

034.6
С-75
49561

ТРУДЫ ИНСТИТУТА

СРЕДАЗГИПРО- ВОДХЛОПОК

1

ТАШКЕНТ
1971

631.6
С - 75

Министерство мелиорации и водного хозяйства СССР

ГЛАВСРЕДАЗИРСОВХОЗСТРОЙ

Ордена Трудового Красного Знамени институт

"СРЕДАЗГИПРОВОДХЛОПОК"

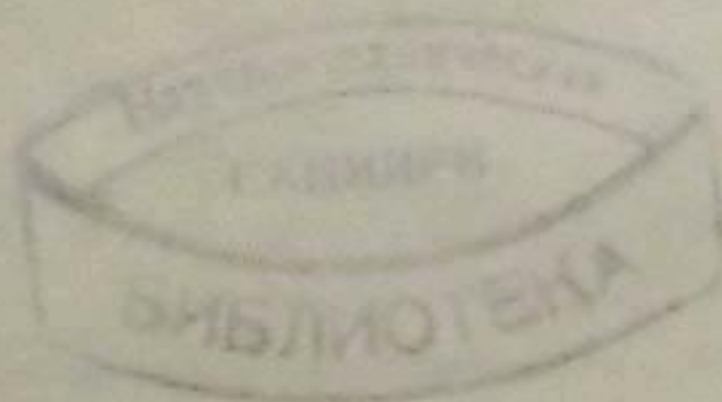
Т Р У Д Ы

института

49564 "Средазгипроводхлопок"

ВЫПУСК I

Изыскания, расчёты и научные исследования
в проектах орошения и освоения земель



Ташкент - 1971

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

В.И. Антонов (ответственный за выпуск),
Э.М. Бенъяминович, А.П. Воронов, Л.С. Литвак,
А.Р. Мансуров, А.А. Махров, Ф.Ш. Мухамеджанов,
Б.Н. Нейман, Е.М. Николаев, Э.Л. Окулич-Козарин,
Г.Н. Павлов, А.В. Петров, А.П. Прудников, Д.Ф. Солоден-
ников (ответственный секретарь), Л.А. Фриерман,
В.Р. Шредер.

П р е д и с л о в и е

Ордена Трудового Красного Знамени Среднеазиатский государственный проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт по ирригационному и мелиоративному строительству — "Средазгипроводхлопок" начинает выпуск тематических сборников трудов.

Организованный в 1929 г. Средазгипроводхлопок является старейшим в стране проектным институтом в области мелиорации и водного хозяйства. Работа его всегда была связана с осуществлением грандиозного плана развития ирригации в республиках Средней Азии и Южном Казахстане. Начало этого плана было заложено подписанным 17 мая 1918 г. В.И. Лениным декретом об организации оросительных работ в Туркестане. Встав на социалистический путь развития, под руководством Коммунистической партии Советского Союза ирригация Средней Азии, как основа сельского хозяйства, в особенности его ведущей отрасли — хлопководства, предала огромный по масштабу и значению путь развития. За годы Советской власти здесь осуществлялись крупные работы по повышению водообеспеченности оросительных систем, регулированию стока рек, освоению пустынных земель и реконструкции систем старого орошения, строительству гидроузлов, водохранилищ и насосных станций.

Вместе с тем, непосредственно участвуя в этих работах, рос и развивался институт "Средазгипроводхлопок". Сейчас институт входит в систему Главсредазирсовхозстроя и его внимание сосредоточено на важнейших объектах комплексного освоения новых земель в Голодной, Каршинской, Джизакской и Сурхана-Шарабадской степях.

Общая площадь орошения и освоения по этим массивам составляет свыше 1,5 млн. га. По проектам института строятся Андижанское водохранилище и Тахияташский гидроузел на Амударье, Квршинский магистральный канал. Перечисленные объекты строительства и освоения, по существу, определяют дальнейшее развитие сельского хозяйства Узбекистана и Средней Азии в целом. Эти работы, направленные на увеличение производства хлопка — главного богатства Советской Средней Азии, являются весомым вкладом в создание материально-технической базы коммунизма.

Средазгипроводхлопок, как ведущий проектно-исследовательский и научно-исследовательский институт, занимается всеми вопросами, связанными с проектированием указанных объектов. Институт постоянно работает в направлении широкого использования новейших достижений науки и передового опыта в области мелиорации земель, водохозяйственного строительства, комплексного освоения под орошаемое земледелие новых площадей, в направлении повышения экономической эффективности капитальных вложений. Институт совершенствует методы изысканий, исследований и проектирования, выполняет большой объем научно-исследовательских работ, главным образом в части натурной проверки проектных решений.

Выпуск настоящего сборника трудов мы рассматриваем как начало важного этапа в деятельности института. В нем помещены статьи по вопросам, связанным с изысканиями, расчетами и научными исследованиями в проектах орошения и освоения земель, над которыми институт работал в последние два-три года. В последующих сборниках предполагается публиковать статьи по вопросам проектирования, строительства и эксплуатации гидромелиоративных систем и гидротехнических сооружений, мелиорации и орошаемого земледелия, автоматизации и телемеханизации и другие.

Дирекция института и редакционная коллегия с благодарностью примут замечания по данному выпуску и пожелания, касающиеся улучшения тематических сборников трудов института, и учтут их при подготовке к изданию последующих выпусков.

Отзывы и пожелания просим направлять по адресу: Ташкент, II, Навои, 44, институт "Средазгипроводхлопок".

Директор института

Д. Терситский

Э.М. БЕНЬЯМИНОВИЧ

ИНСТИТУТ "СРЕДАЗГИПРОВОДХЛОПОК"

Центром поливного земледелия в СССР является Средняя Азия. На ее опыте формировалась школа советской ирригации, и в этом процессе видное место занимает Средазгипроводхлопок — старейший институт страны по ирригационно-мелиоративному проектированию.

До революции государственная разработка проектов орошения земель по бассейнам рек Туркестана проводилась отделом земельных улучшений Министерства земледелия с помощью изолированных проектно-изыскательских партий — Сырдарьинской, Ферганской, Самаркандской, Бухарской, Мургабской и др. Содержание и масштабы работ этих партий были весьма ограничены и направлены в основном на разработку общих схем орошения.

Усилия отдельных изыскательских партий, их замыслы, проектные схемы в условиях царского колониального режима оставались в большей своей части неосуществленными.

Составитель проектов орошения Голодной степи инженер Г.К. Ризван-кампф справедливо писал, что "царизм не понимал значения нашей работы. Временное правительство полностью приостановило работы, и только после Октябрьской революции мы встретили живой интерес к орошению Туркестана".

После Великой Октябрьской социалистической революции и опубликования в мае 1918г. известного декрета В.И. Ленина о развитии орошения в Туркестане было организовано несколько проектно-

изыскательских партий, задачи которых были значительно шире дореволюционных. Однако действовали они без единого методического руководства и решали в основном локальные задачи, связанные с восстановлением отдельных оросительных систем в крае.

В 1924г. в Ташкенте было организовано Главное управление водного хозяйства Средней Азии - Средазводхоз, который руководил строительством, эксплуатацией и проектированием. Здесь были разработаны проекты орошения земель Дальварзинской степи, плотины Рават Ходжа (им. 1 мая) на реке Эрафшан, сооружений на реке Арысь и ряда других объектов, построенных в 1927-1930гг.

В этот же период проектно-изыскательскими партиями Средазводхоза проводились изыскания в бассейне рек Чирчик-Ангрен-Келас с целью переустройства старых оросительных систем и орошения новых земель. В Ферганской области велись изыскания и составлялись проекты по восстановлению ирригации и орошению новых земель, в Самаркандской и Бухарской областях - по переустройству систем и также орошению новых земель. По этим проектам осуществлялись строительные работы. Вновь орошаемые земли передавались безземельным и малоземельным хозяйствам.

После образования советских социалистических республик Средней Азии были созданы республиканские управления водного хозяйства, которые продолжали проектно-изыскательские работы на территории своих республик.

В 1928г. восстановительный период в ирригации был в основном завершен. В годы первой пятилетки для обеспечения текстильной промышленности волокном отечественного производства намечалось ускоренное развитие хлопководства как по линии подъема урожайности, так и расширения орошаемых площадей.

Для широкого развертывания ирригационно-мелиоративных работ в республиках Средней Азии в 1929г. в Ташкенте была создана специальная организация по изысканию и проектированию водохозяйственных объектов - Государственный среднеазиатский ирригационный проектировочно-изыскательский трест - сокращенно Сазводпроиз, подчиненный Средазводхозу. В то время в нем работало 380 человек, в том числе 180 инженеров и техников. Техническое руководство в тресте возглавили А.Н.Аскочевский и В.В.Пославский.

После ликвидации Средазводхоза Сазводпром был реорганизован в институт "Средазводпроект"^I, и подчинялся он Министерству сельского хозяйства СССР.

В годы первых пятилеток Сазводпром вел крупные изыскания и составлял проекты орошения объектов в Ферганской долине, Голодной степи, Зарафшанской долине, в бассейне реки Сурхандарья, в низовьях Амударьи, в долине реки Чирчик и др.

Развитие ирригационно-мелиоративных работ в Средней Азии в этот период потребовало выполнения большого объема проектно-изыскательских работ и разработки общих схем использования водных и земельных ресурсов отдельных речных бассейнов. Сазводпром составлял схемы развития орошения по бассейнам рек Сырдарья, Чирчика, Ангrena, Сурхандарья и Амударьи, на основе которых разрабатывались проекты орошения по долинам рек и отдельным целинным массивам.

