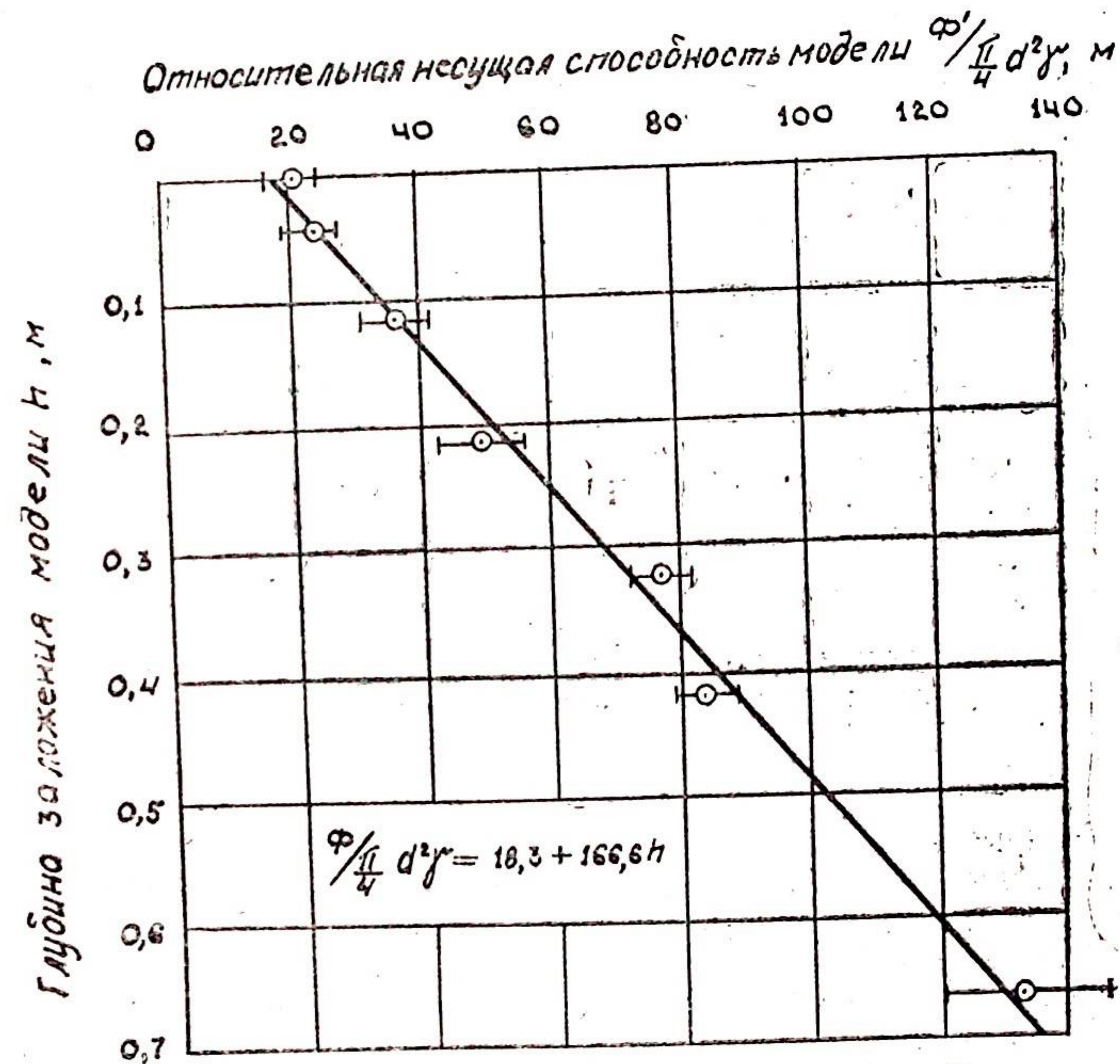


Рис. 2. График линейной зависимости относительной несущей способности модели штампа от глубины заложения.

Линейная зависимость (3) полностью совпадает с случаями предельного состояния песчаного основания 1, а—2, а, рассмотренными В. Г. Березанцевым [1]. При отсутствии сцеп-

дения в песке отношение  $\frac{\Phi'}{\pi d^2/4 \cdot \gamma}$  инвариантно по отношению к диаметру штампа, а тангенс угла наклона построенной прямой к оси ординат — безразмерная величина  $V'_0=166,6$ , функционально взаимосвязана с углом внутреннего трения песка. Можно показать, что «обобщенный показатель зондирования» в песчаном грунте  $V_0=0,226V'_0=37,6$ , что соответствует эквивалентному углу внутреннего трения грунта (с учетом сцепления)  $39,5^\circ$ .

В песке выявлена линейная зависимость  $\overline{\text{tg}\beta}=1,92 + 0,113\lambda$  (рис. 3).

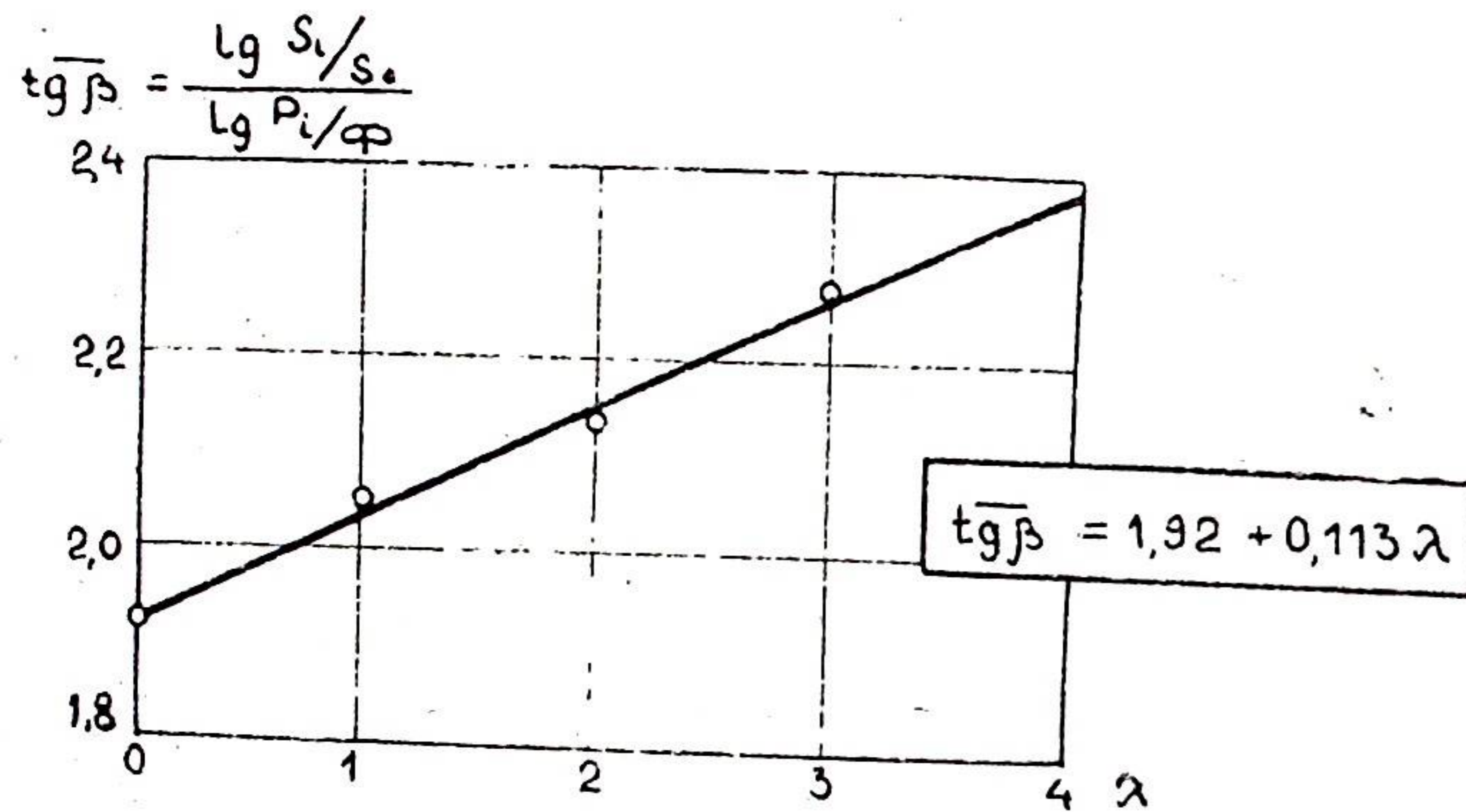


Рис. 3. График линейной зависимости среднего значения  $\overline{\text{tg}\beta}$  от относительного заглубления модели штампа в песке.

В суглинке среднее значение  $\overline{\text{tg}\beta}=3,79 \pm 1,16$  и  $\rho=0,105$ , т. е. влияние глубины заложения модели не обнаружено. Для 1 п. м. длины и средней ширины стены  $b=0,10$  м получено  $\Phi=3,17 + 14,27h$  при  $\gamma=0,824$  и  $\sigma=0,57$ . Полученные данные с учетом принципа моделирования позволяют оценить несущую способность соответствующих оснований  $\Phi$  или  $\Phi'$  и определить осадку  $s_i$  в зависимости от линейных размеров фундамента и действующей нагрузки.

Предложенная методика может быть использована для региональных обобщений результатов натурных испытаний штампов, фундаментов и свай на вертикальную и внецентренную нагрузку. В последнем случае аналогичным образом исследуются крены фундаментов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Березанцев В. Г. Расчет оснований сооружений (Пособие по проектированию). Л., 1970.
2. Разоренов В. Ф. Пенетрационные испытания грунтов (Теория и практика применения). М., 1980.

М. А. Улумиев  
ДагПТИ

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ ПО ПОДОШВЕ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ШТАМПА НА ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТАХ

Для выбора расчетной схемы системы фундамент-основание большое значение имеет выявление закономерностей распределения контактных напряжений, которые до настоящего времени недостаточно исследованы, особенно для лессовых просадочных грунтов.

С целью изучения этих закономерностей были проведены экспериментальные исследования характера распределения контактных напряжений в лессовом просадочном основании по контакту с прямоугольным штампом конечной жесткости в процессе возрастания нагрузки. Исследования проводились как при естественном состоянии грунта основания, так и при его замачивании.

Исследования проводились на установке А. М. Силкина, предназначенной для экспериментальных исследований грунта.

Схема установки показана на рис. 1.

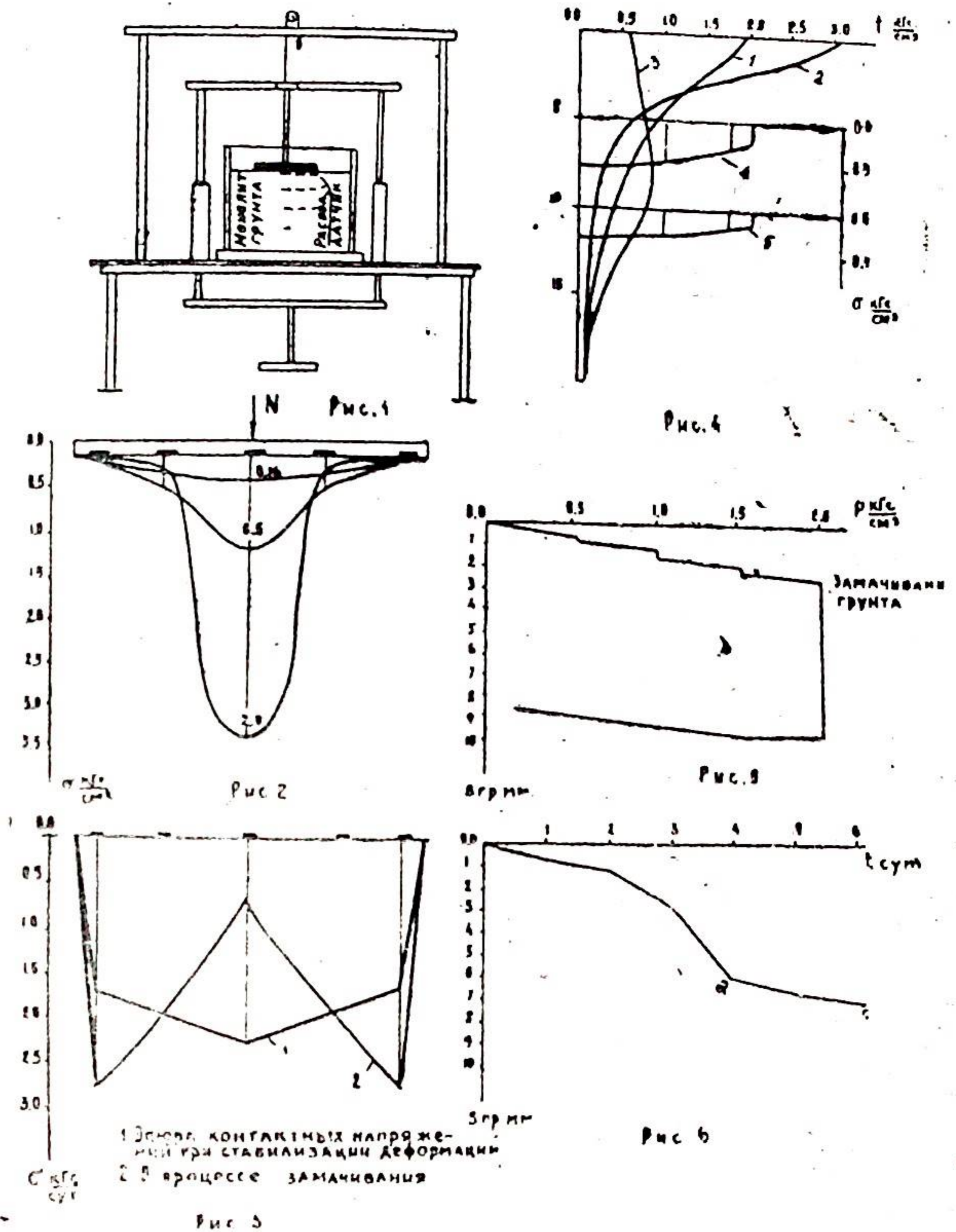
Задача экспериментального изучения напряженного состояния грунта сводится к определению нормальных напряжений.

