

6  
А-60

ГОССУРЭЙ СССР  
ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ И НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ПО ИНЖЕНЕРНЫМ ИЗЫСКАНИЯМ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

На правах рукописи

В.М. Гороховский

ПРИМЕНЕНИЕ ЭВМ ПРИ ОБРАБОТКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ  
ИНЖЕНЕРНО-МЕМОРАТИВНЫХ ИЗЫСКАНИЙ

Диссертация написана на русском языке  
Специальность 04.126 - инженерная геология,  
мерзлотоведение и грунтоведение

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

Москва - 1971

## В В Е Д Е Н И Е

В IX пятилетке в мелиоративное строительство намечается вложить 26,6 млрд. руб., сумму, вдвое превышающую вложения за все предыдущие годы. Темп прироста орошаемых земель, составивший в прошлом пятилетии 200-300 тыс. га в год, должен увеличиться до 600 тыс. га. Выполнение этих планов требует своевременного обеспечения строительства проектно-омерной документацией и невозможно без значительного повышения производительности труда при проведении геологических, почвенных, гидрогеологических, инженерно-геологических и других видов инженерно-мелиоративных изысканий.

Широкая механизация и внедрение различных косвенных методов (пенетрационных, геофизических и т.п.) обеспечивают неуклонный рост производительности труда на полевых работах. Иное положение с обработкой результатов изысканий. Освоение территорий с более тяжелыми и слабо изученными в мелиоративном отношении природными условиями (Сибирь, Дальний Восток), включение в орошение площадей с менее благоприятной мелиоративной обстановкой, возрастающие требования к глубине проектных проработок и, наконец, применение косвенных методов, приводящее к необходимости специальной интерпретации получаемых материалов, замедляют рост производительности труда. Это приводит к задержкам в получении обоснований к проектам, снижению их качества и удорожанию.

Одним из путей повышения производительности труда на обработке материалов инженерно-мелиоративных изысканий является применение современной вычислительной техники.



Однако накопленный опыт показывает, что использование ЭВМ в этой области далеко не всегда приводит к улучшению качества обработки и повышению производительности труда. Применение ЭВМ, если не считать информационно-поисковых систем (ИПС), имеет целью либо простое ускорение расчетов, либо проведение вычислений, которые "вручную" невыполнимы. Но так как вычислительные процедуры занимают в обработке материалов инженерно-мелиоративных изысканий незначительное место, их реализация на ЭВМ не может замстно оказать на обработке в целом.

Ограниченное применение ЭВМ объясняется низким уровнем математизации научных дисциплин, входящих в состав инженерно-мелиоративных исследований. А так как их математизация наталкивается на принципиальные трудности, рассчитывать на полную автоматизацию камеральной обработки в ближайшее время нереалистично. Поэтому в настоящей работе автор ставил следующие задачи.

1. На основании анализа процесса обработки материалов инженерно-мелиоративных изысканий выделить в нем участок, где применение ЭВМ может оказаться наиболее эффективным как с точки зрения ускорения, так и улучшения качества обработки. Не исключено, что в силу противоречивости требований ускорения и улучшения качества задачу повышения эффективности ЭВМ придется рассматривать как своеобразную задачу оптимизации. Тогда возникает вопрос о выборе критерия, ограничительных условий и т.д.

2. В соответствии с результатами решения первой задачи разработать и обосновать способ обработки материалов инженерно-мелиоративных изысканий, обеспечивающий достижение намечаемой цели — повышение эффективности использования ЭВМ.

3. Построить алгоритмы, реализующие предлагаемый способ при решениях конкретных инженерно-мелиоративных задач. Задачи должны быть достаточно типичными и как можно

более разнообразными по своему характеру.

Одной из основных причин, затрудняющих применение ЭВМ, являются неформальные процедуры приведения сложного геолого-литологического строения поверхностных отложений, основного объекта исследований, к простым расчетным схемам. Многоплановость изысканий (гидротехнические сооружения, защита почв от засоления и заболачивания, поселки, дороги и т.д.), их площадной характер (оросительные системы охватывают площади до сотен тыс.га), из-за которого при большом общем объеме анализируемой информации ее плотность в расчете на единицу площади невелика, делают эти процедуры чрезвычайно трудоемкими. Между тем, во многих случаях от них можно отказаться, перейдя к расчетам по фактическим геологическим, почвенным и т.п. разрезам. Возможность практической реализации предлагаемого подхода показана на решении пяти задач. Их постановке на ЭВМ предшествовала разработка ряда оригинальных алгоритмов, выполненная автором.