Для выполнения задач по подъему урожайности хлопчатника и других сельскохозяйственных культур потребовалось проектирование мероприятий по повышению водообеспеченности систем с гарантированным водозабором из рек, что было связано со строительством водозаборных узлов на реках и водохранилищах. На этом этапе была запроектирована Кампырраватская плотина на Карадарье, где применили принцип поперечной циркуляции, обеспечивающей эффективную борьбу с заилыванием донных наносов в магистральный канал. Запроектированы головные сооружения на многих других источниках орошения Ферганской долины и мероприятия по переключению питания ирригационных систем с маловодных источников на многоводные. Были выполнены значительные проектно-изыскательские работы по осушению заболоченных массивов и орошению новых земель, в частности составлены проекты системы Сарысуйских коллекторов и Ассакинского сброса в Ферганской долине, переустройства Шахрудской системы в Бухарской области.

Во второй пятилетке Сазводпром завершил составление локальной схемы развития орошения Ферганской долины, в которой предусматривалось строительство крупных магистральных оросительных каналов из Нарына и Карадарьи и устройство крупных водоотводящих

^I Позднее это название изменилось.

коллекторов, пересекающих всю Центральную Фергану, а также строительство на реках Ферганской долины ряда водохранилищ.

В третьей пятилетке развернулось широкое движение ферганских колхозников за "большую воду". Инициатором и организатором этого движения был Секретарь ЦК КП Узбекистана Усман Юсупов, большое участие и инициативу проявил Председатель Президиума Верховного Совета Узбекской ССР Юлдаш Ахунбабаев. Изыскатели и проектировщики института в этом народном движении приняли самое непосредственное и активное участие.

В период народного скоростного ирригационного строительства (1939-1942 гг.) институт в исключительно сжатые сроки провел изыскания, составил и осуществил проекты крупных каналов и сооружений.

Так, в Ферганской долине были запроектированы соединительный канал Ляган из реки Исфайрам в город Шахимардан, Большой Ферганский им. Усмана Юсупова, Северный Ферганский, Южный Ферганский, Куйганярская плотина, Уртатокейское водохранилище на реке Касансай; в Ташкентской области - Ташкентский канал им. Павленова и Северный Ташкентский канал "За Родину"; в Самаркандской области - Каттакурганское водохранилище в бассейне реки Зарафшан и Дамходжинский узел на его левом рукаве; в Хорезмской области - Ташсакинский магистральный канал из Амударьи; в Сурхандарьинской области - Гиссарский канал с переброской воды из реки Душанбинки (Таджикская ССР) в реку Каратаг.

Техническое руководство институтом с 1940 до 1962 г. осуществлял И. Д. Лебедев.

Во время Великой Отечественной войны, согласно постановлению Государственного Комитета Оборона СССР, институтом проводились изыскания и проектные работы по Фархадской плотине на реке Сырдарье и сооружениям деривации Фархадской ГЭС, а также по другим относительно небольшим объектам ирригационного строительства. В это же время были составлены две новые локальные схемы развития орошения в бассейнах рек Чирчик-Ангрен-Келев и в Голодной степи на территории Узбекской и Казахской ССР.

В послевоенный период институт выполнял задания по проектированию комплекса сооружений и каналов на реке Сох в Ферганской долине, по увеличению емкостей Уртатокейского и Каттакурганского

водохранилищ с наращиванием плотин, по реконструкции и развитию орошения в совхозах "Баят" на территории юго-восточной части Голодной степи и других объектов.

В 1951 г. Средазводпроект был реорганизован в Среднеазиатский институт по проектированию водохозяйственных объектов Министерства хлопководства СССР-Средазгипроводхлопок с филиалами в Узбекской, Таджикской, Туркменской, Киргизской и Казахской республиках.

В связи со значительным увеличением объема проектно-изыскательских работ республиканские филиалы Средазгипроводхлопка в 1953-1954 гг. были реорганизованы в самостоятельные республиканские институты по проектированию водохозяйственных объектов с подчинением их республиканским министерствам водного хозяйства. Созданные институты выросли в крупные проектно-изыскательские организации республик.

После ликвидации Министерства хлопководства СССР институт "Средазгипроводхлопок" вновь перешел в ведение Главводхоза Министерства сельского хозяйства СССР.

В 1950-1952 гг. институтом была разработана схема комплексного использования водных ресурсов в бассейне Сырдарьи и в это же время проектировались водохозяйственные мероприятия по улучшению водозаборов в магистральные каналы, в частности был составлен проект Ташкентской плотины на Сырдарье. После завершения строительства Кайраккумского водохранилища на Сырдарье (1955 г.), предусмотренного указанной схемой, появились условия для широкого развертывания оросительных работ в Голодной степи.

В 1952-1954 гг. институтом была составлена схема комплексного использования земельных и водных ресурсов бассейна Амударьи. В этот же период создавались локальные схемы по бассейнам рек Зерафшан и Кашкадарья. Одновременно для орошения пустынных, маршевых и целинных земель Шерабадской степи в Сурхандарьинской области институт составил проект Южно-Сурхандарьинского водохранилища и проекты двух больших каналов - Шерабадского магистрального с насосной станцией и реконструкции существующего канала Занг, а также оросительной системы.

В 1956 г. в институте был составлен технико-экономический доклад о дальнейшем направлении работ по орошению и освоению земель

Голодной степи. На основании этого документа, одобренного Госпланом СССР, ЦК КПСС и Советом Министров СССР 6 августа 1956 г. приняты решения о развертывании работ по орошению целинной зоны Голодной степи.

В настоящее время по объектам целинной зоны Голодной степи Среднеазиатгипроводхлопок является генеральным проектировщиком и ведет комплексное проектирование хлопковых совхозов на площади 300 тыс. га по ирригационно-мелиоративному строительству, инженерным коммуникациям, совхозному строительству и сельхозосвоению земель.

Большие проектно-изыскательские работы ведет институт в Каршинской степи. Институтом составлена схема развития орошения в Каршинской степи на площади 900 тыс. га.

Для комплексного орошения и освоения крупных земельных массивов в Средней Азии в 1963 г. было организовано Главное среднеазиатское управление по ирригации и строительству совхозов при Министерстве мелиорации и водного хозяйства СССР - Главсерадзирсовхозстрой с подчинением ему института "Среднеазиатгипроводхлопок". Это управление возглавили А.А.Саркисов и Е.И.Озерский.

Ныне институт вырос в крупнейшую проектно-изыскательскую и научно-исследовательскую организацию по комплексному проектированию водохозяйственных объектов для орошения и освоения крупных массивов земель в республиках Средней Азии, Южного Казахстана и в зарубежных странах. В Среднеазиатгипроводхлопке сейчас работает около 2500 человек, из них 1450 инженерно-технических работников.

За 41 год институтом выполнены проектно-изыскательские и научно-исследовательские работы в объеме 82 млн. руб.

За период своей деятельности институтом составлено большое количество отдельных проектов орошения и освоения новых земель и реконструкции старых систем на общей площади до 1,5 млн. га, из них в Вахской долине Таджикистана - 100 тыс. га, в Голодной степи - 300 тыс. га, в Каршинской степи - 200 тыс. га, на Сурхан-Шерабадеком массиве - 125 тыс. га, в Кызылкумской степи - 115 тыс. га. Большинство объектов построено или строится.

По проектам Среднеазиатгипроводхлопка в республиках Средней Азии и Казахстана построены и находятся в стадии строительства многие магистральные каналы с пропускной способностью до 300 м³/сек общей протяженностью более 1500 км. Построены и строятся 13 водо-

хранилищ общей емкостью свыше II млрд. м³, обеспечивающих орошение 1,4 млн. га. Построены крупные гидроузлы на реках для орошения около 2,5 млн. га.

В 1970г. закончены новые разработки комплексных схем использования земельных и водных ресурсов бассейнов рек Сырдарьи и Амударьи, а также технико-экономический доклад об орошении и освоении земель в бассейне реки Сурхандарьи.

Являясь генеральным проектировщиком, институт осуществляет общую координацию научно-исследовательских и проектно-исследовательских работ, выполняемых другими организациями, рассматривает рекомендации других институтов и внедряет их в производство.

Институт ведет исследования в области мелиорации, почвоведения, гидрогеологии и инженерной геологии, гидросооружений, конструкторские работы, разрабатывает методические указания, участвует в международных конгрессах и симпозиумах по ирригации и дренажу и др. Многие специалисты института печатают свои труды в периодических технических журналах, в специальных сборниках Академии наук УзССР.

В стенах института воспитались и выросли сотни инженерно-технических кадров. Многие из них выдвинуты на руководящую и научную работу в области изысканий, исследований, строительства и эксплуатации ирригационных систем и сооружений. Во всех проектных организациях нашей необъятной Родины трудятся воспитанники Связод-произа — Средазгипроводхлопка.

Ежегодное выполнение плана работ, своевременное обеспечение проектами комплексного водохозяйственного строительства, высокое качество проектов, новаторство, технический прогресс в мелиорации и гидротехнике на базе последних научных достижений выдвинули Средазгипроводхлопок в число передовых институтов Советского Союза. За большой вклад в развитие ирригации республик Средней Азии в 1967г. институт "Средазгипроводхлопок" награжден орденом Трудового Красного Знамени.

Генеральная линия института в области технической политики исходит из интенсификации сельскохозяйственного производства, особенно хлопководства, широкой механизации сельскохозяйственных процессов, индустриализации ирригационного, мелиоративного, производственного и жилищного строительства в совхозах с применением новой техники и автоматизации управления.

Если период, предшествовавший историческому постановлению ЦК КПСС и Правительства о развитии орошения в Голодной степи (1956г.), характеризовался в деятельности института ростом объема проектно-изыскательских работ, решением многочисленных, но в основном локальных задач ирригационного строительства и реконструкции, главным образом водохранилищ, головного и магистрального питания отдельных систем, то последующий период отличается не только ростом шири, но и углублением работ как в направлении технического прогресса в области оросительных мероприятий вообще и особенно борьбы с засолением земель орошаемой зоны Средней Азии, так и в области дальнейшего совершенствования проектирования водохранилищ, гидроузлов и гидросооружений.