Для этого применяются датчики нормальных напряжений-мессдозы, которые помещаются в грунт и контактируют своими чувствительными элементами с частицами грунта, поровой водой и газом. В процессе эксперимента были определены напряжения как по контактной поверхности, так и по глубине основания.

Нагрузка на монолит грунта, моделирующего лессовое основание размером ( $a \neq b = 40$  см,  $h = 22$  см) передавалась через прямоугольный штамп с размерами  $L = 16$  см,  $b = 4$  см,  $h = 2$  см. Осадка штампа измерялась прогибомером.

Измерение контактных напряжений и напряженного состояния грунта по глубине было выполнено тензометрическими датчиками конструкции НИИЖТа. Вторичным прибором служил мост Уистона, которым фиксировалось изменение

омического сопротивления кремниевых тензорезисторов датчика.



Нагрузка на грунт основания передавалась центрально, ступенями давления от 0,16 до 2 кгс/см<sup>2</sup>, при естественном состоянии грунта. Начальные характеристики грунта:

$w = 0,07$ ,  $\gamma_c = 1,65$  гс/см<sup>3</sup>,  $\gamma_s = 2,70$  гс/см<sup>3</sup>,  $e = 0,750$ . Замачивание грунта под штампом проводилось при постоянном давлении на основание, равном 2 кгс/см<sup>2</sup>.

Перед началом установки датчики тарировались пневматическим способом в специальном баке, с грунтом нарушенной структуры, по методике, разработанной в ЦНИИСКе. Пределы тарировки датчиков 0 ÷ 6 кгс/см<sup>2</sup>. Установка датчи-

ков по контактной поверхности и по глубине грунта показана на рис. 1. Перед установкой датчиков в грунте были устроены специальные гнезда и датчики устанавливались тщательно притертыми к грунту.

Эпюры контактных напряжений на всех ступенях нагрузки при естественном состоянии грунта имели параболическое очертание. При давлении 2 кгс/см<sup>2</sup> эпюра приобретает почти клинообразную форму, что и видно из рис. 2.

При каждой ступени нагрузки осадка измерялась до достижения условной стабилизации. Условной стабилизацией была принята осадка, равная 0,01 мм за 6 часов. После чего прикладывалась следующая ступень. Напряжения в грунте измерялись при полной стабилизации осадка от всех ступеней нагрузки.

Анализ результатов проведенных исследований показал, что распределение контактных напряжений под штампом с показателем гибкости  $\Gamma=15$  на маловажных лессовых грунтах при давлениях до 2 кгс/см<sup>2</sup> удовлетворительно соответствует аналитическим решениям теории упругости.

При замачивании грунта основания форма эпюры контактных напряжений резко меняется, т. е. нагрузка постепенно перераспределяется по контактной поверхности, и эпюра давлений приобретает седлообразную форму. Это происходит при полном замачивании образовавшегося ядра под центральной частью штампа. При замачивании уплотненного ядра под центральной частью штампа он проседает, и в его области образовывается зона пониженных напряжений и происходит перераспределение напряжения по контактной поверхности. При стабилизации деформации замоченного грунта эпюра контактных напряжений приобретает параболическое очертание, но с меньшими ординатами в средней части штампа, чем при естественном состоянии грунта (см. рис. 3).

На рис. 4 показано распределение напряжения по глубине грунта основания под центром штампа.

Эпюра 1 — теоретическая, эпюра 2 — по опытным данным и эпюра 3 — в процессе замачивания.

На этом же рисунке показаны распределение напряжения по горизонтальным плоскостям на расстоянии 5 и 10 см от подошвы штампа при естественном состоянии грунта (эпюры 4 и 5). По форме эпюр распределения напряжения по горизонтальным плоскостям видно, что жесткость штампа влияет в меньшей степени на распределение напряжения по глубине массива, чем на контактной поверхности.

При испытании грунта штампом также было установлено изменение деформативных характеристик грунта до и после замачивания (см. рис. 5) при модуле общей деформации грунта естественного состояния  $E_0=160$  кгс/см<sup>2</sup> и  $E_0=20$  кгс/см<sup>2</sup> — для грунта в замоченном состоянии. Относи-

тельная просадка грунта при  $P=2$  кгс/см<sup>2</sup> равна  $\delta=0,034$ , а величина просадочной деформации  $S_{пр}$  состоит из деформации 2-го и 3-го вида.

На рис. 6 — участок oa — деформация 2-го вида (просадка), участок oc — деформация 3-го вида (послепросадочные деформации).

## ВЫВОДЫ

1. Результаты исследования напряженно-деформированного состояния лессового просадочного грунта указывают на то, что расчет совместной работы системы сооружение — просадочное основание нельзя проводить по одной и той же расчетной схеме в естественном состоянии и при замачивании.

2. На распределение контактных напряжений влияет:

а) величина и характер нагрузки передаваемой на штамп;

б) жесткость штампа;

в) состояние грунта под штампом и ее генезис.

3. Особое внимание нужно уделить методике установки датчиков.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абелев Ю. М., Абелев М. Ю. Основы проектирования и строительства на просадочных макропористых грунтах. М., 1979.

2. Силкин А. М., Фролов Н. Н. Основания и фундаменты. М.: Колос, 1981.

3. Цытович Н. А. Механика грунтов. М., 1979.

А. С. Айдаев  
ДарПТИ

## ОЦЕНКА СТАТИСТИЧЕСКОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ОСНОВАНИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГРУНТОВ МЕТОДАМИ СТАТИЧЕСКОГО И ДИНАМИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Предлагается методика оценки неоднородности параметров физического состояния грунтовых оснований на примере оценки статистической изменчивости плотности.

Плотность является одной из важнейших характеристик физического состояния грунтов, которая существенно влияет на их деформируемость и прочность. Поэтому изучение плотности грунтов оснований и ее изменчивости (статистической неоднородности) является важной практической задачей.

Для определения плотности грунтов используются как прямые, так и косвенные методы [1, 2, 3, 4, 5 и др.]. Однако, следует отметить, что при оценке статистической неоднородности плотности массивов реальных оснований прямые методы (метод режущего кольца и метод парафинирования) малоэффективны, а в случае песчаных оснований практически неприменимы из-за практической невозможности отбора необходимого количества образцов ненарушенной структуры. Косвенные методы основаны на использовании корреляционных связей. Используются корреляционные зависимости между плотностью и сопоставлением зондированию (механическим откликом на погружение зонда в грунт)  $P$  — при статическом зондировании; числом ударов молота  $N$  для погружения зонда на определенную глубину или осадкой зонда от одного удара  $e$  — при динамическом зондировании; скоростью прохождения  $\gamma$ -частиц — при использовании гамма-методов.

Для оценки статистической неоднородности плотности оснований в природном сложении содержательную информацию дают результаты полевых исследований грунтов методами статического и динамического зондирования. В результате зондирования толщи естественного основания получается непрерывная функция изменения механического отклика на неоднородность основания по глубине, которая представляет собой реализацию случайного процесса. На рис. 1 и 2 пред-

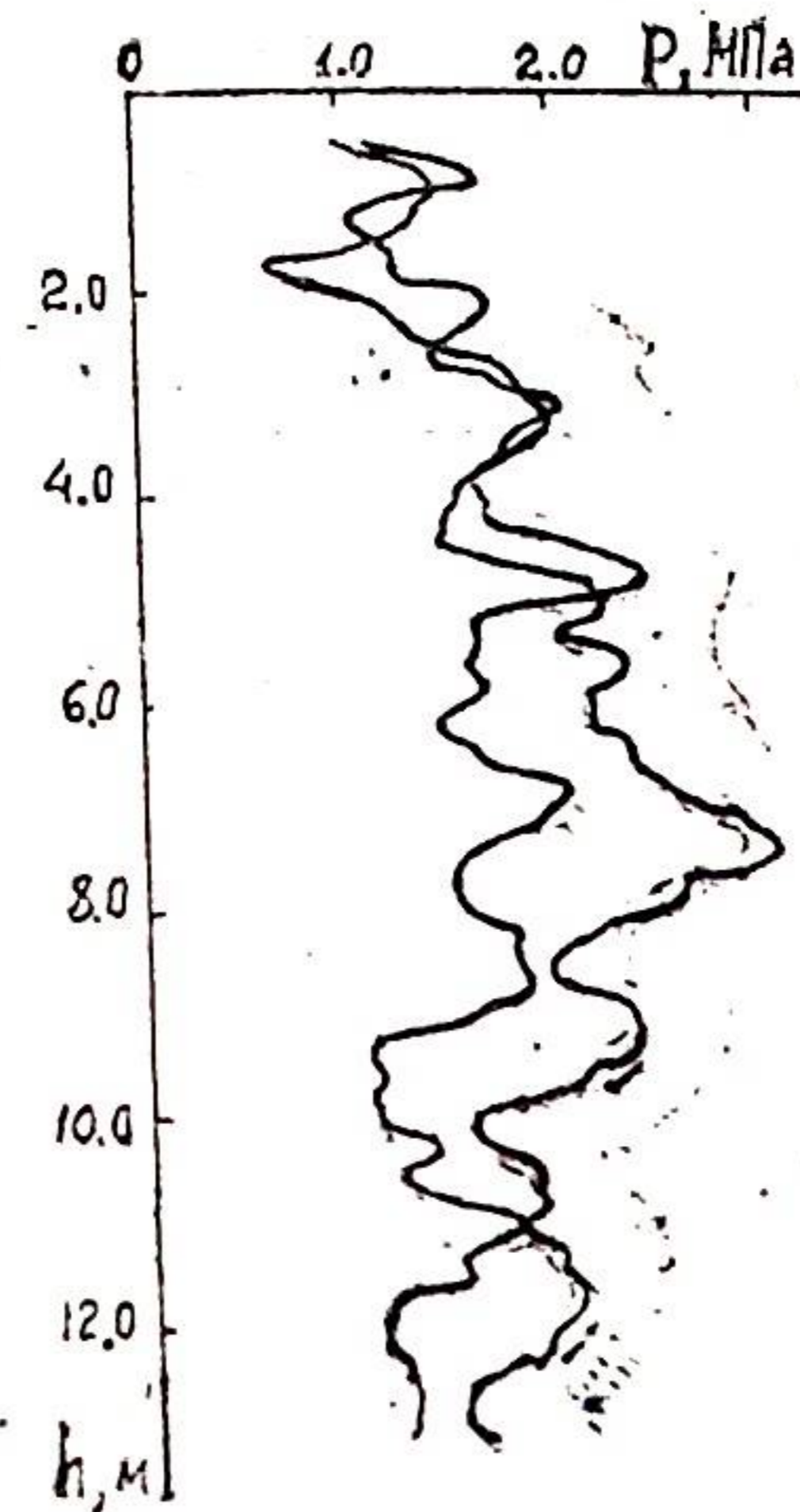


Рис. 1. Изменение сопротивления зондированию  $P$  массива глинистого (просадочного) грунта по глубине (г. Хасавюрт, ДАССР).