Полученные результаты внедрялись в практику в институте Дагипроводхоз. Поэтому в иллюстрациях используются материалы изысканий Дагипроводхоза на территории Ростовской области и Дагестанской АССР, а алгоритмы построены с учетом расчетных формул и методов, применяемых в Дагипроводхозе. Чтобы облегчить использование этих алгоритмов другими организациями с иными традициями в выборе расчетных методов и формул и иной вычислительной базой, в диссертации приводятся их оодержательные описания. Реализующие их программы составлены программистами Дагипроводхоза В.А. Волошиным, М.С. Залещенко, Э.К. Саломниковой, Э.С. Хазизовым и Д.Г. Яроцим. В составлении алгоритмов приняли участие Ю.Ф. Нефедьев (прогноз величины возможной просадки), Р.Н. Смирнов и В.М. Червяцова (обработка анализов водных вытяжек из почво-грунтов).

Диссертация, объемом 144 страницы, состоит из введения, трех глав и выводов. Она содержит 8 рисунков и 8

таблиц. Список литературы включает 206 наименований.

## Глава I. ТОЧЕЧНЫЕ МОДЕЛИ И ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ ИНЖЕНЕРНО-МЕЛИОРАТИВНЫХ ИЗЫСКАНИЙ

I. За последние 20-30 лет, благодаря многочисленным работам отечественных и зарубежных исследователей, математические методы и ЭВМ становятся обычным средством в геологических, гидрогеологических, инженерно-геологических и т.п. дисциплинах, входящих в состав инженерно-мелиоративных изысканий. На ЭВМ проводится статистическая обработка данных, решаются уравнения математической физики, интерпретируются результаты геофизических исследований, оцениваются запасы твердых и жидких полезных ископаемых, строятся карты, разрезы, организуются информационно-поисковые системы и т.д.

Тем не менее применение математических методов и ЭВМ в обработке материалов инженерно-мелиоративных изысканий наталкивается на ряд трудностей, из которых для рассматриваемого вопроса особенно важны две. Первая из них связана с недостаточным уровнем математизации соответствующих научных дисциплин, формальной некорректностью многих используемых в них понятий, определений, неразработанностью правил вывода и т.п. Возникающие вследствие этого затруднения, некоторые исследователи, например И.П. Шарпов (1971) считают их "почти непреодолимыми", делают результаты применения математики и ЭВМ "небесспорными" (Воронин и др., 1967). На практике это означает, что система обработки материалов, построенная только на ЭВМ, без участия человека, невозможна, что, впрочем, не исключает возможности эффективного использования ЭВМ для решения различных частных задач.

Вторая трудность вытекает из прикладного характера инженерно-мелиоративных исследований, целью которых всегда является оценка природных условий применительно к проекту сооружения, мероприятия и т.д. Используемый в инженерных расчетах математический аппарат не приспособлен для веде-

ния вычислений непосредственно по описаниям природных условий, отражающих нерегулярную изменчивость свойств, информация о которых имеется лишь в отдельных точках объекта. Существующие теоретические расчетные схемы используют, как правило, кусочно-однородные модели с небольшим числом границ разделов простейших геометрических форм (Рац, 1971). Поэтому описания объектов, представленные в обычном для геологии, инженерной геологии, почвоведения и т.п. дисциплинам виде, приходится преобразовывать в инженерные модели, допускающие проведение расчетов. При этом все многообразие природных условий "втискивается" в узкие рамки ограниченного числа расчетных схем. Поскольку эта мера вызвана отсутствием решений, учитывающих фактическое распределение свойств в пространстве, и характер информации о них, то нельзя ни оценить точность получаемых по инженерным моделям прогнозов, ни построить точные (формальные) процедуры схематизации. Каждая инженерная модель обосновывается субъективно: опытом, интуицией исследователя, его пониманием физико-механических процессов. Эти обстоятельства исключают возможность построения инженерных моделей с помощью ЭВМ и в значительной мере обесценивают их роль в обработке материалов, часто низводя их до уровня больших арифмометров. Например, при составлении схемы орошения Сарпинской низменности обширный материал, включавший среди прочего описание более 10 тыс. скважин, для обоснования дренажа был сведен к восьми расчетным схемам (Фишер, 1970). Затраты труда и времени на их выбор были столь велики, что реализация вычислений по выбранным схемам на аналоговых устройствах и ЭВМ не могла дать заметного эффекта в ускорении и удешевлении обработки материалов. Не могла она улучшить и качество рекомендаций, так как ошибки, связанные с выбором расчетных схем остались не оцененными.