Важнейшим этапом в деятельности института являются работы по целинной зоне Голодной степи. Эти работы были организованы на совершенно новых в практике орошения и освоения земель принципах под руководством Главголотностепястроа, а позднее Главсред-азирсовхозстроа.

Принципиально новое заключается в создании единой организации для комплексного строительства современных хлопковых совхозов и освоения новых земель с получением хозяйственного эффекта в процессе строительства. Крупные механизированные хлопковые хозяйства проектируются с высокой производительностью труда. Строительство осуществляется одновременно как в части ирригационно-мелиоративных объектов, так и в части производственных, жилых и культурно-бытовых зданий и сооружений и инженерных коммуникаций с одновременным осуществлением мероприятий по сельскохозяйственному освоению земель и временной эксплуатации построенных объектов.

Строительные работы почти полностью механизированы. Широко внедрена индустриализация ирригационно-мелиоративного, жилого и культурно-бытового строительства.

Итоги комплексного строительства и освоения целинных земель в Голодной степи за истекший период показывают, что принятые принципы проектирования новых оросительных систем в основном правильны, они отвечают техническому прогрессу и экономической политике нашего государства. Об этом свидетельствуют итоги сбора выращенного на новых землях хлопка-сырца за ряд лет и особенно за

1970г., когда голодностепская целина дала государству 210 тыс.т ,
а за весь период (с 1961г.) - уже свыше 1 млн.т.

Все сказанное не исчерпывает всей многогранной работы института за 41 год. Но вся деятельность его за указанный период отражает исторический путь, который прошла ирригация Средней Азии за годы Советской власти под руководством Коммунистической партии Советского Союза.

Задача коллектива института, его ветеранов и особенно молодежи-настойчиво продолжать поиск, бороться за улучшения качества проектов, за максимальный экономический эффект по всему комплексу орошения, строительства и освоения.

УДК 628.88 : 631.411.8

А.Н.МОРОЗОВ

Г.Н.ПАВЛОВ

кандидат технических наук

О РАСЧЕТЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ДРЕНАЖА ЗАСОЛЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ
(На примере новой зоны орошения Голодной степи)

При комплексном проектировании орошения земель возникает необходимость совместной увязки ряда параметров дренажной и оросительных систем, без которой невозможно в дальнейшем осуществлять оптимальный водно-воздушный и солевой режим почвы.

В практике проектирования в настоящее время расчеты режима орошения и дренажа, как правило, производятся независимо один от другого.

При расчете мощности дренажных устройств обычно исходят из среднего за какой-либо промежуток времени модуля дренажного стока и необходимой глубины уровня грунтовых вод (критической глубины), считая, что выполнения этих двух условий вполне достаточно для поддержания устойчивого мелиоративного благополучия орошаемой территории. Схема работы дренажа, построенная на основе этих предпосылок, вполне правомерна для зоны избыточного увлажнения, где с достаточной степенью точности можно принять поступление влаги равномерно распределенным во времени (по крайней мере в некоторых расчетных периодах), а удержание уровня на определенной глубине обеспечивает оптимальный водно-воздушный режим почвы.

Однако для зоны орошаемого земледелия ориентация на критическую глубину вносит формализм в инженерные расчеты, вызывает стремление всемерно сократить водоподачу. С позиций "критической глубины" невозможно объяснить эффективность неглубокого (2,0-2,5 м) горизонтального дренажа на засоленных землях (именно такой глубины дренаж существует в староорошаемых районах Средней Азии), а также необходимость проведения ежегодных зимних профилактических поливов, которые, как показывает многолетний опыт, являются наиболее эффективным мероприятием по предотвращению соленакопления в верхних почвенных горизонтах.

Наиболее распространенным определением критической глубины является формулировка И.Н. Антипова-Каратаева, в которой различаются абсолютная и относительная критические глубины. Первая соответствует границе (высоте) капиллярно-плечного подъема воды в неорошаемых условиях. В суглинистых грунтах она равна 3-4 м. Под относительной критической глубиной залегания грунтовых вод И.Н. Антипов-Каратаев понимает такую "глубину в условиях культурного орошаемого хозяйства, при которой при правильном орошении вторичное засоление почв только что начинает появляться".

Из приведенной формулировки относительной критической глубины, которая и применяется в расчетах, следует, что критическая глубина может быть определена только экспериментально; при изменении способов ведения хозяйства должны меняться и значения критической глубины, кроме того, формулировка не основывается на каких-либо физических закономерностях, которые могли бы послужить основанием для аналитических расчетов глубины грунтовых вод в зависимости от водно-физических свойств почвогрунтов, способов ведения хозяйства, времени года, степени и характера минерализации грунтовой и оросительной воды и т.д.

В ряде последних работ [1,2,3] указывается, что понятие "критическая глубина", сыгравшее в свое время положительную роль, в настоящее время морально устарело.

В институте "Средазгипроводхлопок" сделаны расчеты горизонтального дренажа в увязке с поливным режимом, при этом вместо критической глубины сформулированы два необходимых и достаточных требования, при соблюдении которых горизонтальный дренаж эффективен.

В основу расчетов положены соображения о дифференцированном балансе грунтовых вод и промывном действии орошения, высказанные А.Г.Владимировым [4], схема передвижения солей, разработанная С.Ф.Аверьяновым [1], и связь режима влажности в верхних почвенных горизонтах с динамикой грунтовых вод (экспериментальные данные, полученные на опытном участке института в зоне нового орошения Голодной степи).

В литературе часто упоминаются глубокий и мелкий горизонтальный дренаж. Для дальнейших рассуждений необходимо строго определить, что следует понимать под этими двумя терминами. Глубоким предлагается называть такой дренаж, при котором можно поддерживать уровень грунтовых вод на абсолютной критической глубине, т.е. на такой глубине, "при которой даже предельно сильная минерализация вод не может вызвать засоления активного слоя почвы, независимо от погодных условий, растительного покрова и качества обработки почвы" [4]. Для суглинистых грунтов эта глубина будет составлять 5-6 м.

Дренаж, который работает при глубинах грунтовых вод выше абсолютной критической глубины следует считать мелким. Таким образом, подавляющее число дренажных систем, построенных и строящихся на засоленных землях, следует отнести к мелким. Принципиальное различие между мелким и глубоким дренажем, согласно предложенной классификации, заключается в том, что мелкий дренаж эффективен только в сочетании с определенным поливным режимом, а работа глубокого дренажа и режим орошения не взаимосвязаны.

При мелком дренаже должен применяться промывной режим орошения, т.е. на поля подается некоторый избыток оросительной воды, который идет на замещение грунтовых вод, "отжатых" в дренаж. Таким образом происходит опреснение зоны аэрации и подавление восходящего тока солей, обусловленного разностью химических потенциалов (диффузное передвижение солей). Создание нисходящего тока воды определенной интенсивности - первое требование, предъявляемое к мелкому горизонтальному дренажу.

Согласно проработкам С.Ф.Аверьянова [1], направленность процессов солевого накопления в зоне аэрации может быть охарактеризована отношением:

$$\frac{V_1}{V_2} = \bar{V}, \quad (1)$$

где V_1 - среднегодовая скорость расходования воды (транспирация + испарение);

V_2 - среднегодовая скорость поступления воды в почву.

Для того чтобы в активной зоне почвогрунтов не происходило накопление солей, $\bar{V}$ должно быть меньше 1. Численное значение $\bar{V}$ определяется водно-физическими свойствами почвогрунтов, минерализацией оросительной и грунтовой воды, качественным составом солей и т.д.

Вместо выражения (1) можно записать

$$\frac{V_1}{V_2} = \bar{V} = \frac{M_{ор} - \Delta}{M_{ор}} \quad (2)$$

где $M_{ор}$ - годовая оросительная норма;

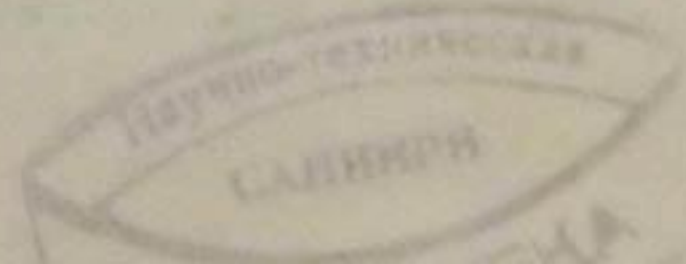
Δ - годовой дренажный сток.

Зная величины $M_{ор}$ и $\bar{V}$, можно вычислить Δ . Аналитические расчеты величины $\bar{V}$ в настоящее время сопряжены с трудностями.

На основании опыта орошения засоленных земель установлено, что величина дренажного стока Δ должна составлять 10 ± 30% от оросительной нормы. В этом случае не происходит солевого накопления в верхних почвенных горизонтах.

Соблюдение определенного отношения $\Delta:M_{ор}$ является необходимым, но недостаточным условием предотвращения засоления. Второе требование к дренажу и поливам связано с введенным А.Г.Владимировым понятием "критический уровень" минерализованных грунтовых вод. Под критическим следует понимать такой уровень, ниже которого работа грунтовых вод недопустима. Сказанное можно пояснить, исходя из схемы, помещенной на рис. 1. Если грунтовая вода опустится ниже исходного уровня, это означает, что прослойка пресной воды в верхних горизонтах почвогрунта израсходована и полученный эффект опреснения сведен на нет.