ставлены характерные графики изменения сопротивления зондирования  $P$  по глубине, полученные в результате статического зондирования массивов глинистых (просадочных) и песчаных грунтов на территории ДАССР. Аналогичные результаты приведены и в работах [3, 4, 6 и др.].

Исследованиями ряда авторов [1, 2, 3, 4 и др.] установлены тесные корреляционные связи между  $P$ ,  $N$  и  $e$  с плотностью сухого грунта  $\rho_d$  для широкой разновидности песчаных и глинистых грунтов.

Для песчаных грунтов в результате исследований, выполненных в [1, 2 и др.] получена следующая линейная зависимость между обратным значением плотности скелета  $\rho_d^{-1}$  и логарифмом сопоставления статическому зондированию  $\lg P$

$$\rho_d^{-1} = a - b \cdot \lg \frac{P}{P_0}, \quad (1)$$

где  $a$ ,  $b$  и  $P_0$  — числовые параметры уравнения (1), устанавливаемые экспериментально.

Аналогичные зависимости получены между логарифмами числа ударов молота для погружения зонда на глубину 10 см  $-\lg N$ , осадкой зонда от одного удара  $\lg e$  и  $\rho_d^{-1}$ . Корреля-

ционная зависимость (1) очень тесная, коэффициент корреляции для широкой разновидности песчаных грунтов колеблется в интервале от 0,95 до 1.

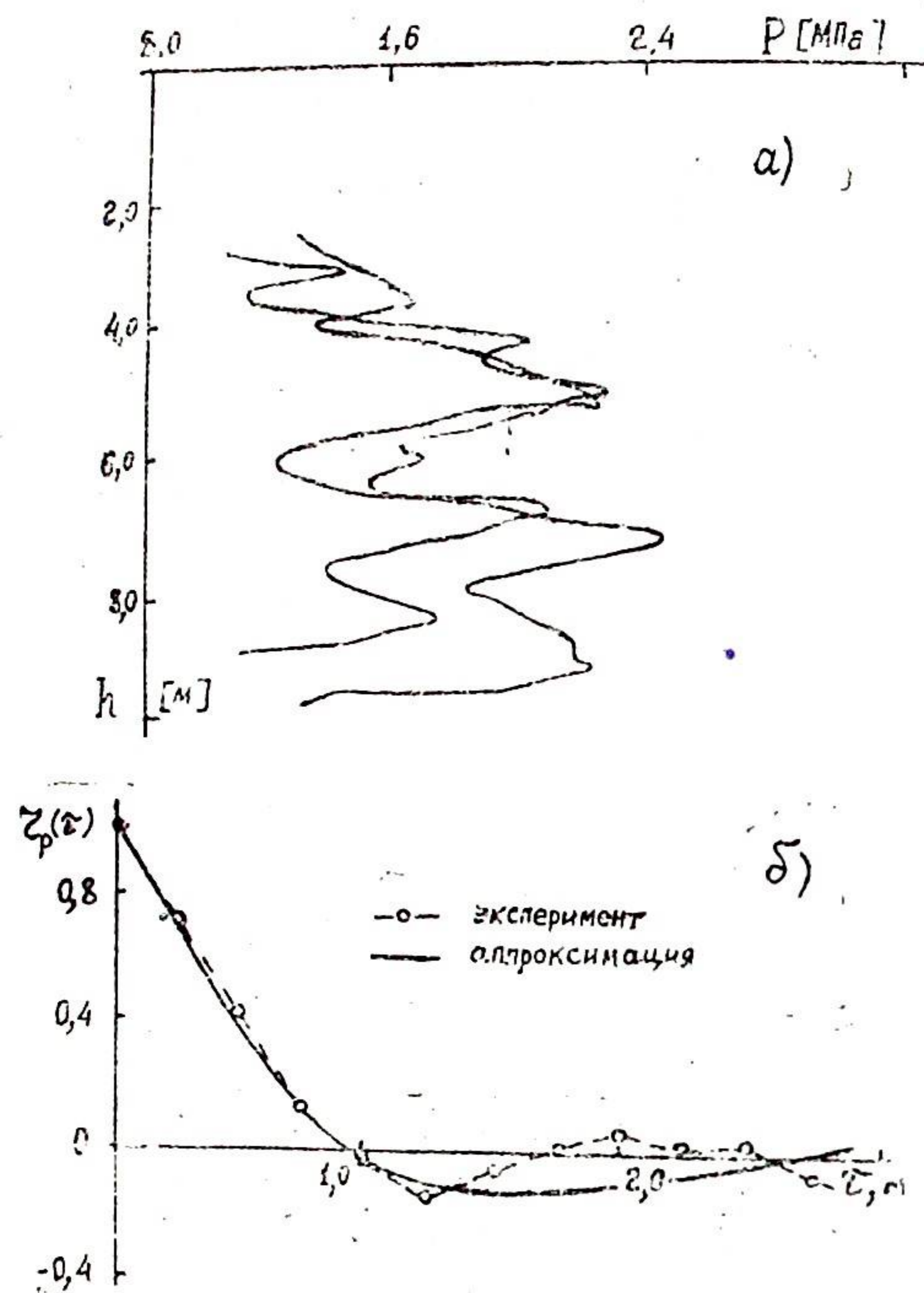


Рис. 2. а). Изменение сопротивления зондированию  $P$  массива песчаного грунта по глубине (г. Махачкала, ДАССР); б). Нормированная корреляционная функция случайной функции  $P(h)$ .

Для глинистых грунтов получена линейная корреляционная зависимость между  $q_d$  и  $\lg N$  в следующем виде:

$$q_d = K + 0,5 \lg N, \quad (2)$$

где  $K$  — числовой параметр уравнения (2), зависящий от вида глинистого грунта.

Предлагаемая методика оценки статистической неоднородности плотности оснований основана на использовании методов теории функций случайных аргументов. В качестве

случайного аргумента принимается сопротивление зондированию  $P$ , число ударов молота  $N$  для погружения зонда на 10 см или осадка зонда от одного удара  $e$ , изменения которых по глубине  $h$  рассматриваются как реализации стационарного (или, в общем случае, квазистационарного) случайного процесса с нормальным законом распределения. Для определения статистических характеристик плотности  $q_d$  привлекается известный метод линеаризации.

Для песчаных грунтов выражения для определения статистических характеристик плотности  $q_d$  будут иметь следующий вид:

$$\bar{q}_d \left( a - b_1 \cdot \ln \frac{\bar{P}}{P_0} \right)^{-1} \quad (3)$$

дисперсия

$$Dq_d = b_1^2 \cdot \left[ \bar{P}^2 \cdot \left( a - b_1 \cdot \ln \frac{\bar{P}}{P_0} \right)^{-1} \right] \cdot DP; \quad (4)$$

корреляционная функция

$$R_{q_d}(\tau) \approx Dq_d \cdot r_p(\tau), \quad (5)$$

где  $\bar{P}$  и  $DP$  — среднее значение и дисперсия  $\bar{P}$ ;  $r_p(\tau)$  — нормированная корреляционная функция случайной функции  $\bar{P}(h)$ .

Выражения для определения средних значений и дисперсий плотности для глинистых грунтов будут иметь вид:

$$\bar{q}_d = K + 0,5 \cdot \lg \bar{N}; \quad (6)$$

$$Dq_d = 0,047 \cdot \bar{N}^2, DN, \quad (7)$$

где  $\bar{N}$  и  $DN$  — соответственно среднее значение и дисперсия  $\bar{N}$ . Корреляционная функция  $R_{q_d}(\tau)$  определяется также по формуле (5), подставляя вместо  $r_p(\tau)$  соответствующую нормированную корреляционную функцию  $r_N(\tau)$ .

Статистические характеристики случайной функции  $\bar{P}(h)$  (также и  $\bar{N}(h)$  или  $\bar{e}(h)$ ) определяются из следующих соотношений [7]:

среднее

$$\bar{P}(h_i) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i(h_i); \quad (8)$$

дисперсия

$$DP(h_i) = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n [P_j(h_i) - \bar{P}(h_i)]^2; \quad (9)$$

корреляционная функция

$$R_p(\tau) = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n [P_j(h_i) - \bar{P}(h)] \cdot [P_j(h'_i) - \bar{P}(h'_i)]; \quad (10)$$

нормированная корреляционная функция

$$r_p(\tau) = R_p(\tau) / \sqrt{DP(h_i) \cdot DP(h'_i)}, \quad (11)$$

где  $n$  — число реализаций случайной функции  $\tilde{P}(h)$  (число зондированных скважин);

$P_j(h_i)$  — значение случайной функции  $\tilde{P}(h)$  в  $j$ -реализации;

$\tau = h - h'$  — аргумент корреляционной функции.

При использовании ЭВМ статистические характеристики случайной функции  $\tilde{P}(h)$  вычисляются очень просто.

Рассмотрим изложенную методику на примере массива песчаного грунта в районе г. Махачкалы, используя результаты полевых исследований методом статического зондирования. Реализации случайной функции  $\tilde{P}(h)$  рассматриваемого участка представлены на рис. 2а.

Среднее значение и дисперсия сопротивления зондированию  $\tilde{P}$  для песка рассматриваемого участка равны:  $P = 16,09$  МПа,  $DP = 19,42$  МПа. Нормированная корреляционная функция хорошо аппроксимируется выражением вида

$$r_p(\tau) = \exp(-1,2) \cdot \cos 1,57 \tau. \quad (12)$$

График нормированной корреляционной функции (12) представлен на рис. 2б.

Принимая  $\tau = 0$  ( $R_p(0) = DP$ ), рассмотрим  $\tilde{P}$  как случайную величину. Коэффициент вариации  $V$  получается равным  $V_p = 0,27$ .

Для песка рассматриваемого участка зависимость (1) не изучена. Для примера рассмотрим песок, исследованный

в [2], для которого  $a = 0,7$ ,  $b = 0,232$  и  $P_0 = 0,27$ , принимая  $V_p = 0,27$  при  $\bar{P} = 0,49$  МПа. При этом статистические характеристики  $\tilde{q}_d$  получаются равными: среднее значение  $\bar{q}_d = 1,56$  т/м<sup>3</sup>; среднеквадратическое отклонение (стандарт)

$\sqrt{Dq_d} = 0,065$  т/м<sup>3</sup>. Коэффициент вариации  $\tilde{q}_d$ , при этом равняется  $V_{q_d} = 0,042$ . Ошибка метода линеаризации при определении  $Dq_d$  составляет 3,4%.

Как известно, [8], коэффициент вариации плотности песчаных грунтов колеблется в интервале от 0,02 до 0,075. Полученное значение  $V_{q_d} = 0,042$  реальное.

Необходимым условием применения предлагаемого метода оценки статистической изменчивости плотности грунтов является установление значений числовых параметров  $a$ ,  $b$ ,  $P_0$  и  $K$  для уравнений (1) и (2) для различных видов песчаных и глинистых грунтов. Эти параметры могут быть установлены экспериментально в полевых и лабораторных условиях по результатам соответствующих исследований методами зондирования и пенетрации. При наличии соответствующих корреляционных зависимостей предлагаемую методику можно использовать и для оценки статистической изменчивости, других параметров реальных грунтовых оснований.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дуранте В. А. Опыт исследования плотности песков методом глубинного зондирования. — Тр. совещания по инженерно-геологическим свойствам горных пород и методом их изучения. М., 1956, т. 1.
2. Резников О. М. Определение механических свойств грунтов (в условиях естественного залегания) методом статического зондирования. — В сб. вопросы геотехники, Днепропетровск, 1961, № 4.
3. Белый Л. Д. и др. Опыт разработки и внедрения методики ускоренного контроля плотности песков при намыве плотин. Гидротехническое строительство, 1976, № 1, с. 14—18.
4. Дудлер И. В. Комплексные исследования грунтов полевыми методами. — М.: Стройиздат, 1979, 132 с.
5. Смородинов М. И. Радиоизотопные методы контроля качества работ и исследований при устройстве фундаментов и подземных сооружений. — М.: Атомиздат, 1980, 168 с.
6. Трофименко Ю. Г., Воробков Л. Н. Полевые методы исследования строительных свойств грунтов. — М.: Стройиздат, 1981, 215 с.
7. Свешников А. А. Прикладные методы теории случайных функций. — М.: Наука, 1968, 463 с.
8. Ермолаев Н. Н., Михеев В. В. Надежность оснований сооружений. — Л.: Стройиздат, 1976, 151 с.