Видимо, для того, чтобы упростить процедуры обработки, часто пытаются совместить описания природных усло-

вий, выполненные в традиционной форме какого-либо вида исследований, с инженерными моделями. Например, требуют, чтобы инженерно-геологические карты показывали "деление территории на регионы, области, районы, подрайоны и участки по признаку инженерно-геологических условий для данного вида строительства и хозяйственной деятельности" (Попов, 1959) или, чтобы агромелиоративное районирование было бы "не только районирование территории по характеру протекающих почвенных процессов и пестрых мероприятий, но и районированием самого комплекса мелиоративных мероприятий" (Федоров, 1953). Это лишь усложняет включение ЭВМ в процедуры обработки. Выбор расчетной схемы (инженерной модели) тесно связан с параметрами проектируемого мероприятия. Л.Д. Белый (1965) приводит пример, в котором количество выделяемых районов на одной и той же территории зависит от конструкции плотины. Как показано автором и М.О. Чабаном (1970), в гидрогеологических расчетах способ осреднения разреза должен учитывать параметры проектируемого мероприятия и изменяться при их изменении.

Можно показать, что схематизация должна учитывать параметры будущего мероприятия даже при простом геологическом строении. Например, участок, сложенный тяжелыми суглинками ( $K_{\phi}=0,1$  м/сутки) мощностью 2,5-3,5 м, которые подстилаются песками ( $K_{\phi}=11$  м/сутки), может быть вполне однородным по генезису, и его более дробное деление по геологическим соображениям нецелесообразно. Он остается однородным и по междренним расстояниям систематического горизонтального дренажа при глубине дрен менее 2,5 м или более 3,5 м, но оказывается неоднородным по междреньям при глубине дрен 2,5-3,5 м. Так, при глубине дрен 3,2 м междренье в зависимости от мощности суглинков изменяется в пределах участка от 150 м до 580 м.

Описываемые трудности объясняют причины сравнительно низкой эффективности ЭВМ на таких стадиях обработки ма-

териалов инженерно-мелиоративных изысканий, как построение моделей природных условий, переход от них к инженерным моделям и выполнение расчетов по последним. Те же причины заставляют рассматривать результаты вычислений, как более или менее грубые прикидки, подлежащие уточнению на основании имеющегося опыта, технологических, экономических и других соображений, и выделять, как особый этап, принятие решений, в котором многие процедуры пока тоже не поддаются формализации.

Каждый из этапов обработки может и должен явиться объектом для разработки подходов, позволяющих более эффективно применять ЭВМ. Однако вряд ли столь важная задача может быть решена в ограниченный срок тем более, что ее решение связано с преодолением серьезных трудностей. В реферируемой работе рассматривается переход от описаний природных условий к инженерным моделям и проведение по ним вычислений. Показывается также, что возможен автоматический переход от вычислений к принятию решения, когда процедуры принятия решений удается формализовать.

2. Отмеченные трудности заставляют ставить задачу повышения эффективности использования ЭВМ как задачу оптимизации, потребовав, например, чтобы повышение скорости обработки не сопровождалось ухудшением ее качества.

Если поставленную задачу удастся решить, качество проектных проработок возрастет, хотя бы из-за появляющейся возможности проведения расчетов для большого количества вариантов проектных решений. Более же строгие требования к качеству в формулировке задачи нереалистичны. При оценках качества обработки сразу приходится отказаться от попыток теоретического анализа точности прогнозов, получаемых по инженерным моделям, так как именно отсутствие строгих теоретических решений породило проблему схематизации. Могут не дать результатов и прямые сравнения ожидавшихся и достигнутых эффектов. Если прогноз оказался неточным, по-

мимо способа построения инженерной модели в этом могут быть повинны ошибки проектирования, строительства, эксплуатации и, наконец, оценки природных условий. Достижение намечаемого эффекта может быть связано с излишней гарантированностью (запасом), ведущей к излишним экономическим затратам (Руппенейт, 1971), инерционностью почвы как экологической системы, последствия воздействия на которую оказываются не сразу (Ковда, Захарьина, 1970) и т.д. Впрочем, существуют ситуации, когда суждение о качестве различных способов построения инженерных моделей, расчетных методов и формул представляются бесспорными. Например, в гидрогеологических задачах предпочтение отдается моделированию, позволяющему, пусть схематично, учесть обнаруженные неоднородности, хотя необнаруженные могут привести к более грубым ошибкам, чем те, которые возникли бы в этой ситуации при вычислениях по формулам. Здесь в сущности оценивается не качество методов, формул и т.п., а степень их обоснованности. Такой подход, обычный в аксиоматическом методе, сейчас все шире проникает в естественные науки (Налимов, 1971). Он позволяет разбить способы, методы, формулы на классы, внутри которых утверждения "данный способ обоснован не слабее альтернативного" поддаются точному анализу, и их справедливость или ошибочность строго доказываются. Например, метод расчета распределения напоров, предложенный автором и М.О. Чабаном (1970), обоснован не слабее, чем методы, использующие предпосылку Гиринского-Мятлева. Сохраняя в силе все остальные допущения и не привлекая никаких новых, он применим и там, где предпосылка Гиринского-Мятлева не выполняется.