Для сохранения полученного эффекта в момент достижения грунтовыми водами критического уровня необходимо провести очередной полив. Критический уровень находится на глубине заложения дрена в том случае, если отсутствует внешнее питание грунтовых вод. В противном случае положение критического уровня определяется напорностью грунтовых вод, которая возникает за счет потерь из оросительной сети, притока с соседних орошаемых площадей и т.д.



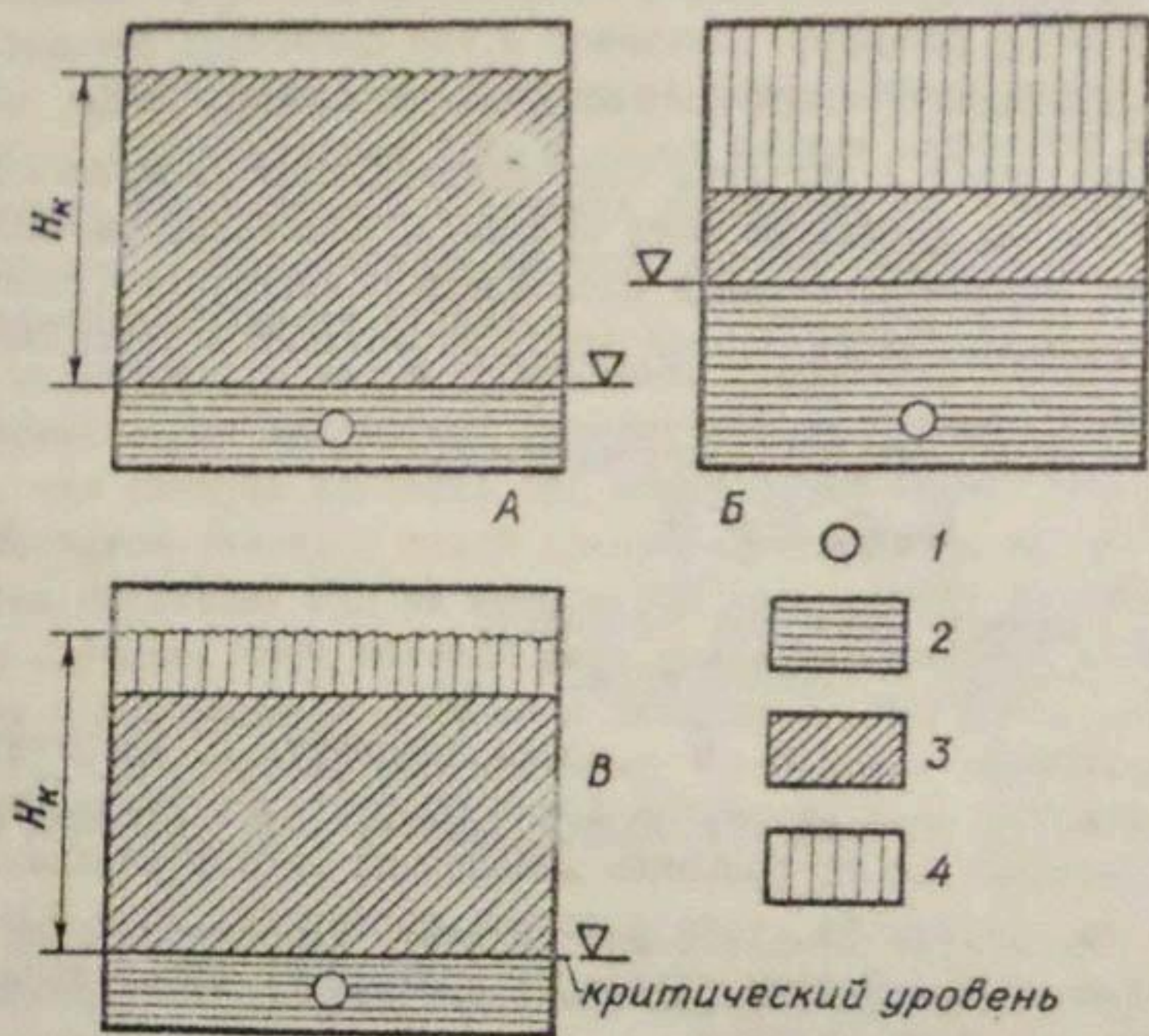


Рис. 1. Схема опреснительного действия поливов и дренажа:

А- перед поливом, Б- после полива, В- к началу следующего полива; 1- дренаж, 2- минерализованные грунтовые воды, 3- почвенная влага, образованная минерализованной водой, 4- почвенная влага, созданная оросительной (пресной) водой, H_k - высота капиллярного поднятия.

Указанные требования имеют вполне определенный физический смысл, заключающийся в том, что поливной режим и горизонтальный дренаж должны создать условия, при которых в корнеобитаемую зону почвы не будут попадать соли с капиллярно поднимающейся грунтовой водой, а также будет предотвращен вертикальный ток солей за счет диффузии. Эти требования, кроме того, определяют режим грунтовых вод, который должен складываться под орошаемым полем, что в общем виде показано на рис. 2.

Расчет густоты дренажа основан на прогнозировании режима грунтовых вод. Прогноз распадается на несколько этапов (прибли-

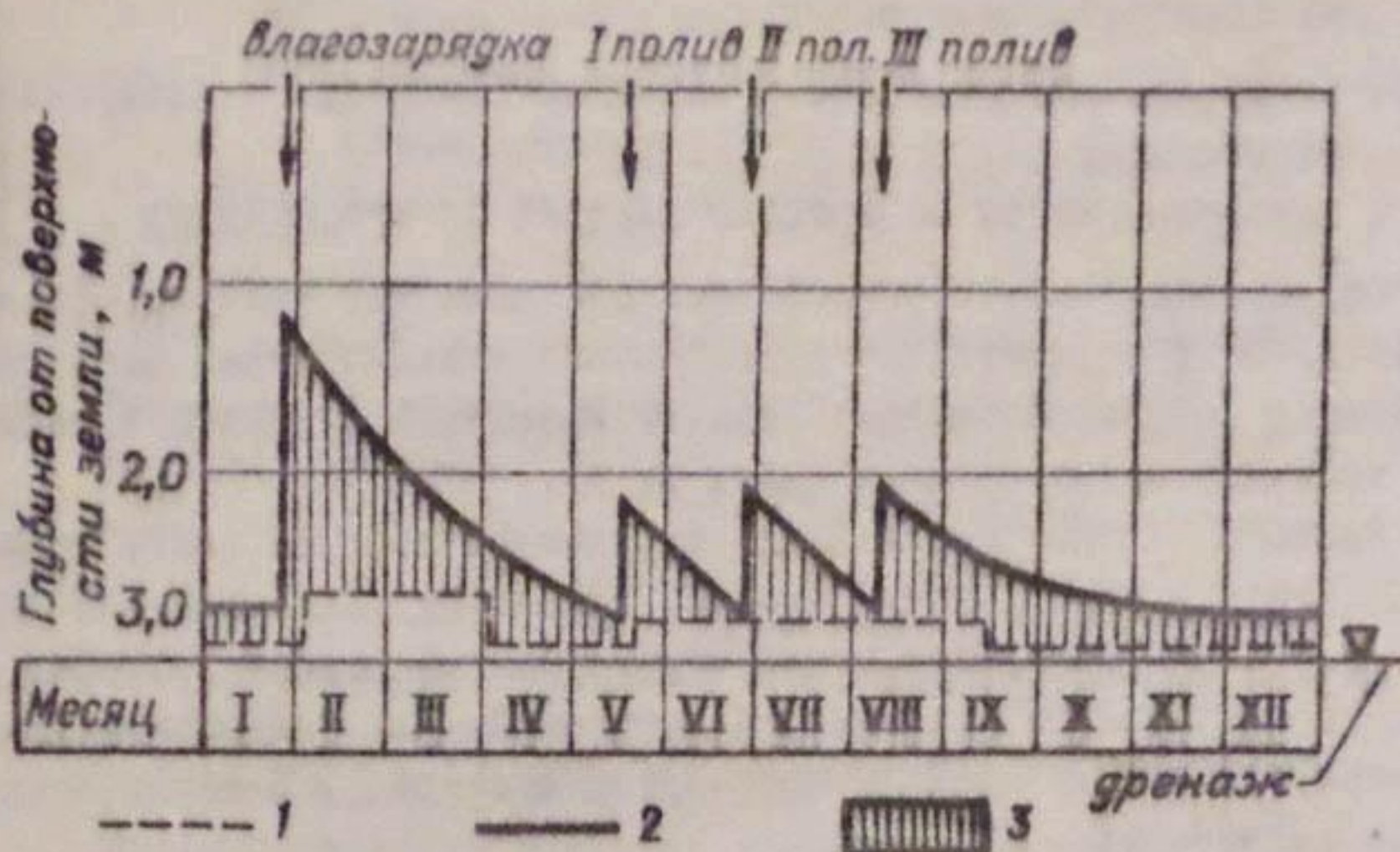


Рис. 2. График режима грунтовых вод (проект):

1-критический уровень, 2-режим грунтовых вод, создаваемый поливами, 3-расчетный дренажный сток Д.

жений): схематический расчет режима грунтовых вод на орошаемом массиве, прогноз режима грунтовых вод (в годовом разрезе) для выделенных гидрогеолого-мелиоративных районов, режим грунтовых вод орошаемого поля и выбор проектной густоты и конструкции дренажа.

Режим грунтовых вод орошаемого массива прогнозируется исходя из следующего уравнения водного баланса:

$$\Delta W = B + \bar{P} + Q + A - C - (И + T_p) - Q, \quad (3)$$

где ΔW - суммарное изменение запасов воды в границах орошаемого массива за время ΔT ;

B - водозабор;

$\bar{P}$ - приток поверхностных вод помимо водозабора (приток с окружающих возвышенностей, сбросные воды вышележащих массивов);

Q - приток подземных вод;

A - атмосферные осадки;

C - сбросы (суммарные) за пределы орошаемого массива по коллекторно-сбросной сети;

$(И+T_p)$ - суммарное значение испарения и транспирации с поверхности массива;

Q - подземный отток за пределы массива по его контуру.