В. Г. Хилобок, А. В. Юдин, М. М. Вагидов  
ПИСИ, ДагПТИ

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЖИМАЕМОСТИ ГРУНТОВ ПРИ КОМПРЕССИОННЫХ ИСПЫТАНИЯХ

Лабораторные испытания образцов грунта позволяют быстро и с минимальными затратами определить его деформационные свойства. Однако, зачастую, получаемые результаты не отвечают возросшим требованиям к точности деформационных характеристик грунта. На достоверность величины деформационной характеристики грунта оказывает большое влияние разброс значений этих характеристик, определенных по отдельным образцам грунта. Разброс опытных данных объясняется влиянием индивидуальных особенностей каждого образца на его деформационную характеристику, что отмечается многими исследователями.

М. Н. Гольштейн указывает, что, «даже небольшие по протяженности и мощности осадочные отложения могут обладать в точках, расположенных буквально на расстоянии 10 см друг от друга, поразительными колебаниями состава и свойств. Известно, например, как сильно меняется от точки к точке просадочность лессовых пород, визуально совершенно однородных». «Этот разброс столь велик» — указывает С. С. Вялов, что различие в значениях полученных данных в пределах 10—20% считается удовлетворительным и даже хорошим совпадением, а в 5% — малоправдоподобным.

В Полтавском инженерно-строительном институте разработан способ обработки компрессионных испытаний грунта, существенно снижающий влияние индивидуальных особенностей отдельных образцов на характеристику деформируемости грунта. Новизна способа защищена авторским свидетельством № 756261. В основу способа заложена одновременная обработка нескольких испытаний образцов грунта одинаковой влажности при постоянном давлении. За деформационную характеристику грунта принят показатель деформируемости грунта —  $I_p$  при нагрузке  $P$  к начальному коэффициенту пористости  $I_0$ . На графике, построенном в координатах  $I_p - I_0$ ,

показатель деформируемости  $A_p$  численно равен тангенсу угла наклона осредняющей прямой  $A = \frac{I_p}{I_0} = \operatorname{tg} \alpha$ , при  $P = \text{const}$  и  $W = \text{const}$  (рис. 1). Прямая, соединяющая опытные точки, проводится через начало координат. Точки, значительно отстоящие от осредняющей прямой, отбраковываются. Приведен анализ деформационных характеристик грунтов, полученных различными способами, по одним и тем же компрессионным испытаниям. В качестве примера взяты компрессионные испытания просадочных грунтов г. Херсона с 5

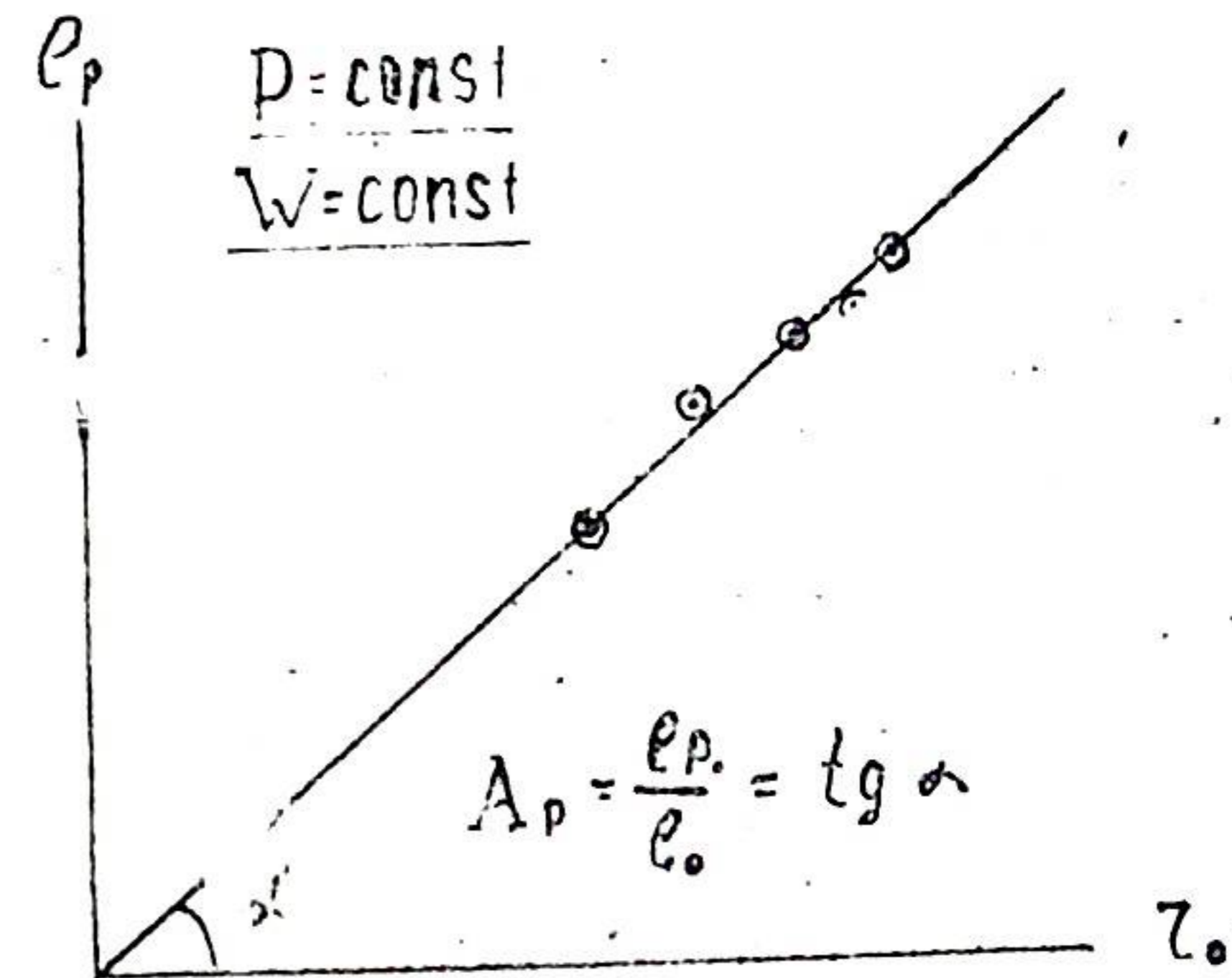


Рис. 1

Рис. 1. Обобщение опытных данных и определение показателя деформируемости грунта ( $A_p$ ).

горизонтов. Образцы грунта при компрессионных испытаниях загружались ступенями 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,30 МПа. Во всех интервалах нагрузок определялись коэффициенты сжимаемости —  $m_0$ , коэффициенты относительной сжимаемости —  $m_v$ , при каждой ступени нагрузки определялись показатели деформируемости грунта —  $A_p$ . По опытным данным было получено по 670 значений каждой деформационной характеристики грунта. Анализ разброса этих данных позволил выявить погрешность определения каждой деформационной характеристики грунта. Средние обобщенные значения погрешностей и точность получаемых деформационных характеристик по всем слоям и нагрузкам приведены в табл. 1.

Из таблицы 1 следует, что погрешность определения показателя деформируемости грунта в 20 раз меньше погрешности определения коэффициента относительной сжимаемости.

Таблица 1

№№ пп	Наименование деформационной характеристики грунта	Средние значения	Величины погрешностей		Точность получаемого значения
			абсолют.	относ.	
1.	Коэффициент сжимаемости $m_0$ , МПа <sup>-1</sup>	0,33	0,9	25,7	17,3%
2.	Коэффициент относительной сжимаемости $m_v$ , МПа <sup>-1</sup>	0,17	0,05	28,5	19,4%
3.	Показатель деформируемости грунта, $A_p$	0,943	0,013	1,4	0,9%

Малая погрешность определения показателя деформируемости грунта позволяет с высокой точностью выявить сжимаемость грунта при условии невозможности бокового расширения.

Показатель деформируемости грунта характеризует сжимаемость грунта при определенной степени нагрузки. По нескольким показателям деформируемости, определенных при различных ступенях нагрузки строится деформационная кривая в координатах  $A_p - P$ . Деформационная кривая отражает сжимаемость грунта определенной влажности в интервале нагрузок. Деформационная кривая любого грунта независимо от его влажности всегда выходит из одной точки: при  $P=0$ ,  $A_p = 1,0$ . Это обстоятельство значительно облегчает определение просадочных свойств грунта методом II кривых. Деформационные кривые грунта естественной влажности и в замоченном состоянии всегда выходят из одной точки: Нет необходимости подбирать образцы с одинаковой плотностью. Независимость показателя деформируемости от пористости отдельных образцов значительно повышает точность определения деформативных свойств грунта. При определении осадки и просадки грунтового основания по показателю деформируемости грунта появляется возможность учитывать влияние коэффициента пористости грунта на его деформационные свойства.

Деформационные кривые по форме напоминают компрессионные кривые. Форма деформационных кривых зависит от деформационных свойств грунта, которые в свою очередь определяются комплексом физических характеристик грунта и количественным содержанием в нем воды. Таким образом,

форму деформационных кривых можно рассматривать как отражение в графическом виде влияния комплекса свойств данного грунта в конкретных условиях на его сжимаемость.

По форме деформационных кривых можно судить о сжимаемости и просадочности грунта при различных нагрузках, прогнозировать деформации при изменении влажности грунта и классифицировать грунты по деформационным свойствам. Переход от словесного описания деформационных кривых к их количественной оценке несомненно дает возможность с большей точностью оценивать деформативные свойства грунта.

Анализ форм деформационных кривых грунтов некоторых районов Дагестана и Украины показал, что формы всех кривых: выпуклых, вогнутых, выпукло-вогнутых и близких к прямолинейным можно рассматривать как пучок кривых, подчиняющихся единой закономерности. Эти кривые близки по форме правой ветви кривой Гаусса, описываемой функцией

$$y = e^{-x^2} \quad (1)$$

Правая ветвь кривой напоминает по форме деформационную в большом интервале нагрузок и, подобно деформационным кривым, всегда выходит из точки ординаты, равной 1 (рис. 2). Компрессионные испытания проводятся в узком интервале нагрузок  $P_k$ , отрезки кривых с переменными по-

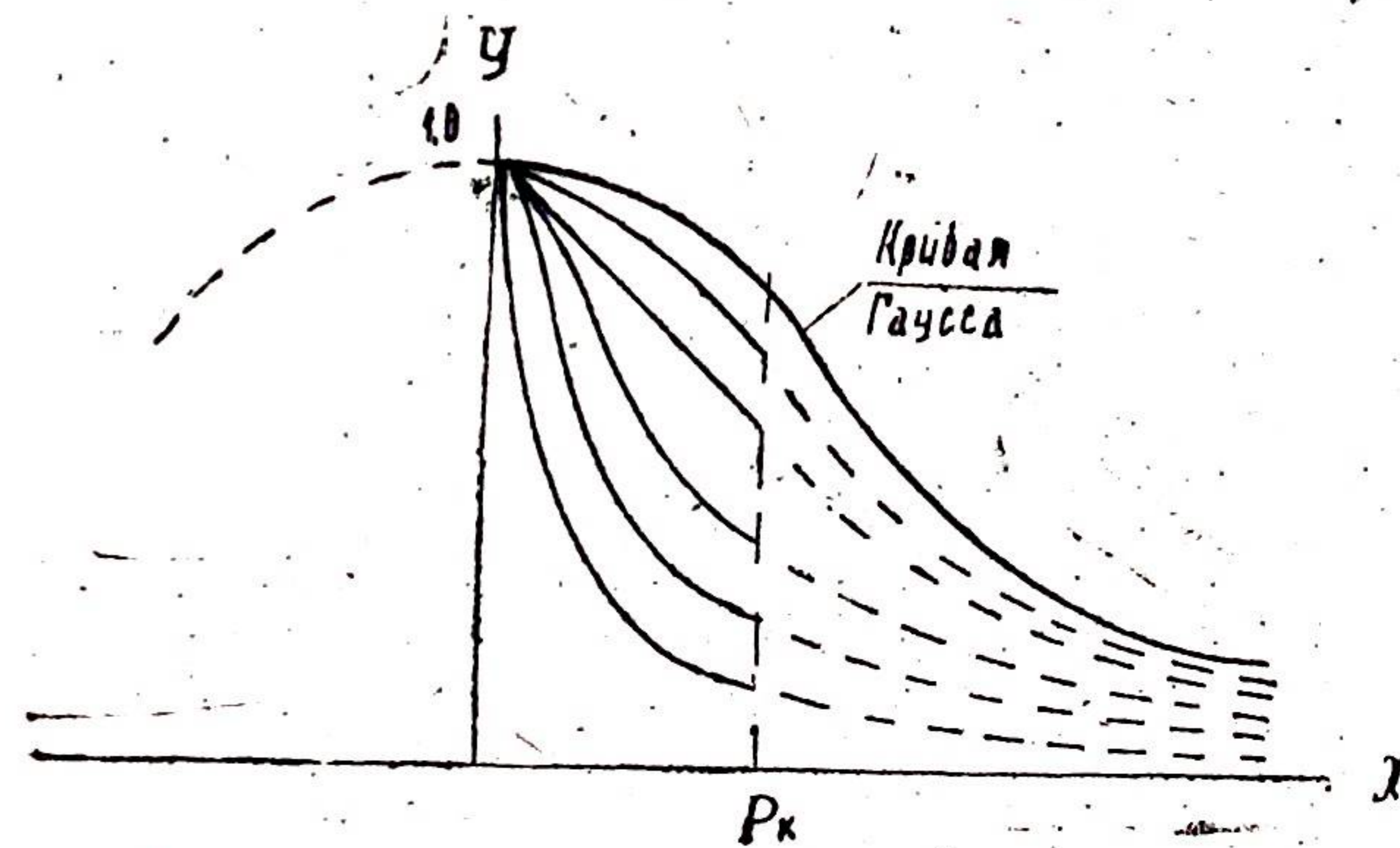


Рис. 2

Кривые с переменными параметрами, подчиняющимися единой функциональной зависимости.