Желание воспользоваться обоснованностью, как критерием при оценке качества, ограничивает возможности поиска, так как не все способы, методы и формулы сравнимы по обоснованности. Нельзя, например, сравнить методы равнопрочного откоса Н.Н. Маслова и круглоцилиндрических по-

верхностей откоса, которые при прогнозах устойчивости откосов опираются на совершенно различные допущения. Поэтому нужный способ перехода к инженерным моделям, если он будет найден, сохранит многие недостатки, присущие существующим способам. Но большая их часть связана с общим уровнем математизации соответствующих научных дисциплин и в ближайшее время неустранима. Зато способ, который не слабее обоснован, не нуждается в специальных проверках, если его альтернатива признается допустимой.

Теперь решаемую задачу можно сформулировать как разработку способа перехода от описаний природных условий к инженерным моделям, который обеспечил бы высшую производительность труда за счет эффективного использования ЭВМ и был бы обоснован не слабее, чем те, которые применяются сейчас.

3. Чем менее выдержано геологическое строение территории, тем оложней и субъективней выбор схематизирующей его структурной модели. По мере уменьшения площадной изменчивости он упрощается, становясь однозначным, когда все выработки вскрывают совершенно одинаковый разрез. Также обстоит дело, если на схематизируемом участке имеется только одна выработка. Вскрытый ею разрез чаще всего единственно возможная структурная модель.

Модель природных условий можно рассматривать, как совокупность структурных моделей. Строение каждой модели совпадает с фактическим разрезом, вскрываемым некоторой выработкой, и распространяется на ту часть объекта, на которую в описании природных условий распространяется информация, полученная по соответствующей выработке. Модели такого типа будем называть точечными (ТМ)

ТМ еще не инженерная модель, но она та универсальная основа, от которой переход к инженерной модели может осуществляться алгоритмически, как только заданы все необходимые для вычислений параметры. Проводимые с ней преоб-

разования сводятся к объединению соседних слоев, если они неразличимы с точки зрения решаемой задачи, и исключению частей описаний, не участвующих в расчетах. Ограниченность количества схем, имеющих теоретические решения, и представление их параметров в числовом виде гарантируют, что при рассмотрении любой задачи каждая ТМ будет либо приведена к конкретной расчетной схеме, либо будет установлено, что она не может быть приведена формальным образом ни к одной из имеющихся расчетных схем. В первом случае она приводится к соответствующей схеме и проводятся вычисления. Во втором — передается для неформальных рассмотрений и, в частности, на моделирование.

Для введения в ЭВМ все ТМ кодируются. Каждой геолого-литологической разновидности ставится в соответствие буква (число). Вместе с ТМ в ЭВМ вводятся таблицы расчетных значений физико-механических параметров грунтов. В них каждой литологической разновидности ставятся в соответствие расчетные величины коэффициента фильтрации, засоления, подвижных параметров и т.п. Таблицы снабжены номерами ТМ, к которым относится содержащаяся в них информация. Одна ТМ может упоминаться в нескольких таблицах, что соответствует различным вариантам расчетов по физико-механическим параметрам. Расчетные параметры назначаются по результатам районирования территории по природным условиям. Оно же определяет интерполяцию и экстраполяцию результатов вычислений. Аналогичным образом вводятся таблицы с необходимыми для расчетов параметрами проектируемых мероприятий — глубины дрен, нормы осушения и т.д. Им ставятся в соответствие списки ТМ. Участие одной ТМ в нескольких списках означает, что расчет должен вестись в нескольких вариантах. Вместо расчетных значений в таблицы физико-механических свойств можно включать уравнения регрессий, позволяющие по координатам выработок находить требуемые расчетные величины.

Предлагаемый способ можно рассматривать как распространение практики расчетов по геотехническим скважинам на площадные исследования. Он основывается на обычном допущении о возможности замены реальной среды средой кусочно-однородной (Гольдштейн, 1971; Кац, 1967; Маслов, 1968; Роговская, 1959; Харр, 1971). Но помимо преимуществ, достигаемых возможностью эффективного включения ЭВМ в процедуры обработки, он имеет и преимущества содержательного плана. Он допускает проверку гипотезы о плановой однородности. Если результаты вычислений по рядом расположенным ТМ резко различны, соответствующий участок нужно передать на моделирование. Если же расстояния между выработками намного превышают характерные размеры сооружения (мероприятия), то вычисления по ТМ представляются более естественными, чем дорасчетная типизация условий. Например, при расстояниях между выработками 1–2 км и колебаниях рассчитанных по соответствующим ТМ междреньям от 50 до 250 м правильнее выделять участки с разными междреньями, чем распространять на всю площадь некоторый средний результат, скрывающий ее неоднородность по междренным расстояниям. Если даже возникнет необходимость в назначении для всего участка одного междренья, знание их фактического распределения по площади сделает выбор более обоснованным. Применение ТМ предпочтительнее и со статистических позиций. Они позволяют распространить метод Монте-Карло на структурные особенности объектов и получать распределения решений, что практически всегда корректней и удобней, чем попытки суждений о распределении решений по распределениям исходных параметров. Например, после расчетов по ТМ обеспеченность (вероятность быть успешным) принятого решения легко оценивается непосредственно по распределению решений. Применение ТМ должно положительно сказаться на качестве районирования по природным условиям. Действительно, узкая специализация в описании природных условий, ориентация его на какие-либо конкретные мероприятия может привести к за-