Определение всех перечисленных составляющих водного баланса производится в соответствии с имеющимися методическими указаниями. Величину Q (подземный отток) следует назначать с учетом дренажа (его величина назначается в долях от B).

Воднобалансовые расчеты для орошаемого массива имеют цель: установить скорость подъема уровня, районировать площадь по глубинам залегания грунтовых вод в перспективный период орошения и наметить очередность дренажных мероприятий. Для воднобалансовых расчетов орошаемого массива промежуток времени ΔT может быть принят значительным (до года).

На основании этих расчетов, а также материалов гидрогеологических и почвенных исследований выделяются гидрогеолого-мелиоративные районы, т.е. площади, находящиеся в одинаковых геоморфологических и почвенных условиях, где складывается одинаковый водный режим верхних почвенных горизонтов. Для каждого выделенного гидрогеолого-мелиоративного района проводятся воднобалансовые расчеты по формуле:

$$\Delta W_n = \Phi_k + \Pi + \bar{\Pi}, \quad (4)$$

где Φ_k - фильтрация из каналов;

Π - приток подземных вод с соседних гидрогеолого-мелиоративных районов;

$\bar{\Pi}$ - приток поверхностных вод помимо водозабора.

Воднобалансовые расчеты проводятся для периодов ΔT , не превышающих один месяц. Цель расчетов - получение ежемесячных значений ΔW_n , которые затем используются для построения графиков критического уровня.

После построения графиков критического уровня на основании воднобалансовых расчетов определяется режим грунтовых вод, складывающийся на поле в результате орошения. Уравнение баланса может быть записано для этого случая в виде:

$$M_{op} + A - \Delta - (И + T_p) = 0, \quad (5)$$

где $M_{ор}$ - оросительная вода (нетто), поданная на поле;
 A - атмосферные осадки;
 D - доля дренажного стока, формирующегося за счет оросительной воды;
 $(H+T_p)$ - суммарное испарение.

Уравнение (5) справедливо при условии, что уровень грунтовых вод в расчетный период не опускается ниже критического уровня. Изменение запасов оросительной воды в расчетный (межполивной) период составляет:

$$\Delta W_0 = D + (H + T_p). \quad (6)$$

Для расчетов дренажных устройств желательно иметь непрерывную зависимость изменения запасов влаги во времени или для промежутков времени ΔT не более суток. Для этого составляется уравнение расхода грунтовых вод в межполивной период $\Delta W_0 = f(t)$. Для практических расчетов удобно связать ΔW с положением уровня грунтовых вод X , тогда все составляющие уравнения водного баланса необходимо выразить в виде функциональных зависимостей от положения грунтовых вод X .

Большинство исследователей, изучавших режим грунтовых вод на орошаемых землях, отмечают очень быстрый подъем зеркала грунтовых вод на поле во время проведения полива. Подъем уровня грунтовых вод прекращается с окончанием полива. Это явление носит название "капиллярный сброс" [6, 7] и заключается в том, что поданная сверху оросительная вода нарушает равновесие влаги в капиллярной кайме. Вода, находившаяся ранее в зоне аэрации, поступает в грунтовые воды, вызывая их подъем. Благодаря капиллярному сбросу осуществляется эффект опреснения, что схематически показано на рис. I. В расчетах можно принимать подъем зеркала грунтовых вод мгновенным, так как полив продолжается обычно не более двух суток.

При близком стоянии грунтовых вод необходимо учитывать, что водоотдача (свободная порозность) грунтовой толщи зависит от положения уровня грунтовых вод. Как показали исследования, проведенные в новой зоне орошения Голодной степи, закономерность распределения влаги в капиллярной кайме хорошо согласуется с формулой С.Ф. Аверьянова [8]:

$$w = \frac{2}{3} \cdot \frac{w_1 h_k}{\beta} \left[1 - \left(1 - \frac{\beta y}{h_k} \right)^{\frac{3}{2}} \right], \quad (7)$$

где W - запас влаги в слое y от зеркала грунтовых вод;
 h_k - высота капиллярного поднятия;
 w_1 - влажность, наблюдаемая около грунтовых вод;
 w_0 - максимальная молекулярная влагоемкость (по А.Ф. Лебедеву),

$$\beta = 1 - \left(\frac{w_0}{w_1} \right)^2.$$

Определенные в совхозе № I Голодной степи параметры формулы (7) составили: $h_k = 2,3$ м; $w_0 = 0,21$; $w_1 = 0,455$ (от объема почвы); порозность $m = 0,49$.

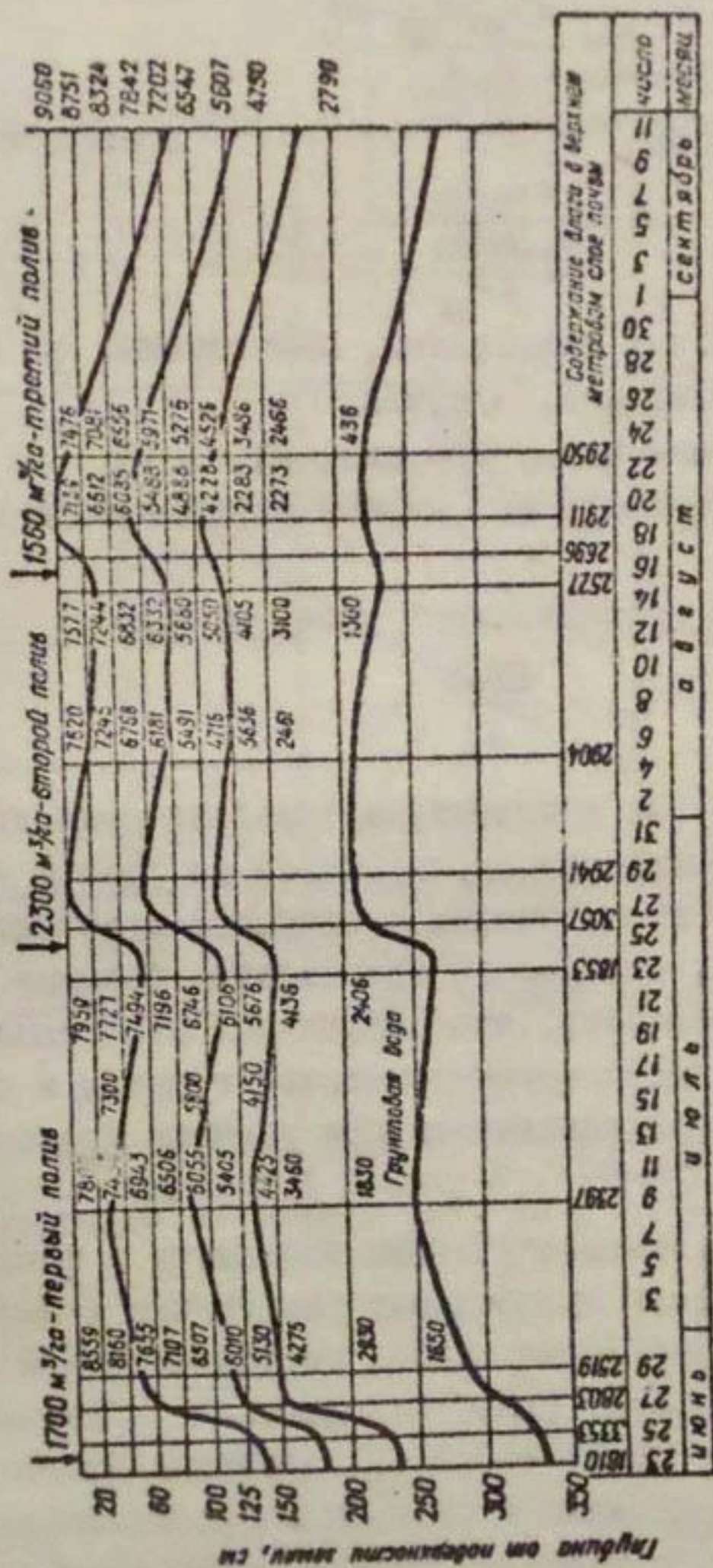
На рис. 3 показан режим влажности и динамика грунтовых вод, которые наблюдались в одной из точек опытного участка. Проведенные хроноизоплеты запасов влаги 4500; 5800 и 7300 м³/га, которые соответствуют по формуле (7) запасам влаги в слоях 1,0; 1,5; 2 м, копируют кривую динамики грунтовых вод. Статистическая обработка материалов наблюдений по 10 точкам показала, что отклонения фактических значений y от расчетных, вычисленных по формуле (7), составляют не более 5%. Приведенные материалы наблюдений экспериментально подтверждают наличие капиллярного сброса. Кроме того, они показывают, что содержание и распределение влаги в зоне взвешивания полностью зависит от положения зеркала грунтовых вод. Экспериментальные данные показывают также, что над капиллярной каймой, в слое мощностью примерно 1 м, влажность почвы имеет постоянное значение, равное w_0 . На основании полученных материалов в совхозе № I построена кривая "текущей" водоотдачи для 3-метровой толщи грунтов Голодной степи, а также установлена зависимость водонасыщенности верхнего метрового слоя почвы от положения зеркала грунтовых вод. Эти зависимости приведены в виде графиков на рис. 4. Зависимость водоотдачи грунтовой толщи при падении грунтовых вод от x_1 до x_2 может быть с достаточной степенью точности выражена формулой

$$\sigma_{x_1, x_2} = B(x_2^\alpha - x_1^\alpha). \quad (8)$$

При измерениях σ в м³/га для рассматриваемых условий $B = 615$; $\alpha = 2$.