казателями единой функциональной зависимости. Преобразовав формулу 1, путем введения в нее переменных показателей  $b, c, d$ , получим следующую формулу, описывающую пучок кривых, подчиняющихся единой функциональной зависимости:

$$Y = (1-b)e^{-cx^d} + b. \quad (2)$$

Предложенная Юдиным А. В. функциональная зависимость (2) описывает практически любую выпуклую, вогнутую, выпукло-вогнутую плавную кривую или прямую, выходящую из точки с координатами  $X=0.0; Y=1.0$ . Кривые по форме подобны деформационным кривым, которые выходят из точки с координатами  $P=0.0; A=1.0$ . Для описания деформационных кривых можно преобразовать функцию к следующему виду:

$$A_p = (1-b)e^{-cP^d} + b, \quad (3)$$

где:  $A_p$  — показатель деформируемости грунта,  
 $e$  — основание натуральных логарифмов,  
 $P$  — нагрузка,

$b, c, d$  — параметры функциональной зависимости.

Из функциональной зависимости (3) следует, что для описания любой деформационной кривой достаточно определить параметры функциональной зависимости  $b, c, d$ .

Для определения параметров деформационной кривой применим метод выравнивания кривых, заключающийся в преобразовании зависимости к виду, графическое изображение которого в новой системе координат представит из себя прямую линию.

Оценкой степени достоверности принятой линейной аппроксимации служит коэффициент корреляции  $r$ , который определяется по следующей формуле:

$$r = \frac{n \sum_1^n \left( \ln P \cdot \ln \ln \frac{1-b}{A-b} \right) - \sum_1^n \ln \ln \frac{1-b}{A-b} \times \sqrt{\left[ n \sum_1^n (\ln P)^2 - \left( \sum_1^n \ln P \right)^2 \right] \times \sum_1^n \ln P}{\times \left[ n \sum_1^n \left( \ln \ln \frac{1-b}{A-b} \right)^2 - \left( \sum_1^n \ln \ln \frac{1-b}{A-b} \right)^2 \right]}{n \sum_1^n \left( \ln P \cdot \ln \ln \frac{1-b}{A-b} \right) - \sum_1^n \ln \ln \frac{1-b}{A-b} \times \sqrt{\left[ n \sum_1^n (\ln P)^2 - \left( \sum_1^n \ln P \right)^2 \right] \times \sum_1^n \ln P}} \quad (4)$$

Теснота линейной корреляции характеризуется величиной коэффициента корреляции: чем ближе значения  $r$  к 1,0, тем лучше совпадение опытных данных с вычисленными значениями. Величина  $r$  зависит от значений переменного параметра  $b$ . Изменяя значение параметра  $b$  от 0,0 до  $A_{\min}$ , находим такое, при котором величина коэффициента корреляции максимальна. Чем выше значение  $r$ , тем выше степень достоверности принятой линейной аппроксимации.

Определив значения параметра  $b$ , находим значения параметров  $d$  и  $c$ , используя формулы способа наименьших квадратов:

$$d = \frac{n \sum_1^n \left( \ln P \cdot \ln \ln \frac{1-b}{A-b} \right) - \sum_1^n \ln \ln \frac{1-b}{A-b} \cdot \sum_1^n \ln P}{n \sum_1^n (\ln P)^2 - \left( \sum_1^n \ln P \right)^2} \quad (5)$$

$$\ln C = \left( \sum_1^n \ln \ln \frac{1-b}{A-b} - d \sum_1^n \ln P \right) \cdot \frac{1}{n} \quad (6)$$

$$C = e^{\frac{1}{n} \left( \ln \frac{1-b}{A-b} - d \sum_1^n \ln P \right)} \quad (7)$$

Степень точности описания деформационных кривых формулой (3) оценивается: среднеквадратическим отклонением —  $\sigma$ , расчетных данных от опытных, коэффициентом вариации —  $V$ , коэффициентом корреляции —  $r$ .

Аналитическое описание 152 деформационных кривых, объединяющих около 1300 компрессионных испытаний просадочных грунтов Дагестана и Украины, показали высокую точность аналитического описания деформационных кривых. Среднеквадратическое отклонение  $\sigma < 0,04$ ; коэффициента вариации  $V < 0,02$ ; коэффициента корреляции  $r > 0,96$ , что позволяет с высокой точностью производить оценку деформационных характеристик грунтов.

А. Д. Давлетханова  
ДагПТИ

## РАСЧЕТ ПЛОСКИХ РАМ НА СТАТИСТИЧЕСКИ НЕОДНОРОДНОМ УПРУГОМ ОСНОВАНИИ

Расчет и проектирование зданий на насыпных и подрабатываемых грунтах представляет собой актуальную задачу. Характеристики таких грунтов обладают значительными статистическими разбросами. Здесь рассматривается вероятностный метод расчета рам на упруго-податливом стохастическом основании. Предлагаемая методика позволяет обеспечить надежность конструкции рамного каркаса и производить обоснованные расчеты.

На рис. 1 представлен фрагмент некоторой системы с дискретными опорами на упруго-податливом основании.

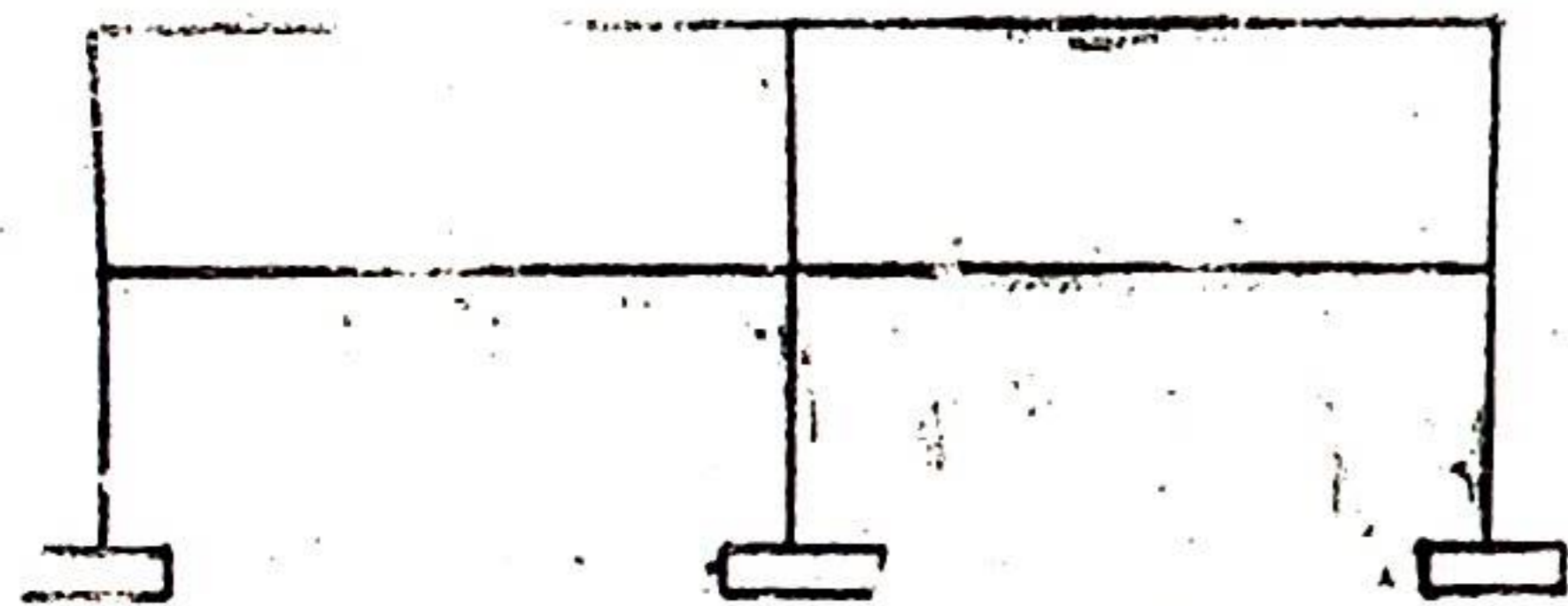


Рис. 1.

Пусть фундамент представляет собой жесткие прямоугольные штампы с размерами подошвы  $a \times b$ , где  $i = 1, 2, \dots, N_1$ ,  $i$  — номера опор,  $N_1$  — число опор, каждая опора имеет вертикальное перемещение  $\Delta_i$  и поворот на угол  $\varphi_i$ . Заменим  $i$ -ое упругое основание под фундаментом эквивалентной однопролетной балкой длиной  $l_i$  и жесткостью  $[EJ]_i$ . Как показано в [1] параметры  $l_i$  и  $[EJ]_i$  для  $i$ -го штампа выражаются через характеристики штампа и грунта под фундаментом. Пусть модуль деформации грунта

под  $i$ -ой опорой представляется в виде суммы детерминированной  $\bar{E}_i$  и некоторой центрированной гауссовской случайной величины  $\tilde{E}_i$ :

$$E_i = \bar{E}_i + \tilde{E}_i \quad (1)$$

Поскольку  $l_i$  и  $[EJ]_i$  являются функциями  $E_i$ , то, разлагая их в ряд Тейлора вблизи  $\bar{E}_i$  по степени  $\tilde{E}_i$ , и, ограничиваясь линейными по  $\tilde{E}_i$  членами, получим:

$$l_i = \bar{l}_i + \tilde{l}_i$$

$$[EJ]_i = [\bar{E}J]_i + [\tilde{E}J]_i, \quad (2)$$

где  $l_i$  — функции  $\bar{E}_i$  и не зависят от  $\tilde{E}_i$ . Предположим, что вектор внешней нагрузки  $\vec{P}$  содержит случайную составляющую, т. е.

$$\vec{P} = \vec{P} + \vec{\tilde{P}}. \quad (3)$$

Расчет рамы выполним методом перемещений. Пронумеруем некоторым образом фиктивные связи и стержни конструкции и обозначим через  $\Omega$  множество номеров фиктивных связей. Если имеются  $N$  фиктивных связей, то элементами множества  $\Omega$  являются числа  $1, 2, \dots, N$ . Аналогично, введем множество номеров стержней  $\Phi = \{1, 2, \dots, L\}$ .

Выделим в  $\Omega$  и  $\Phi$  по подмножеству  $\Omega_1$  и  $\Phi_1$  соответственно следующим образом:

$\Omega_1 \subset \Omega$  — множество номеров фиктивных связей для узлов, примыкающих к опорным балкам;

$\Phi_1 \subset \Phi$  — множество номеров стержней опорных балок. Для каждого  $p \in \Phi_1$  обозначим  $i_p \in \Omega_1$  номер фиктивной связи в узле, к которому примыкает стержень с номером  $p$ .

Запишем систему канонических уравнений метода перемещений в матричной форме:

$$R \cdot \vec{Z} = \vec{G}, \quad (4)$$

где  $R = \{r_{ik}\}$  — матрица реакций фиктивных связей в основной системе;

$\vec{Z} = \{z_i\}$  — вектор неизвестных перемещений;

$\vec{G} = \{g_i\}$  — вектор реакций фиктивных связей от внешней нагрузки.

Из (3) следует, что для вектора  $\vec{G}$  имеет место представление

$$\vec{G} = \vec{\bar{G}} + \vec{\tilde{G}}. \quad (5)$$

Далее, поскольку элементы матрицы  $R$  есть функции длин и жесткостей стержней рамы (включая стержни опорных балок) из (2) следует, что матрица  $G$  тоже может быть представлена в виде

$$R = \vec{\bar{R}} + \vec{\tilde{R}}, \quad (6)$$

где  $\vec{\bar{R}}$  — матрица коэффициентов канонических уравнений для расчетной модели в случае отсутствия случайных составляющих у параметров опорных балок, а матрица  $\vec{\tilde{R}}$  обращается в нулевую при  $\tilde{\Gamma}_i = 0$ ,  $[EJ]_i = 0$ ,  $i \in \Phi_1$ .