труднениям при рассмотрении других мероприятий и вариантов, возникающих в ходе проектирования. Исключение из описания какого-либо признака, не используемого при проектировании, часто приводит к потере информации, которую этот признак может содержать о каком-нибудь из "нужных" свойств. Например, цвет грунта, его геоморфологическое положение и т.п. могут коррелироваться с его фильтрационными свойствами. Деление изучаемых признаков на "нужные" и "ненужные" на ранних стадиях обработки не всегда возможно. ТМ освобождает описания природных условий от необходимости специализироваться. Ограничения на объем информации, сообщаемой в модели прородных условий, диктуются только содержательными соображениями.

## Глава II. ПРИМЕНЕНИЕ ТОЧЕЧНЫХ МОДЕЛЕЙ К ИНЖЕНЕРНЫМ ЗАДАЧАМ

I. Описывается алгоритм и программа вычислений междренних расстояний систематического горизонтального дренажа. Предусматривается автоматическая подготовка ТМ к вычислениям, заключающаяся в объединении рядом расположенных слоев, если их коэффициенты фильтрации одинаковы, и исключении тех частей описаний, которые несущественны для решаемой задачи. По подготовленным ТМ по формальным признакам из фиксированного набора формул выбираются нужные формулы и проводятся вычисления.

Получен алгоритм оценки междренних расстояний для сложных разрезов, которые не приводятся к расчетным схемам имеющегося набора. Суть его легко понять из следующего примера. Пусть имеется разрез: С(6)П(12)Т(20)В, где С, П, Т, В — супеси, пески, суглинки и водоупор, цифры в скобках — глубины залегания подошв соответствующих слоев, а их коэффициенты фильтрации удовлетворяют неравенствам:  $K_C < K_P > K_T$  и  $K_C > K_T$ . Если для исходного разреза отсутствует теоретическое решение, его можно преобразовать в две группы разрезов: А. С(6)П(20)В; П(12)Т(20)В; Б. С(12)Т(20)В,

С(6)Т(20)В, С(6)П(12)В. В группе А слой с меньшим коэффициентом фильтрации замещается соседним слоем с большим коэффициентом фильтрации, а в группе Б — наоборот. Меньший из результатов вычислений междренних расстояний для группы А и больший для группы Б образуют интервал, который содержит истинное медренное расстояние для исходного разреза. Если он достаточно узок (позволяет принять решение о назначении искомого параметра), то в дальнейшей работе с исходным разрезом нужды нет. В противном случае он должен передаваться для "немашинного" анализа: осреднений, моделирования. В отличие от других упрощающих преобразований, например, виртуальных, которые тоже могут выполняться автоматически, предложенный алгоритм позволяет оценить погрешность в определении медренья. Она не может быть более длины оценочного интервала. Применение алгоритма резко сокращает количество ТМ, передаваемых для "немашинных" рассмотрений.

Предлагаемый подход, реализующие его алгоритмы и программа иллюстрируются примером, заимствованным из обоснования дренажа на системе им. Октябрьской Революции в Дагестанской АССР, площадь которой составляет 28 тыс. га. Вычисления были проведены по 400 ТМ в среднем в 20 вариантах по каждому. Варьировались норма осушения, инфильтрация, глубина дрен, величины коэффициентов фильтрации. Все вычисления вместе с кодированием описаний и построением результирующих карт заняли 2 недели у группы, состоящей из руководителя группы, ст. инженера и двух техников. Скорость вычислений около 10 описаний в минуту.

Параллельно велась обработка обычным способом. Сначала была составлена карта геолого-литологических комплексов. Потом выделенные 38 комплексов были сведены к 10 расчетным схемам и проведены вычисления. Выделение комплексов и сведение их к расчетным схемам — сложные и неформализуемые процедуры. Трудно, например, если вообще



возможно, выбрать расчетную схему для комплекса, представленного легкими и средними (реже тяжелыми) суглинками мощностью 2-8 м, подстилаемыми песками мощностью 1-7 м, залегающими на водоупоре. Поэтому не удивительно, что результаты, полученные с большими затратами труда и времени, менее детальные и доказательные, чем вычисления по ТМ.