По предложению А.П. Вавилова зависимость дренажного стока от напора $h_{др} - x$ можно записать в виде

$$D = A(h_{др} - x), \quad (9)$$



где D - сток воды по дренам, м³/га в сутки;
 $h_{др}$ - глубина заложения дренажа, м;
 x - глубина залегания зеркала грунтовых вод, м.

При использовании формулы А.Н.Костякова

$$q = \frac{\pi \kappa_{\phi} (h_{др} - x)}{\ln \frac{B}{\delta} - 1} \quad (10)$$

величина A составляет

$$A = \frac{\pi \kappa_{\phi} \ell_{др}}{\ln \frac{10000}{\delta \ell_{др}} - 1}, \quad (11)$$

где κ_{ϕ} - коэффициент фильтрации, вычисленный по данным натурных наблюдений, м/сутки;
 B - расстояние между дренами, м;
 δ - ширина фильтра или ширина зеркала воды в открытой дрене, м;
 $\ell_{др}$ - удельная протяженность дрена, м/га,

$$\ell_{др} = \frac{10000}{B}.$$

В последнее время в институте "Средазгипроводхлопок" расчетный коэффициент фильтрации определяется по данным натурных наблюдений за работой горизонтальных открытых и закрытых дрена. За основную расчетную зависимость принимается формула А.Н.Костякова (10). Необходимо отметить, что полученный расчетным путем κ_{ϕ} не является объективной характеристикой грунта, а служит лишь коэффициентом пропорциональности при расчете дренажа по формуле (10).

К примеру, на опытном участке института в совхозе м. I получены следующие данные: коэффициент фильтрации в вертикальном направлении при поступлении воды с поверхности - 0,9 м/сутки, а вычисленный по формуле (10), исходя из материалов наблюдений за работой закрытых дрена, - 0,1-0,2 м/сутки. Приведенные цифры показывают, что определяемые косвенным путем коэффициенты фильтрации, без детального изучения геологического профиля, направлений движения грунтовых вод, анизотропности грунтов и т.д., не могут быть использованы для расчетов притока воды к дренам.

Расчеты, основанные на вычисленных по формуле (10) коэффициентах K_{ϕ} , дают более достоверные результаты, при этом заранее предполагается линейная зависимость между напором в середине междурья и расходом q , т.е. (9). Величину A можно назвать дренажностью территории.

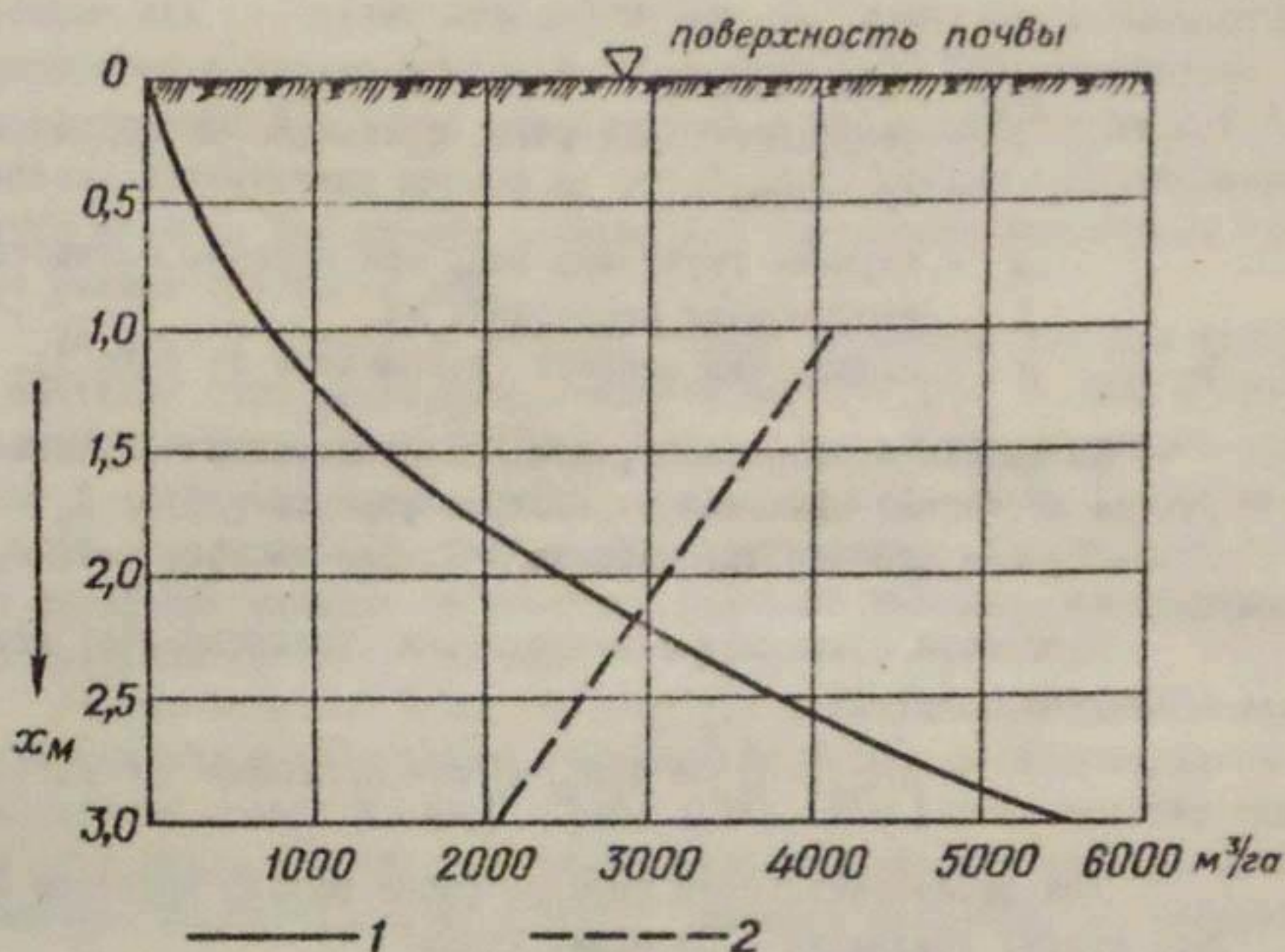


Рис. 4. Графики зависимостей:
1 — водоотдачи (свободной порозности) 3-метровой грунтовой толщи, 2 — водонасыщенности верхнего метрового слоя от положения грунтовых вод "х".

Наиболее существенной расходной статьей является суммарное испарение ($I+Tr$). При прочих равных условиях величина испарения зависит от влажности верхних почвенных горизонтов, которая, в свою очередь, определяется глубиной залегания уровня грунтовых вод. Таким образом, величина ($I+Tr$) находится в функциональной зависимости от глубины залегания грунтовых вод x ,

которая по аналогии с формулой, предложенной С.Ф. Аверьяновым, может быть записана так:

$$(И+Тр)_x = \kappa E_0 \left(1 - \frac{x}{H_0}\right)^n, \quad (12)$$

где $(И+Тр)$ - суммарное испарение при глубине до грунтовых вод x м, $м^3/га$ в сутки;

E_0 - испаряемость, $м^3/га$ в сутки;

κ - коэффициент для учета особенностей выращиваемой культуры;

x - глубина грунтовых вод, при которой полностью отсутствует испарение, м;

n - показатель степени (изменяется от 1 до 3).

По данным А.Н. Вавилова, для Голодной степи получены следующие численные значения параметров формулы (10): $H_0 = 8,0$ м; $n = 2$, при посевах хлопчатника $\kappa=1$, для люцерны $\kappa=1,40$.

Используя приведенные зависимости, уравнение (6) можно представить в виде

$$\left[\kappa E_0 \left(1 - \frac{x}{H_0}\right)^n + A(h_{gr} - x) \right] dt = B[(x+dx)^\alpha - x^\alpha]. \quad (13)$$

Для рассматриваемого примера (зона нового орошения Голодной степи) уравнение (13) будет таким:

$$\left[\kappa E_0 - \frac{2\kappa E_0 x}{H_0} + \frac{x^2}{H_0} + Ah_{gr} - Ax \right] dt = 2Bx dx, \quad (13')$$

или

$$(ax^2 - bx + c)dt = 2Bx dx, \quad (14)$$

где $a = \frac{\kappa E_0}{H_0^2}$; $b = \frac{\kappa E_0}{H_0} + A$; $c = \kappa E_0 + Ah_{gr}$.

Решение уравнения (14) имеет вид

$$t_{x_1, x_2} = 2B \left[\frac{1}{2a} \ln(ax^2 - bx + c) + \frac{b}{2a\sqrt{b^2 - 4ac}} \ln \frac{2ax - b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2ax - b + \sqrt{b^2 - 4ac}} \right] \Big|_{x_1}^{x_2} \quad (15)$$

На рис. 5 показаны графики сработки уровня грунтовых вод, построенные по формуле (15) при $E_0 = 2200$ и $1550 \text{ м}^3/\text{га}$ в месяц и при разных степенях дренированности территории $A=1; 4; 16; 64 \text{ м}^3/\text{га}$ в сутки при напоре в 1 м.

На основании кривых $x=f(t)$ можно вычислить средние скорости сработки для различных интервалов $x_1 - x_2$. На рис. 6 приведены зависимости скорости сработки V см/сутки от дренированности A и испаряемости E_0 , $k=1$ (хлопчатник) в интервале глубин 2,5-3,0 м. Графики, аналогичные данным на рис. 6, для нескольких интервалов глубин от 0 до 3 м, служат основой для построения проектного графика режима грунтовых вод.