Поскольку только параметры стержней опорных балок имеют случайные составляющие, очевидно, что  $\tilde{\Gamma}_{ii} \neq 0$  только при  $i \in \Omega_1$

$$\Gamma_{ij} = 0 \quad \text{при} \quad i \neq j. \quad (7)$$

Таким образом для ненулевых элементов матрицы  $\vec{\tilde{R}}$  в линейном по  $\vec{E}_i$  приближении справедливо представление

$$\Gamma_{ii} = \beta_i \vec{E}_i, \quad i \in \Omega_1. \quad (8)$$

С учетом соотношений (5) и (6) запишем (4) в виде

$$(\vec{\bar{R}} + \vec{\tilde{R}}) \vec{Z} = \vec{\bar{G}} + \vec{\tilde{G}}. \quad (9)$$

Вектор перемещений отсюда равен

$$\vec{Z} = (\vec{\bar{R}} + \vec{\tilde{R}})^{-1} (\vec{\bar{G}} + \vec{\tilde{G}}). \quad (10)$$

Обозначив  $\vec{Z} = \vec{\bar{R}}^{-1} \vec{\bar{G}}$  перепишем выражение для  $Z$ , обозначив  $\vec{\tilde{Z}} = \vec{\bar{R}}^{-1} \vec{\tilde{G}} - \vec{\bar{R}}^{-1} \vec{\tilde{R}} \vec{Z}$ , получим  $\vec{Z} = \vec{\bar{Z}} + \vec{\tilde{Z}}$ .

Для определения окончательной эпюры моментов  $\vec{M}$  необходимо матрицу единичных эпюр  $M_{eg}$  умножить на вектор  $\vec{Z}$  и сложить с  $\vec{M}_p$  — вектором изгибающих моментов от внешних сил в основной системе:

$$\vec{M} = M_{eg} \vec{Z} + \vec{M}_p. \quad (11)$$

Матрица  $M_{eg}$  состоит из  $N$  (число фиктивных связей) столбцов и 2-х  $L$  строк по числу концевых сечений стержней рамы, причем только элементы, соответствующие фиктивным связям узлов, примыкающих к опорным балкам и стержням опорных балок, содержат случайные составляющие.

Записываем как и выше

$$M_{eg} = \vec{\bar{M}}_{eg} + \vec{\tilde{M}}_{eg}. \quad (12)$$

Представление результирующего вектора изгибающих моментов в виде разложения по случайным величинам лежит в основе построения корреляционной матрицы для внутренних усилий при наличии случайных составляющих внешней нагрузки и параметров основания.

Для упрощения выкладок примем, что внешняя нагрузка детерминирована, т. е.

$$\vec{\tilde{G}} = 0; \quad \vec{\tilde{M}}_p = 0. \quad (13)$$

Тогда

$$\vec{M} = M_{eg} \vec{Z} = M_{eg} \vec{\bar{R}}^{-1} \vec{\tilde{R}} \vec{Z} + M_{eg} \vec{\bar{Z}} + \vec{M}_p. \quad (14)$$

Обозначим, как и выше, среднее значение вектора моментов через  $\vec{M}$ , а его случайную составляющую через  $\vec{\tilde{M}}$ .

Из (14) получим  $\vec{M} = \vec{\bar{M}}_{eg} \vec{\bar{Z}} + \vec{M}_p$

$$\vec{\tilde{M}} = -\vec{\bar{M}}_{eg} \vec{\bar{R}}^{-1} \vec{\tilde{R}} \vec{\bar{Z}} + \vec{\tilde{M}}_{eg} \vec{\tilde{Z}}. \quad (15)$$

Выразим компоненты вектора случайной составляющей результирующего момента  $\vec{\tilde{M}}$  через случайные составляющие модулей деформаций грунта  $\vec{E}_i$ .

Если пренебречь коррелированностью деформационных

свойств основания под различными опорами, то корреляционная матрица для случайных величин  $\tilde{E}_i$  имеет вид:

$$(K_E)_{i,j} = D_i \delta_{ij}, \quad (16)$$

где  $\delta_{ij}$  — символ Кронекера,  $D_i$  — определяемая по экспериментальным данным о неоднородном основании дисперсия значения  $E_i$ .

Соотношение (16) является необходимой исходной статистической информацией. Корреляционная матрица для моментов в двух различных стержнях рамной конструкции имеет вид:

$$(K_M)_{n,l} = \sum_{i \in \Omega_1} D_i V_{n,i} V_{l,i}. \quad (17)$$

По методике, изложенной в [1], определим все расчетные параметры для опорных фиктивных балок (рис. 2).

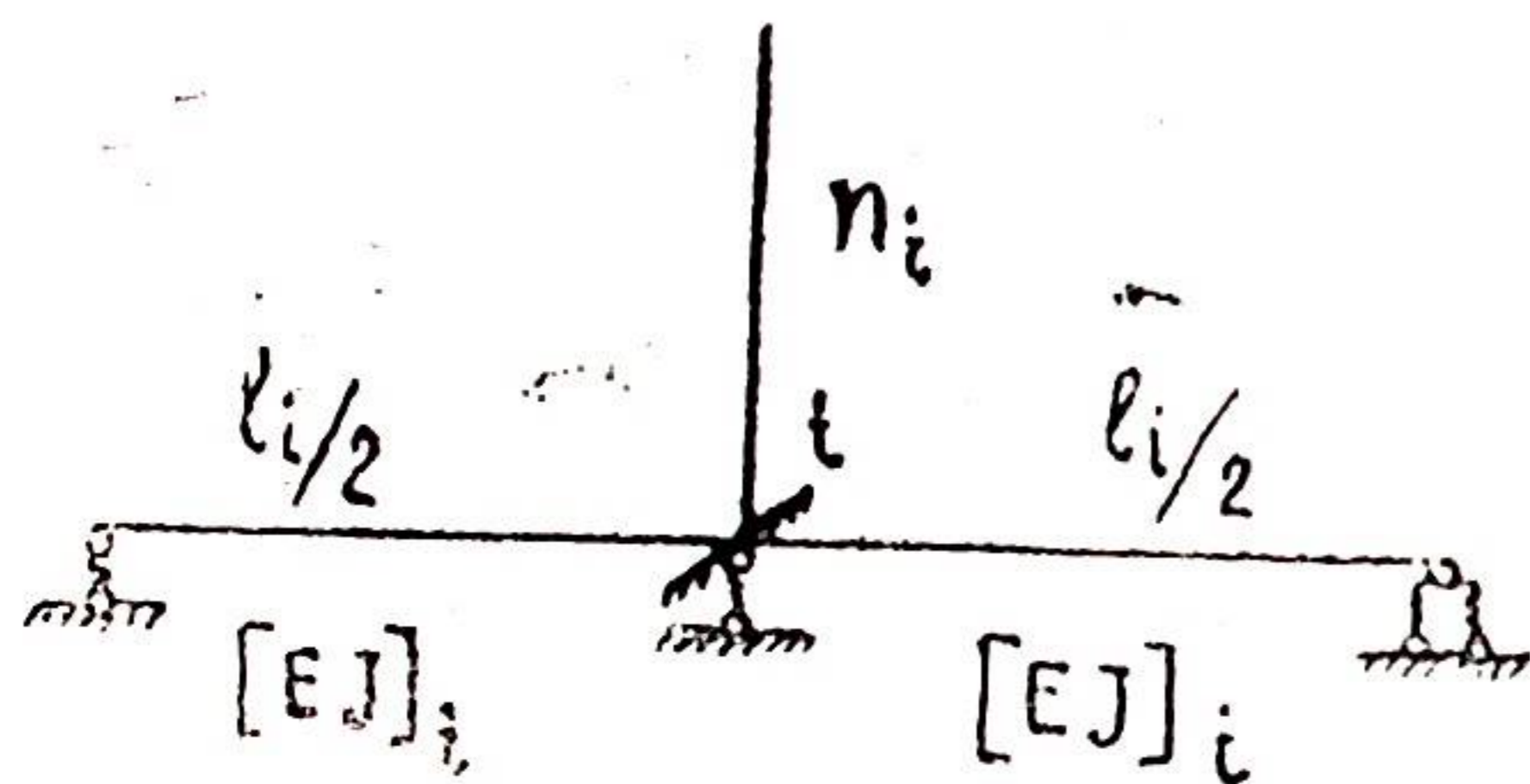


Рис. 2.

Сохраняя обозначения, использованные в [1], имеем

$$l_i = \sqrt{\frac{12 J K_{\varphi i}}{F_i 3 K_{z i}}}$$

$$[EJ]_i = \frac{J_i l_i K_{\varphi i}}{12}. \quad (18)$$

Подставляя в (18) выражения для  $K_{z i}$ ,  $K_{\varphi i}$  из [1], получаем

$$l_i = \sqrt{\frac{4 J_i \omega_{\varphi i}}{F_i \omega_{z i}}}, \quad i \in \Omega_1.$$

Длина фиктивного стержня  $l_i$  не зависит от  $E_i$  и, следовательно, является величиной детерминированной.

В соответствии с обозначениями, принятыми в [1],

$$l_i = \bar{l}_i, \quad \tilde{l}_i = 0, \quad i \in \Omega_1.$$

Далее из формул для  $K_{z i}$ ,  $K_{\varphi i}$  из [1], имеем:

$$[EJ]_i = [\bar{EJ}]_i + \gamma_i \tilde{E}_i; \quad [\bar{EJ}]_i = \frac{J_i \bar{l}_i \omega_{\varphi i}}{\sqrt{F(1-\mu_i^2)} 12} \bar{E}_i,$$

где

$$\gamma_i = \frac{J_i \bar{l}_i \omega_{\varphi i}}{\sqrt{F(1-\mu_i^2)} 12}. \quad (19)$$

Выражения (19) дают искомые соотношения для параметров балок. Определим теперь коэффициенты  $\beta_i$ , входящие в (17). Они определяются как коэффициенты пропорциональности в (8). Для матричного элемента  $r_{ii}$  канонической матрицы в методе перемещений имеем

$$r_{ii} = \bar{r}_{ii} + \tilde{r}_{ii} = \frac{4[EJ]n_i}{ln_i} + 2 \frac{3[EJ]_i}{l_i/2}; \quad i \in \Omega_1, \quad (20)$$

где  $n_i$  — номер вертикального стержня, примыкающего к узлу  $i$  (рис. 2). Учитывая, что  $[EJ]n_i$ ,  $ln_i$ ,  $l_i$  величины детерминированные, подставим в (20) соотношение (19)

$$r_{ii} = \frac{4[EJ]n_i}{ln_i} + \frac{12[EJ]_i}{l_i} + \frac{12\gamma_i}{l_i} \tilde{E}_i \quad (21)$$

или

$$r_{ii} = \frac{12\gamma_i}{l_i} \tilde{E}_i.$$

Сравнивая это равенство с (8), находим

$$\beta_i = \frac{12\gamma_i}{l_i} = \frac{J_i \omega_{\varphi i}}{\sqrt{F(1-\mu_i^2)}}. \quad (22)$$

Приводится пример расчета одноэтажной четырехпролетной рамы, нагруженной по ригелю равномерно распределенной нагрузкой и боковой горизонтальной нагрузкой. В результате расчета на ЭВМ ЕС-1022 получены графики средних значений и стандартов изгибающих моментов в зависимости от отношения радиусов жесткости ригеля и колонны  $\Delta = \frac{i_p}{i_k}$ .

Делается вывод, что расчетные изгибающие моменты в значительной степени зависят от статистических неоднородностей основания. Варьируя параметр  $\Delta$ , можно учитывать максимумы и минимумы изгибающего момента для рационального армирования рамного каркаса.

Приведен график отношения стандарта изгибающего момента к среднему его значению в зависимости от  $\Delta$  для трех видов корреляционной матрицы модуля общей деформации грунта. Модель случайной функции и коррелированных случайных величин жесткости основания дает меньшие значения изгибающих моментов. Поэтому в практике проектирования рамных каркасов с учетом статистических неоднородностей жесткости грунтов проще пользоваться моделью некоррелированных случайных величин, поскольку при этом необходимая статистическая информация в грунтах дается относительно легко.

Предложенная методика позволяет производить расчеты на ЭВМ любых многоэтажных рам на статистически неоднородных грунтах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Клепиков С. Н. Расчет конструкций на упругом основании. — Киев: Будивельник, 1967.