Программа расчета междренних расстояний эксплуатируется в Джгипроводхозе более трех лет. За это время она использовалась для обоснования проектов оросительных систем им. Октябрьской Революции в Дагестанской АССР, Приморской, Дубенцовской, Миусской и других в Ростовской области, Палыничской АССР и Казахской ССР.

2. Описываются алгоритм и программа выбора оптимальной конфигурации профиля откоса. Алгоритм получен в предположении, что уклон профиля откоса, находящегося в состоянии предельного равновесия, в однородном слое является непрерывной положительной, невозрастающей функцией глубины и претерпевает разрывы только на границах слоев.

Профиль откоса, находящегося в состоянии предельного равновесия, имеет криволинейную, неудобную для строительства форму. Обычно его заменяют прямой, выбираемой так, чтобы не нарушалось равновесие откоса. "Платой" за это является дополнительные объемы работ по выемке грунта. Их можно сократить, заменив профиль в виде прямой профилем в виде ломаной, выбираемой так, чтобы устойчивость откоса охранялась. Количество подобных ломаных не ограничено. В работе рассматривается простейший в математическом и технологическом отношении случай, когда ломаная состоит из двух звеньев, подобранных так, чтобы, сохраняя устойчивость, она минимизировала объем выемки. Решение ищется среди ломаных, у которых уклон верхнего звена больше, чем у нижнего.

Полученный алгоритм может быть применен ко всем методам определения профилей откоса, для которых выпол-

няется исходное допущение. В частности, он "работает" для откосов, рассчитываемых по методу В.В. Соколовского (1942), а также для откосов в виде многозвенных ломаных. В программе реализуются расчеты по методу равнопрочного откоса Н.Н. Маслова (1968).

Алгоритм распространяется на расчеты по группе ТМ. Для получения одного типизирующего профиля откоса строится одна сводная ТМ. Для нее уклон откоса в каждой точке принимается равным самому меньшему из всех уклонов откосов, рассчитанных по данной группе ТМ. Он находится по парным сравнениям исходных уклонов. Сводный откос оптимизируется по тому же алгоритму, что и одиночный. Этот алгоритм показывает, что, если решающее правило точно сформулировано, процедуры принятия решений могут выполняться на ЭВМ непосредственно после вычислений без выдачи промежуточной информации.

В программе, кроме выдачи оптимизированного профиля, предусматривается подсчет объемов земляных работ для оптимизированного и прямолинейного профиля, оптимизация с условиями на выбор положения точки излома, уклонов звеньев и т.п. Расчеты показывают, что оптимизация приводит к сокращению объемов земляных работ на 5-10%, потерь земель за счет сокращения размеров каналов и дрен в свету — 3-5%. Сокращаются также расходы на противофильтрационные мероприятия, мостовые переходы и т.п. При ведущемся в стране массовом мелиоративном строительстве это должно дать значительный экономический эффект.

Программа использовалась при обосновании проектов Донской, Верхнесальской, Приморской и других оросительных систем в Ростовской области. В одну минуту проводится оптимизация по 15-20 ТМ.

Аналогичным образом можно построить алгоритмы оптимизации, учитывающие, например, стоимость земляных работ, размеры выемок поверху и т.д.

3. Описываются алгоритм и программа для прогноза

величины возможной просадки грунтов. Благодаря традиции, ставшей почти правилом, проводить расчеты по конкретным геологическим разрезам, применение ТМ в этой задаче представляется наиболее естественным. Строгая регламентация вычислительных процедур (СНиП П-Б.2-62) облегчает составление алгоритма. Эффективность применения ТМ подчеркивается тем, что вычисления на ЭВМ ведутся точно также, как и при ручном счете, но со скоростью около 100 ТМ в 3-5 минут.

Программа реализует вычисления просадки от собственного веса и под нагрузкой на фундаменты прямоугольной или круглой формы. Вычисления ведутся суммированием просадки в отдельных слоях сверху вниз до полного исчерпывания разреза, или до уровня грунтовых вод, если выработка их вскрывает, или, по специальному указанию, до некоторой глубины, выше уровня грунтовых вод. Она использовалась при обосновании проектов Верхнесальской и Приморской оросительных систем в Ростовской области.

### Глава III. ПРИМЕНЕНИЕ ТОЧЕЧНЫХ МОДЕЛЕЙ ПРИ РЕШЕНИИ НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧ "НЕИНЖЕНЕРНОГО" ХАРАКТЕРА

В отличие от предыдущих задач, рассматриваемые в этой главе, относятся скорее к стадии построения моделей природных условий.