На рис. 7 приведены графики режима грунтовых вод при величине поливных норм нетто оросительного периода 1500 и 2100 $\text{м}^3/\text{га}$. Графики составлены для условий, когда нет притока грунтовых вод извне ($\Delta W_n = 0$). В том случае, если величины ΔW_n отличны от нуля, необходимо строить график критического уровня (рис. 2). Для этого вычисляются ежемесячные значения напоров, необходимых для сработки напорного питания $h = \Delta W_n : A$.

Расчет величины поливных норм при близком залегании зеркала грунтовых вод значительно отличается от расчетов этой величины в автоморфных условиях. Дело в том, что в этом случае понятие активный слой почвы теряет свой смысл. Активным следует считать слой, в котором распространена корневая система растений, в водоснабжении же этой зоны участвует вся толща грунта от поверхности земли до зеркала грунтовых вод. Экспериментальным подтверждением этого положения служат данные, приведенные на рис. 3. Величину поливной нормы можно вычислить из допустимого предела иссушения верхних почвенных горизонтов. Верхний предел соответствует предельной полевой влагоемкости (ППВ), что для метрового слоя в рассматриваемом примере составляет $3000 \text{ м}^3/\text{га}$, и соответствует глубине грунтовых вод 2,1 м, а $2250 \text{ м}^3/\text{га}$ (0,75 ППВ) - 2,8 м. Величина поливной нормы может быть вычислена как количество воды, необходимое для подъема зеркала грунтовых вод от 2,8 до 2,1 м, что по формуле (6) составит

$$M = 615 (2,8^2 - 2,1^2) = 2100 \text{ м}^3/\text{га}.$$

Опытные данные, полученные в совхозе № 1, показывают, что лучшее развитие растений и наибольший урожай были получены на

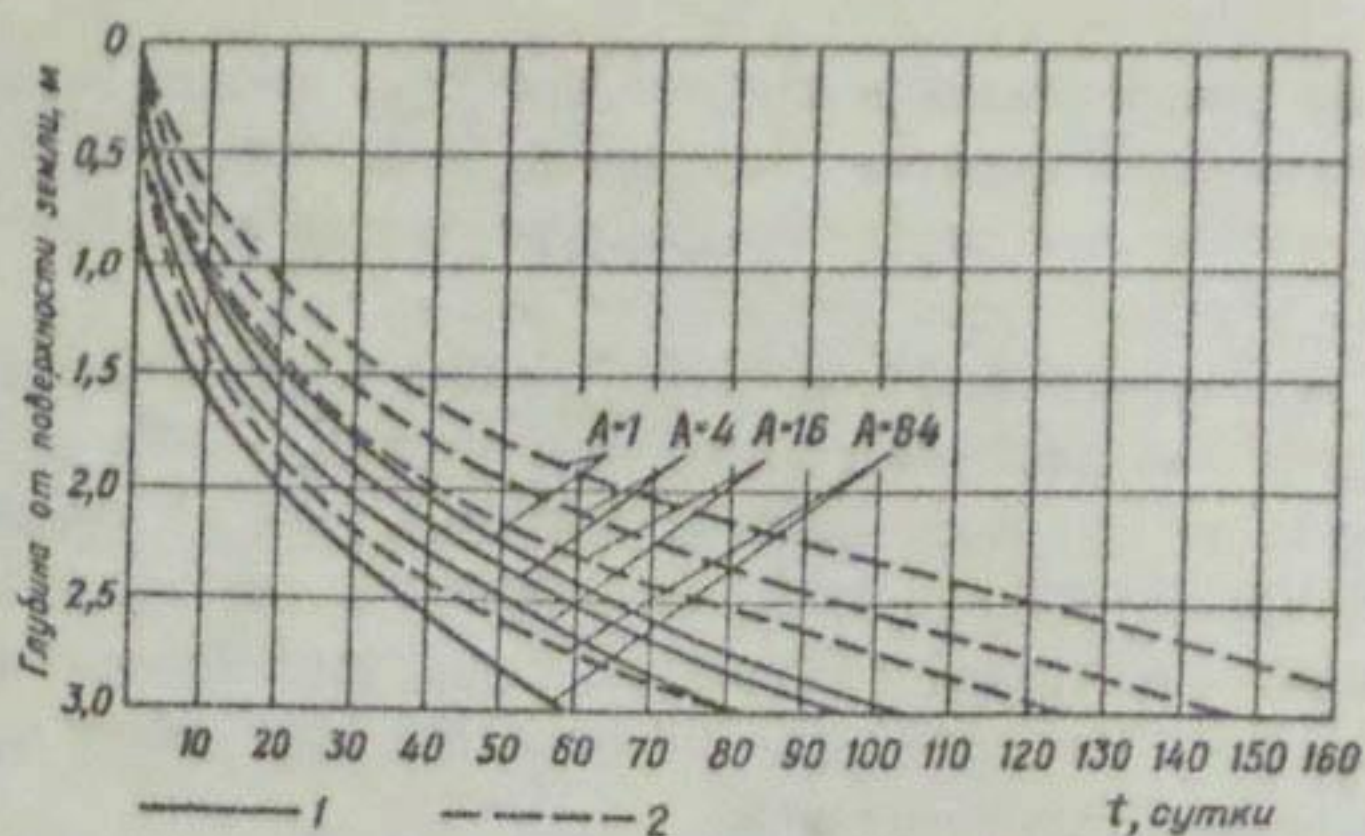


Рис.5. Графики сработки уровня грунтовых вод при глубине дренажа $h_{др} = 3,0$;
1- $E_0 = 2550 \text{ м}^3/\text{га}$ в месяц, 2- $E_0 = 2200 \text{ м}^3/\text{га}$ в месяц.

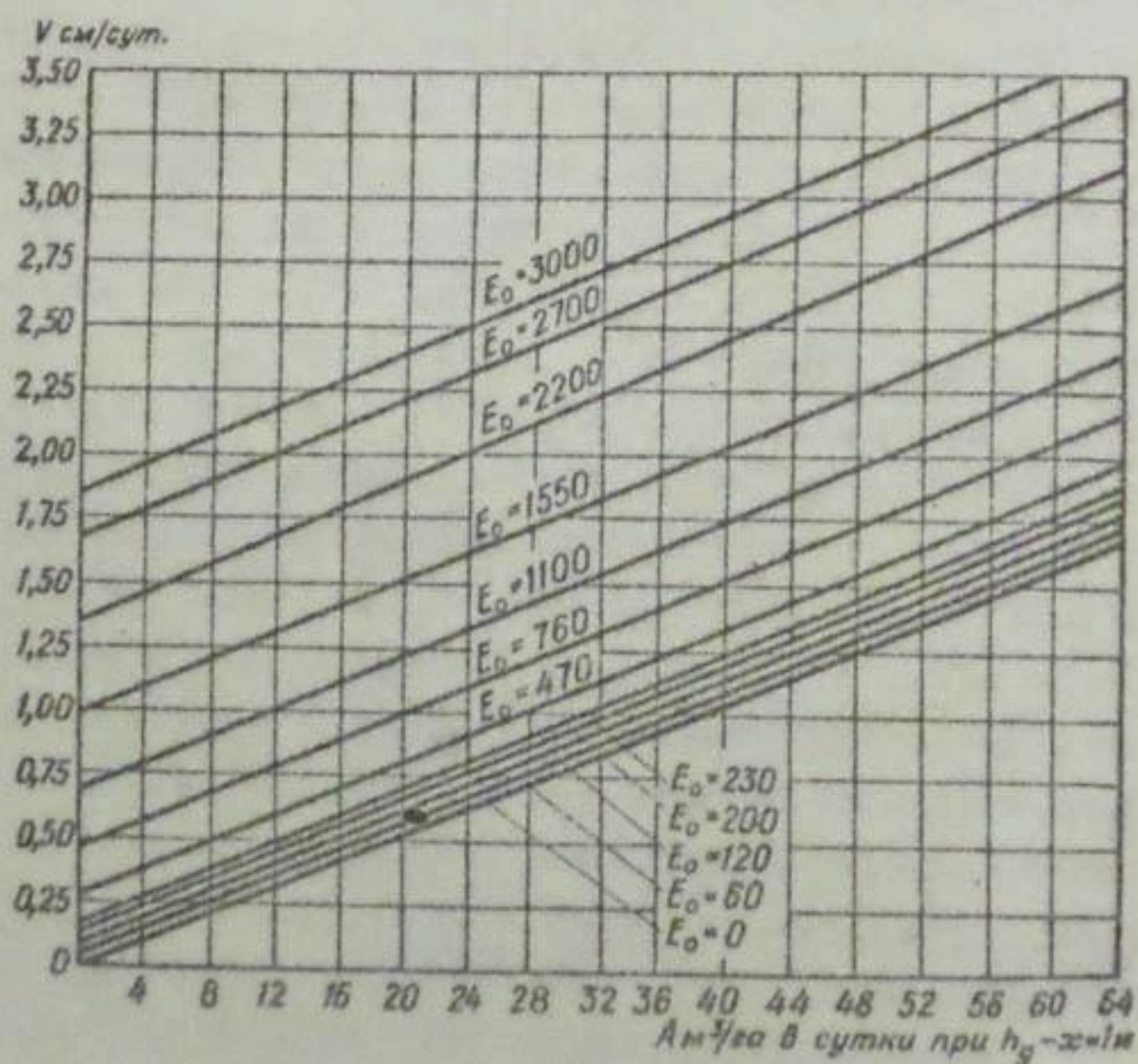


Рис.6. Средняя скорость сработки уровня грунтовых вод в интервале 2,0-2,5 м в зависимости от дренированности A и испаряемости $E_0 (\text{м}^3/\text{га в месяц})$.