УДК 624.131.(470.67)

Инженерно-геологические проблемы строительства гидроузлов в Дагестане. Новиков Н. Ф., Пирогов И. А., Толмачев Л. Л. — Сб. «Инженерно-геологические особенности Дагестанской АССР в связи с промышленным и гидротехническим строительством». Тр. ИГ Даг. ФАН СССР, 1984, вып. 28, стр. 5—12.

Излагаются основные проблемы строительства гидроузлов в сложно построенном и тектонически активном регионе альпийской складчатости. Рис. 2.

УДК 624.131; 626/627(470.67)

Проблемы инженерной геологии гражданского и промышленного строительства в Дагестанской АССР. Магомедов М. Г., Ревякина Р. Ф. [Дгебуадзе Н. А.] — Сб. «Инженерно-геологические особенности Дагестанской АССР в связи с промышленным и гидротехническим строительством». Тр. ИГ Даг. ФАН СССР, 1984, вып. 28, стр. 13—15.

Рассматриваются первоочередные задачи по улучшению инженерно-геологической обеспеченности объектов гражданского и промышленного строительства на территории Дагестанской АССР.

УДК 624.131; 551.49; 711.455(470.67)

Инженерно-геологические и гидрогеологические проблемы курортного строительства на Дагестанском побережье Каспийского моря. Магдиев Б. Н., Магомедов А. Х., Тагиров Б. Д. — Сб. «Инженерно-геологические особенности Дагестанской АССР в связи с промышленным и гидротехническим строительством». Тр. ИГ Даг. ФАН СССР, 1984, вып. 28, стр. 16—20.

Приводится краткая характеристика инженерно-геологических и гидрогеологических условий и ставится вопрос комплексного изучения побережья Каспийского моря для целей курортного строительства с учетом охраны окружающей среды.

УДК 624.131.626.81 (470.67)

Инженерно-геологические и гидрогеологические проблемы гидромелиоративного строительства в Терско-Сулакской низменности. Запороженко Э. В., Андришин М. А., Дербинян Г. А. — Сб. «Инженерно-геологические особенности Дагестанской АССР в связи с промышленным

и гидротехническим строительством». Тр. ИГ Даг. ФАН СССР, 1984, вып. 28, стр. 21—28.

На основе многолетнего опыта «Севкавгипроводхоза» рассмотрены инженерно-геологические и гидрогеологические вопросы, связанные с расчисткой почв, защитой от разливов, а также пути повышения эффективности изыскания. Библ. — 5 назв.

УДК 624.131.3

**Теоретические основы оптимизации инженерно-геологических изысканий.** Загиров Ш. Ш. — Сб. «Инженерно-геологические особенности Дагестанской АССР в связи с промышленным и гидротехническим строительством». Тр. ИГ Даг. ФАН СССР, 1984, вып. 28, стр. 29—46.

Приводятся особенности оптимизации инженерно-геологических изысканий с учетом совместной нормативной надежности инженерных решений, принимаемых при проектировании системы фундамент—основание, предлагается иерархия системы оптимизации и даются принципы ее осуществления. Рассмотрен способ оценки оптимальных объемов разведки и опробования с учетом затрат на фундаменты, дается численный пример. Рис. — 2, библ. — 25 назв.

УДК 553.042; 624.131(470.67)

**Перспективы развития минерально-сырьевой базы промышленности строительных материалов Дагестана.** Керимов Г. К., Магомедов К. К., Чесноков А. В., Моллаев И. К. — Сб. «Инженерно-геологические особенности Дагестанской АССР в связи с промышленным и гидротехническим строительством». Тр. ИГ Даг. ФАН СССР, 1984, вып. 28, стр. 47—58.

Приводятся данные о ресурсах строительных материалов и необходимости расширения существующей минерально-сырьевой базы, для чего рекомендуется комплексный подход, позволяющий своевременно учитывать влияние преодоления дефицита в одной отрасли на положение в другой, интенсификации добычи строительного сырья на состояние земельных угодий, особенно в зоне орошения. Без учета указанных факторов не может быть решена проблема рационального использования минеральных ресурсов и охраны окружающей природной среды.

УДК 679.85(470.67)

**Состояние и перспективы расширения сырьевой базы природного облицовочного камня в связи с развитием строительства в Дагестанской АССР.** Аксенов В. В. — Сб. «Инженерно-геологические особенности Дагестанской АССР в связи с промышленным и гидротехническим строительством». Тр. ИГ Даг. ФАН СССР, 1984, вып. 28, стр. 59—63.

Приводится краткая характеристика месторождений и проявлений облицовочного камня в ДАССР, а также площадей, перспективных на выявление новых декоративных разновидностей облицовочного камня.

УДК 552.76:553.60.4(470.67)

**Аллювий горных рек и отходы горнодобывающей промышленности Дагестана как сырье для изготовления декоративно-облицовочных плит.**

Керимов Г. К., Левина Т. В., Ревелис И. Л. — Сб. «Инженерно-геологические особенности Дагестанской АССР в связи с промышленным и гидротехническим строительством». Тр. ИГ Даг. ФАН СССР, 1984, вып. 28, стр. 64—68.

Изложена новая методика получения декоративно-облицовочных плит с использованием валунно-гравийного материала горных рек и отходов горнодобывающей промышленности Дагестана. Табл. — 1, библ. — 4 назв.

**Влияние крупности заполнителя на свойства гидротехнического бетона.** Ибрагимов А. М., Алиев И. А., Сайпудинов М. М. — Сб. «Инженерно-геологические особенности Дагестанской АССР в связи с промышленным и гидротехническим строительством». Тр. ИГ Даг. ФАН СССР, 1984, вып. 28, стр. 69—71.

Рассматривается влияние крупности заполнителя на свойства гидротехнического бетона. Увеличение крупности заполнителя до 80 мм приводит к уменьшению расхода цемента на 10—12%, повышение прочностных и деформативных характеристик бетона. Табл. — 1, библ. — 4 назв.

УДК 620.192.3; 621.926

**Влияние структурных особенностей карбонатных пород на технологические характеристики продуктов дробления.** Ибрагимов А. М. — Сб. «Инженерно-геологические особенности Дагестанской АССР в связи с промышленным и гидротехническим строительством». Тр. ИГ Даг. ФАН СССР, 1984, вып. 28, стр. 72—77.

Установлена связь технологических характеристик продуктов дробления от структурных особенностей карбонатных пород, что позволяет выбирать оптимальное технологическое оборудование для дробления и обогащения заполнителей, обеспечивает снижение расхода цемента и повышение качества бетона. Табл. — 2, рис. — 1, библ. — 5 назв.

УДК 550.81 (470.67)

**Современные геологические процессы в Горном Дагестане и условия их развития.** Тагиров Б. Д. — Сб. «Инженерно-геологические особенности Дагестанской АССР в связи с промышленным и гидротехническим строительством». Тр. ИГ Даг. ФАН СССР, 1984, вып. 28, стр. 78—83.

Приводится анализ условий развития современных экзогенных геологических процессов в Горном Дагестане и ставится вопрос о необходимости их прогнозирования.

УДК 550.81; 551.448:626/627 (470.67)

**К вопросу распространения карста в районе строительства Ирганайского гидроузла.** Дибиров Д. А., Курбанов М. К. — Сб. «Инженерно-геологические особенности Дагестанской АССР в связи с промышленным и гидротехническим строительством». Тр. ИГ Даг. ФАН СССР, 1984, вып. 28, стр. 84—88.

Рассматриваются основные закономерности развития и распространения карста в Известняковом Дагестане. Установлена связь между химиз-

мом речных и подземных вод с интенсивностью развития карста. Библ. — 3 назв.

УДК 551.442; 624.131.6

**Связь анизотропии скорости упругих волн в глинистых породах с экзогенной трещиноватостью и макропористостью.** [Белый Л. Д., Гранит Б. А., Ляпунова Г. М. — Сб. «Инженерно-геологические особенности Дагестанской АССР в связи с промышленным и гидротехническим строительством». Тр. ИГ Даг. ФАН СССР, 1984, вып. 28, стр. 89—94.

Показана возможность решения ряда практических задач инженерной геологии сейсмоакустическими методами. Рис. — 2, библ. — 9 назв.

УДК 551.24:629.78+624.131 (470.67)

**Планетарная трещиноватость и линеаменты и их инженерно-геологическое значение.** Бунин Г. Г. — Сб. «Инженерно-геологические особенности Дагестанской АССР в связи с промышленным и гидротехническим строительством». Тр. ИГ Даг. ФАН СССР, 1984, вып. 28, стр. 95—100.

Показано, что скальное основание следует рассматривать не как монолит, а как анизотропное тело, состоящее из отдельных блоков различного ранга, способное в зависимости от напряженного состояния, резко изменять свои прочностные (физико-механические) свойства. Обусловлено это планетарной трещиноватостью и сеткой линеаментов. Необходимо разработать теорию и методику расчетов оснований, учитывающих влияние планетарной трещиноватости и внедрить ее в практику инженерно-геологических изысканий и проектирования сооружений. Рис. — 5, табл. — 1, библ. — 4 назв.

УДК 550.34.016 (470.67)

**Геологическое обоснование сейсмического районирования территории Дагестана.** Левкович Р. А., Дейнега Г. И., Каспаров С. А. — Сб. «Инженерно-геологические особенности Дагестанской АССР в связи с промышленным и гидротехническим строительством». Тр. ИГ Даг. ФАН СССР, 1984, вып. 28, стр. 101—109.

В отличие от традиционных сеймотектонических моделей предлагается модель сейсмогенеза, основанная на признании активной роли в нем флюидов. На примере Дагестанского клина рассмотрено пространственное соотношение локализации очагов землетрясений и разломной тектоники, которое показало отсутствие непосредственной связи между ними. Выдвигается рабочая гипотеза о локализации очагов землетрясений внутри растянутых блоков, отвечающих условиям высокой проницаемости для глубинного флюида. Библ. — 10 назв.

УДК 550.884:624.131.221

**Сейсморазведочные исследования майкопских глин Предкавказья.** Гранит Б. А. — Сб. «Инженерно-геологические особенности Дагестанской АССР в связи с промышленным и гидротехническим строительством». Тр. ИГ Даг. ФАН СССР, 1984, вып. 28, стр. 110—117.

Приведена оценка инженерно-геологических и гидрогеологических ус-

ловий залегания коры выветривания майкопских глин Центрального Предкавказья. На примере Кавказских минеральных вод и Калмыкии рассмотрены новые возможности сейсморазведочных методов при изысканиях под строительство и при работах по сейсмическому микрорайонированию.

Доказано, что сейсморазведочные наблюдения позволяют определить мощность коры выветривания, ее трещиноватость и обводненность. Рис. — 2, библ. — 7 назв.

УДК 624.131.3

**Оценка параметров развития процессов и оптимизация их исследований.** Загиров Ш. Ш. — Сб. «Инженерно-геологические особенности Дагестанской АССР в связи с промышленным и гидротехническим строительством». Тр. ИГ Даг. ФАН СССР, 1984, вып. 28, стр. 118—125.

Предложен общий подход к количественной оценке параметров развития процессов. Библ. — 4 назв.

УДК 550.34; 624.131

**Способ определения приращений сейсмической интенсивности по количественным инженерно-геологическим данным.** Назаров Г. Н. — Сб. «Инженерно-геологические особенности Дагестанской АССР в связи с промышленным и гидротехническим строительством». Тр. ИГ Даг. ФАН СССР, 1984, вып. 28, стр. 126—127.

Обосновывается способ определения приращений сейсмической интенсивности по прочностным показателям пород.

УДК 624.042.7:624.131.55

**Выбор рациональных площадок для строительства сейсмостойких зданий в г. Махачкале.** Абакаров А. Д., Крамынин П. И. — Сб. «Инженерно-геологические особенности Дагестанской АССР в связи с промышленным и гидротехническим строительством». Тр. ИГ Даг. ФАН СССР, 1984, вып. 28, стр. 128—145.

На основе исследования количественных характеристик ожидаемых землетрясений произведена оценка сейсмической опасности площадок строительства г. Махачкалы с различными грунтовыми условиями. Результаты использованы при выборе рациональных площадок строительства сейсмостойких зданий с различными конструктивными решениями. Предложенный метод позволяет повысить надежность зданий при сейсмических воздействиях и снизить затраты. Рис. — 7, табл. — 4, библ. — 13 назв.

УДК 551.245.1

**Методика определения критериев региональной оценки состояния массивов скальных пород при мелкомасштабных исследованиях в горноскладчатых областях.** Красилова Н. С., Пиотровская Т. Ю. — Сб. «Инженерно-геологические особенности Дагестанской АССР в связи с промышленным и гидротехническим строительством». Тр. ИГ Даг. ФАН СССР, 1984, вып. 28, стр. 145—152.