I. Получен алгоритм статистического сравнения двух групп ТМ для решения вопроса об их адекватности, понимаемой как неразличимость по статистическим критериям представляемых ими объектов. Необходимость такого сравнения возникает достаточно часто, например, при решении вопроса о том, допустимо ли совместное использование материалов исследований, выполненных в разные годы или различными организациями или разными методами (например, данных пентрации с обычным бурением), одинаковы ли природно-мелиоративные условия различных участков и т.д. Положительные ответы означают возможность сокращения объемов и сроков изы-

сканий, перенесения опыта освоения одних территорий на другие и т.д. Иногда ответы очевидны. Например, описания, выполненные по шламму, не могут заменить почвенные разрезы или инженерно-геологические выработки, но столь бесспорные ситуации редки.

Содержащаяся в ТМ информация состоит из числовых величин (глубины до уровня грунтовых вод, мощности слоев и т.д.) и качественных признаков (наименований геолого-литологических разновидностей). Анализ первых ведется обычными статистическими методами путем сравнения распределений этих величин в каждой из групп (Бондаренко, 1971; Родионов, 1968; Шарпов, 1971). Для анализа по качественным признакам привлекаются частоты встречи различных геолого-литологических разновидностей в некоторых особым образом выбранных слоях. Система слоев такова, что в исследуемом интервале глубин внутри каждого слоя ни в одной из рассматриваемых ТМ не происходит смены литологии, и никакая другая подобная система с меньшим числом слоев невозможна. Это позволяет воспользоваться при сравнении ТМ  $\chi^2$ -критерием Пирсона, получать оценки для любых интервалов глубин, устанавливать, какие особенности описаний вызывают появление больших величин  $\chi^2$ -критерия. Иногда эти особенности удается устранить. Так, по сравнению с геологическими, в почвенных описаниях обычно утяжеляется состав грунтов. Если одит носит систематический характер и почвенные описания поддаются корректировке, они могут существенно дополнить геологические.

По алгоритму оставлена программа. С ее помощью статистический анализ двух групп, каждая из которых состоит из 150-200 описаний, занимает 5-10 минут. Программа использовалась на нескольких объектах. В реферируемой работе она иллюстрируется примером из материалов изысканий по оросительной системе им. Октябрьской Революции.

2. Получены алгоритм и программа для обработки ре-

результатов анализа водной вытяжки из почво-грунтов с целью классификации их по качеству, степени и глубине засоления (по Ковде, Егорову и др., 1960), определению запасов токсичных ионов, плотного остатка и гипотетических солей в генетических горизонтах и произвольных интервалах глубин (по Базелевич, Панковой, 1968), а также промывной нормы (по Волобуеву, 1959). Программа может также использоваться при классификации минерализации грунтовых вод. Обилие вычислений и логических операций, которые необходимо произвести для получения перечисленных выше данных по каждому почвенному разрезу, делают целесообразным их реализацию на ЭВМ. Подход, использующий ТМ, здесь вполне естественен, хотя в дальнейшем полученные результаты могут схематизироваться, типизироваться и т.п.

Основные трудности при составлении алгоритма заключались в формальной некорректности применяемых в почвоведении классификаций. Используемая классификация содержит всего девять типов засоления по анионам, и только эти типы классифицируются по степени засоления, а правило формирования их названий позволяет образовать 28 типов. В классификации по степени засоления возможны ситуации, когда один и тот же образец может быть отнесен к разным классам и т.д.

Все это намного осложнило составление алгоритма программы.

Программа эксплуатируется около двух лет. Она позволила, видимо, впервые проводить обработку анализов водных вытяжек из почво-грунтов в полном соответствии с действующими инструкциями. "Вручную" это сделать просто невозможно. Программа использовалась при обосновании проектов Приворской, Верхнесальской, Донской оросительных систем в Ростовской области и ряда проектов в Волгоградской, Астраханской областях, Тувинской автономной области, Дагестанской и Калмыцкой АССР. Среднее время вычислений по

одному описанию составляет 1 мин.

## ВЫВОДЫ

1. Эффективность использования ЭВМ при обработке материалов инженерно-мелиоративных изысканий может быть значительно повышена, если исключить неформальные процедуры перехода от описаний природных условий к инженерным моделям.

2. Для достижения этой цели вводятся точечные модели (ТМ), промежуточное звено между моделями природных условий и инженерными моделями. Модель природных условий предлагается рассматривать как совокупность ТМ, каждая из которых совпадает с фактическим разрезом, вскрываемым некоторой выработкой, и распространяется на часть природной модели, к которой относится информация, получаемая по соответствующей выработке. Важным преимуществом ТМ является то, что их построение, переход к инженерным моделям и вычисления по ним могут быть проведены алгоритмическим образом. Это обстоятельство является основным фактором повышения эффективности использования ЭВМ.

Применение ТМ существенно улучшает качество обработки, позволяя детальнее районировать территорию по параметрам мероприятий и оптимизировать проектные решения, включать в статистический анализ структурные особенности объектов, проверять состоятельность гипотезы о плановой однородности при инженерных расчетах. Одновременно должно улучшаться и качество описаний природных условий, которые, освобождаясь от необходимости приспособляться к расчетным схемам, становятся более естественными и точными.

3. Широкие возможности ТМ продемонстрированы на решении пяти задач: расчет междренних расстояний систематического горизонтального дренажа; выбор оптимальной конфигурации профиля откоса; прогноз величины возможной просадки; статистическое сравнение описаний разрезов выработок и обработка материалов анализов водных вытяжек при

почвенно-мелиоративных исследованиях. Для их реализации были разработаны системы кодирования геологических описаний и обеспечения их расчетными данными и ряд оригинальных алгоритмов, например, оценки междурений для сложных разрезов, когда отсутствуют теоретические решения, выбора оптимальной конфигурации профиля откоса выемки, как для одного разреза, так и по группе различных разрезов, статистического анализа качественных признаков в описаниях разрезов, классификации почво-грунтов по качеству и степени засоления.

Предлагаемый подход, реализующие его алгоритмы и программы были использованы при обосновании около 20 проектов мелиорации и оказались чрезвычайно эффективными.

Естественным развитием работы представляется расширение круга задач, решаемых с помощью ТМ, и создание библиотеки программ, которая может лечь в основу информационно-поисково-вычислительной системы (ИПВС). ИПВС в отличие от обычных ИПС позволит не только хранить, сортировать и проводить простейшую статистическую обработку информации, но и получать первичные проработки возможных проектных решений. Она является необходимым элементом любой автоматической системы проектирования инженерно-мелиоративных объектов.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Унифицированная подготовка данных инженерно-мелиоративных исследований к решению задач с применением и без применения ЭВМ. М-лы межведомственного совещания по мелиоративной гидрогеологии и инженерной геологии. Вып. 1 Минск, 1969

2. Внедрение эффективных процедур, как средство повышения производительности камеральных работ при инженерно-мелиоративных изысканиях. (Совместно с В.Н. Кульгасовым). Там же. Вып. II.

3. ЦМ и обработка материалов инженерно-мелиора-

тивных исследований. М-лы I-ой научно-технической конференции молодых специалистов. Южгипроводхоз, Ростов-на-Дону, 1970.

4. Определение коэффициентов фильтрации при откачках в установившемся режиме из п-слоного артезианского водоносного горизонта. (Совместно с М.О. Чабаном). Там же. 1970.

5. Исключение ошибок измерений при откачках. (Совместно с М.О. Чабаном). Там же.

6. Ранжирование геологических описаний и его использование при решении некоторых задач инженерной геологии статистическими методами. Инженерные изыскания в строительстве. Реф. сб. I(4) ГНИИИСа, 1970.

7. Опыт оставления алгоритма качественной характеристики засоления почв для почвенно-мелиоративных обоснований. (Совместно с Р.Р. Смирновым и В.М. Червяцовой). "Почвоведение", 1970, № 7.

8. Обработка материалов инженерно-мелиоративных исследований и применение ЭВМ. Тезисы докладов IV Всесоюзного делегатского съезда почвоведов. Книга четвертая. Алма-Ата, 1970.

9. Применение ЭВМ для обработки результатов анализа водных вытяжек из образцов почв и грунтов при почвенно-мелиоративных исследованиях. (Совместно с Р.Н. Смирновым и В.М. Червяцовой). Там же.

10. Применение ЭВМ при обработке материалов инженерно-мелиоративных исследований на примере расчета горизонтального систематического дренажа. Экспресс-информация ЦЕНТИ Минмелиоводхоза СССР, серия 6, вып. 7, 1970.

Результаты работы доложены на межведомственном совещании по мелиоративной гидрогеологии и инженерной геологии, октябрь 1969, Минск; научно-технической конференции молодых специалистов Южгипроводхоза, апрель 1970, Ростов-на-Дону; совещании по применению физического и математического моделирования в мелиоративных исследованиях и

проектировании сзкциии осушения земель и борьбы с засоле-  
нием орошаемых земель отделения гидротехники и мелиорации  
Академии сельскохозяйственных наук, ноябрь 1970, Москва.

№ 41136. 3.XI.1971 Offsetпечать Южгипроводхоза  
Зак. 148. Тир. 150