Рассматриваются критерии оценки состояния массивов, определяемые как формационными, так и постформационными особенностями. Прове-

денные исследования показали необходимость изучения орогенного преобразования массивов пород на стадии изыскания для любого строительства.

УДК 551.461; 624.131

**Уровненный режим Каспийского моря в связи с дальнейшим хозяйственным освоением его побережья.** Розанов Л. Л. — Сб. «Инженерно-геологические особенности Дагестанской АССР в связи с промышленным и гидротехническим строительством». Тр. ИГ Даг. ФАН СССР, 1984, вып. 28, стр. 153—160.

На основе рассмотрения колебаний уровня Каспия за 10 000 лет, 100 лет и 10 лет сделан прогноз о будущем уровненом режиме Каспийского моря. Исходя из динамики современных геоморфологических процессов, даны практические рекомендации о хозяйственном освоении побережья Каспия. Рис. — 1, библиография — 13 назв.

УДК 624.131.6 (470.67)

**Инженерно-геологические исследования набухающих грунтов равнинного Дагестана в связи с гидромелиоративным строительством.** Ананьев В. П., Передельский Л. В. — Сб. «Инженерно-геологические особенности Дагестанской АССР в связи с промышленным и гидротехническим строительством». Тр. ИГ Даг. ФАН СССР, 1984, вып. 28, стр. 161—166.

Приводятся результаты экспериментальных исследований набухающих грунтов Дагестана. Табл. — 2, библиография — 4 назв.

УДК 624.138; 624.138 (470.67)

**Техническое мелиорирование лёссовых грунтов уплотнением применительно к инженерно-геологическим условиям Дагестана.** Воляник Н. В., Зотов В. Д., Трусова С. В., Семенов А. И. — Сб. «Инженерно-геологические особенности Дагестанской АССР в связи с промышленным и гидротехническим строительством». Тр. ИГ Даг. ФАН СССР, 1984, вып. 28, стр. 167—176.

Приводятся результаты крупномасштабного полевого эксперимента по трамбованию лёссовых грунтов. Табл. — 5.

УДК 624.131.131 (470.67)

**Результаты системного подхода к изучению закономерностей формирования и изменения физико-механических свойств глинистых плиоцено-четвертичных отложений Каспийского моря в процессе литогенеза.** Ткачук Э. И. — Сб. «Инженерно-геологические особенности Дагестанской АССР в связи с промышленным и гидротехническим строительством». Тр. ИГ Даг. ФАН СССР, 1984, вып. 28, стр. 177—191.

Рассматриваются особенности поведения свойств глинистых пород как многокомпонентной системы. Выделены равновесные состояния системы, охарактеризованы взаимосвязи свойств, Рис. — 4, табл. — 6, библиография — 24 назв.

УДК 624.131.23 (470.67)

**Инженерно-геологические особенности районов распространения лёссовых просадочных грунтов в ДАССР.** Мозговой О. И. — Сб. «Инженер-

но-геологические особенности Дагестанской АССР в связи с промышленным и гидротехническим строительством». Тр. ИГ Даг. ФАН СССР, 1984, вып. 28, стр. 192—195.

Приводятся результаты исследований о распространении, мощности, свойствах, характеристике просадочности лёссовых грунтов и возможной величине просадки в основании зданий и сооружений. Полученные данные могут быть использованы в промышленном строительстве. Библиография — 2.

УДК 624.131.6; 534.64 (470.67)

**Инженерно-геологические и акустические свойства суглинистых грунтов междуречья Аргун-Хулхулау-Гумс.** Васильев В. А. — Сб. «Инженерно-геологические особенности Дагестанской АССР в связи с промышленным и гидротехническим строительством». Тр. ИГ Даг. ФАН СССР, 1984, вып. 28, стр. 196—200.

Рассматриваются прочностные, деформационные и акустические свойства суглинистых грунтов разновозрастных речных террас и приводятся результаты полевых испытаний грунтов шаровым штампом. Табл. — 2, библиография — 4 назв.

УДК 624.131.6

**Анализ результатов штамповых испытаний.** Разоренов В. Ф., Моргунов Э. М., Леденев В. В. — Сб. «Инженерно-геологические особенности Дагестанской АССР в связи с промышленным и гидротехническим строительством». Тр. ИГ Даг. ФАН СССР, 1984, вып. 28, стр. 201—205.

Анализируются результаты полевых и лабораторных штамповых испытаний. Рис. 3, библиография — 2 назв.

УДК 624.131

**Распределение напряжений по подошве прямоугольного штампа на просадочных грунтах.** Улумиев М. А. — Сб. «Инженерно-геологические особенности Дагестанской АССР в связи с промышленным и гидротехническим строительством». Тр. ИГ Даг. ФАН СССР, 1984, вып. 28, стр. 206—209.

Рассматриваются результаты экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния лёссового просадочного грунта в естественном и в замоченном состоянии, при передаче давления через штампы конечной гибкости. Рис. — 6, библиография — 4 назв.

УДК 624.131

**Оценка статистической неоднородности оснований по результатам полевых исследований грунтов методами статического и динамического зондирования.** Айдаев А. С. — Сб. «Инженерно-геологические особенности Дагестанской АССР в связи с промышленным и гидротехническим строительством». Тр. ИГ Даг. ФАН СССР, 1984, вып. 28, стр. 210—215.

Приведена методика оценки статистической изменчивости параметров грунтового основания по результатам полевых исследований методами глубинного зондирования с использованием модели случайной функции. Методика основана на использовании теории функций случайных перемен-

ных и корреляционных зависимостей между параметрами основания и сопротивления зондированию.

В качестве случайного переменного рассматривается сопротивление погружению зонда в грунт (сопротивление зондированию  $P$  — при статическом зондировании, число ударов молота  $N$  — для погружения зонда на определенную глубину или осадка зонда от одного удара  $e$  — при динамическом зондировании), изменение которого по глубине основания рассматривается как стационарный или квазистационарный случайный процесс. Дан пример оценки статистической изменчивости плотности основания. Рис. — 2, библиография — 8 назв.

**Математическое моделирование сжимаемости грунта при компрессионных испытаниях.** Хилобок В. Г., Юдин А. В., Вагидов М. М. — Сб. «Инженерно-геологические особенности Дагестанской АССР в связи с промышленным и гидротехническим строительством». Тр. ИГ Даг. ФАН СССР, 1984, вып. 28, стр. 216—221.

Приведена методика обработки компрессионных испытаний грунта, выяснено влияние коэффициента пористости грунта на его деформационные свойства.

Анализ форм деформационных кривых грунтов некоторых районов Дагестана и Украины показывает, что формы всех кривых подчиняются единой закономерности. Установлена высокая точность аналитического описания деформационных кривых.

УДК 624.072.04

**Расчет плоских рам на статистически неоднородном упругом основании.** Давлетханова А. Д. — Сб. «Инженерно-геологические особенности Дагестанской АССР в связи с промышленным и гидротехническим строительством». Тр. ИГ Даг. ФАН СССР; 1984, вып. 28, стр. 222—228.

Предлагается вероятностный метод расчета рам на упругоподатливом стохастическом основании. Основание под фундаментом стоек заменяется однопролетными балками на упругих опорах эквивалентной длиной и жесткостью. Методика позволяет обеспечить надежность конструкций рам, производить обоснованные расчеты. Рис. — 2, библиография — 1 назв.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
1. Новиков И. Ф., Пирогов И. А., Толмачев Л. В. Инженерно-геологические проблемы строительства гидроузлов в Дагестане	5
2. Магомедов М. Г., Ревякина Р. Ф., Дгебуадзе Н. А. Проблемы инженерной геологии гражданского и промышленного строительства в Дагестанской АССР	13
3. Магдиев Б. Н., Магомедов А. Х., Тагиров Б. Д. Инженерно-геологические и гидрогеологические проблемы курортного строительства на Дагестанском побережье Каспийского моря	16
4. Запорожченко Э. В., Андрушин М. А., Дербинян Г. А. Инженерно-геологические и гидрогеологические проблемы гидромелиоративного строительства в Терско-Сулакской низменности	21
5. Загиров Ш. Ш. Теоретические основы оптимизации инженерно-геологических изысканий	29
6. Керимов Г. К., Магомедов К. К., Чесноков А. В., Моллаев И. К. Перспективы развития минерально-сырьевой базы промышленности строительных материалов Дагестана	47
7. Аксенов В. В. Состояние и перспективы расширения сырьевой базы природного облицовочного камня в связи с развитием строительства в Дагестанской АССР	59
8. Керимов Г. К., Левина Т. В., Ревелис И. Л. Аллювий горных рек и отходы горнодобывающей промышленности Дагестана как сырье для изготовления декоративно-облицовочных плит	64
9. Ибрагимов А. М., Алиев И. А., Сайпудинов М. М. Влияние крупности заполнителя на свойства гидротехнического бетона	69
10. Ибрагимов А. М. Влияние структурных особенностей карбонатных пород на технологические характеристики продуктов дробления	72
11. Тагиров Б. Д. Современные геологические процессы в Горном Дагестане и условия их развития	78
12. Дибиров Д. А., Курбанов М. К. К вопросу распространения карста в районе строительства Ирганайского гидроузла	84
13. Белый Л. Д., Гранит Б. А., Ляпунова Г. М. Связь	237

анизотропии скорости упругих волн в глинистых породах с экзогенной трещиноватостью и макропористостью	89
14. Бунин Г. Г. Планетарная трещиноватость и линейменты и их инженерно-геологическое значение	95
15. Левкович Р. А., Дейнега Г. И., Каспаров С. А. Геологическое обоснование сейсмического районирования территории Дагестана	101
16. Гранит Б. А. Сейсморазведочные исследования майкопских глин Предкавказья	110
17. Загиров Ш. Ш. Оценка параметров развития процессов и оптимизация их исследований	118
18. Назаров Г. Н. Способ определения приращений сейсмической интенсивности по количественным инженерно-геологическим данным	126
19. Абакаров А. Д., Крамынин П. И. Выбор рациональных площадок для строительства сейсмостойких зданий в г. Махачкале	128
20. Красилова Н. С., Пиотровская Т. Ю. Методика определения критериев региональной оценки состояния массивов скальных пород при мелкомасштабных исследованиях в горноскладчатых областях	146
21. Розанов Л. Л. Уровенный режим Каспийского моря в связи с дальнейшим хозяйственным освоением его побережья	153
22. Ананьев В. П., Передельский Л. В. Инженерно-геологические исследования набухающих грунтов равнинного Дагестана в связи с гидромелиоративным строительством	161
23. Воляник Н. В., Зотов В. Д., Трусова С. В., Семенов А. И. Техническое мелиорирование лёссовых грунтов уплотнением применительно к инженерно-геологическим условиям Дагестана	167
24. Ткачук Э. И. Результаты системного подхода к изучению закономерностей формирования и изменения физико-механических свойств глинистых плиоцен-четвертичных отложений Каспийского моря в процессе литогенеза	177
25. Мозговой О. И. Инженерно-геологические особенности районов распространения лёссовых просадочных грунтов в ДАССР	192
26. Васильев В. А. Инженерно-геологические и акустические свойства суглинистых грунтов междуречья Аргун—Хулхулау—Гумс	196
27. Разоренов В. Ф., Моргун Э. М., Леденев В. В. Анализ результатов штамповых испытаний	201
28. Улумиев М. А. Распределение напряжений по подошве прямоугольного штампа на просадочных грунтах	206
29. Айдаев А. С. Оценка статистической неоднородности оснований по результатам полевых исследований грунтов методами статического и динамического зондирования	210
30. Хилобок В. Г., Юдин А. В., Вагидов М. М. Математическое моделирование сжимаемости грунтов при компрессионных испытаниях	216
31. Давлетханова А. Д. Расчет плоских рам на статистически неоднородном упругом основании	222

## ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДАГЕСТАНСКОЙ АССР В СВЯЗИ С ПРОМЫШЛЕННЫМ И ГИДРОТЕХНИЧЕСКИМ СТРОИТЕЛЬСТВОМ

Редактор *Гаджиева Т. Б.*  
Технический редактор *Романова А. В.*

Сдано в набор 25.06.1984 г. Подписано в печать 12.09.1984 г.  
С 04893. Формат 60×90<sup>1/16</sup>. Бумага типографская № 2. Гарнитура  
«Литературная». Печать высокая. Усл. печ. л. 15,0. Уч.-изд. л. 12,43.  
Тираж 500 экз. Заказ 410. Цена 53 коп.

Типография Дагфилиала АН СССР,  
Махачкала, 5-й жилгородок, корпус 10.