участках, где грунтовые воды в вегетацию не опускались ниже 2,8 м. Стояние грунтовых вод выше 2,1 м, создавая высокую влажность в верхних почвенных горизонтах, не привело к повышению урожая. Приведенные факты позволяют сделать вывод, что подъем уровня грунтовых вод выше 2,1 м нежелателен, так как это вызовет перерасход оросительной воды, более интенсивно испаряющейся.

Здесь уместно ввести понятие "оптимальная глубина залегания грунтовых вод"; это такая глубина или интервал глубин, при котором в корнеобитаемой зоне создается оптимальный для развития растений режим влажности. В рассматриваемом примере это интервал 2,1 + 2,8 м, или в среднем 2,45 м. Интересно отметить, что глубина 2,4 м принята для новой зоны орошения Голодной степи в качестве критической.

Из приведенных суждений вытекает, что на землях с близкими грунтовыми водами целесообразны повышенные поливные нормы. Применяемые на практике в Голодной степи нормы порядка $2500 \text{ м}^3/\text{га}$ можно считать рациональными в том случае, если поднимающийся в результате поливов уровень грунтовых вод не превышает 2,1 м.

Как показывают расчеты (рис. 7), с уменьшением величины поливных норм увеличивается общегодовая оросительная норма. Кроме того, каждый полив сопровождается потерями оросительной воды на испарение как с водной поверхности, так и из верхних почвенных горизонтов в первые после полива дни. При нормальной агротехнике суммарные потери за один полив составляют около $250 \text{ м}^3/\text{га}$ [9]. Таким образом, уменьшение поливных норм, т.е. увеличение числа поливов, приводит к увеличению суммарных потерь оросительной воды.

Графики (рис. 7) построены в предположении, что в те месяцы, когда осадки превышают испаряемость, $E_0 = 0$ и в грунтовые воды они не поступают. Из графиков хорошо видна роль влагозарядки (профилактического полива) в поддержании оптимального солевого режима зоны аэрации. Только с помощью влагозарядки можно выполнить сформулированные выше требования к рассоляющему действию поливов и горизонтального дренажа — поддержать грунтовые воды выше критического уровня и соблюсти соотношение $D:M_{\text{ор}} = 0,20$.

Для выбора необходимых размеров дренирования строится серия графиков режима грунтовых вод при различных значениях A . С помощью

графиков вычисляются: оросительная норма нетто ($M_{\text{нетто}}$), оросительная норма брутто ($M_{\text{ор}}$), дренажный сток D и отношения $D:M_{\text{нетто}}$ и $D:M_{\text{ор}}$.

На основании полученных цифр строятся графики зависимости оросительной нормы и отношения $D:M$ от дренированности A и затем выбирается необходимая величина A , соответствующая заданному отношению $D:M$. На рис. 8 приведены зависимости оросительной нормы $M_{\text{ор}}$ и отношения $D:M$ от дренированности A при различных нормах полива ($m = 1500$ и $2100 \text{ м}^3/\text{га}$). Судя по графикам, необходимая

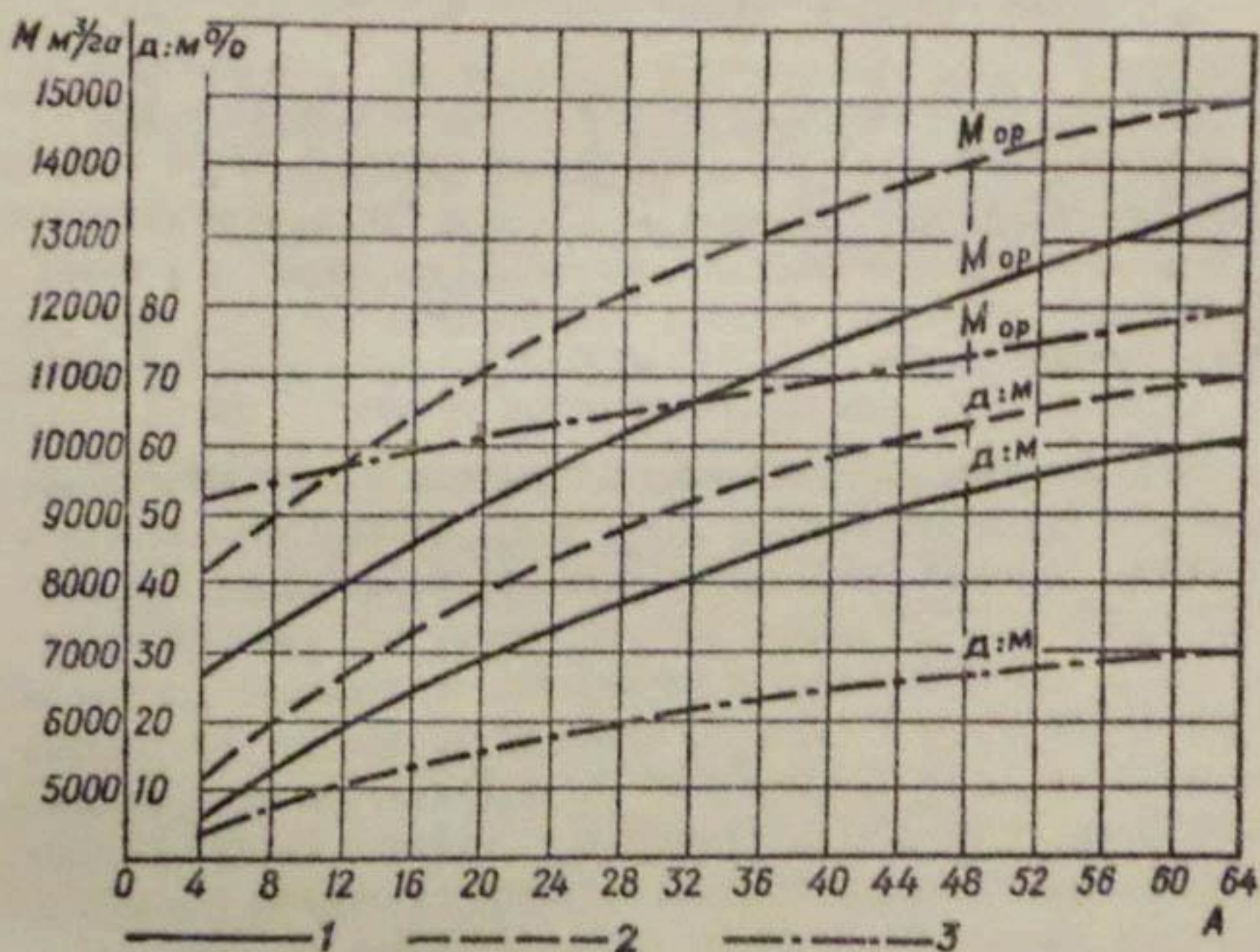


Рис. 8. Зависимость оросительной нормы брутто и отношения $D:M_{\text{ор}}$ от дренированности A :

1- дренаж глубиной 3м, $m=2100 \text{ м}^3/\text{га}$, 2- дренаж глубиной 3м, $m=1500 \text{ м}^3/\text{га}$, 3- дренаж глубиной 2м, $m=1500 \text{ м}^3/\text{га}$.

дренированность территории не является однозначной величиной, а зависит от кратности поливов и размеров поливных норм. Для окончательного выбора A необходимы дополнительные условия, которые

могут диктоваться хозяйственной деятельностью, рельефом и т.д. Можно поставить условие наименьших затрат оросительной воды. В этом случае для рассматриваемого примера вегетационные поливы следует проводить грузинскими поливными нормами (до $2500 \text{ м}^3/\text{га}$), оросительная норма при этом составит (рис. 8) $\approx 8000 \text{ м}^3/\text{га}$, $D:M = 0,2$, в необходимая дренированность $A=12 \text{ м}^3/\text{га}$ в сутки (при $h_{\text{др}} - X = 1\text{м}$). Отметим, что по составленному институтом районированию режима орошения для рассматриваемого района установлена оросительная норма $8000 \text{ м}^3/\text{га}$ ($5700 \text{ м}^3/\text{га}$ в вегетационный период и $2300 \text{ м}^3/\text{га}$ - влагозарядка). Сокращение величины поливных норм вегетационного периода ($1750 \text{ м}^3/\text{га}$ брутто) приводит к увеличению $M_{\text{ор}}$ ($9200 \text{ м}^3/\text{га}$), но требует меньше дренажа $A=8 \text{ м}^3/\text{га}$ в сутки.

По данным исследований САНИИРИ и Средвзгипроводхлонка, в новой зоне орошения Голодной степи дренаж густотой 40-50 м/га обеспечивает дренированность порядка $10 \text{ м}^3/\text{га}$ в сутки. При несколько повышенной величине влагозарядки, которая практикуется в новых голодноостепских совхозах, можно с уверенностью сказать, что построенный дренаж может надежно предохранить земли от вторичного засоления.

Интересно сравнение различных по глубине заложения дренажей. На рис. 8 приведены зависимости $D:M_{\text{ор}}$ и $M_{\text{ор}}$ от дренированности A при глубине заложения дрен 2,0 м, поливные нормы приняты нетто $1500 \text{ м}^3/\text{га}$. Из графика видно, что уменьшение глубины заложения дрен с 3,0 до 2,0 м приводит к увеличению необходимой дренированности с 8 до $30 \text{ м}^3/\text{га}$ в сутки и, кроме того, требует увеличения оросительной нормы до $11000 \text{ м}^3/\text{га}$. Приведенный пример показывает, что уменьшение глубины заложения дрен в условиях Голодной степи нецелесообразно. Принятую проектом среднюю глубину заложения дрен 3,2 м следует считать оптимальной. Дополнительная глубина 0,2 м позволяет дренажу срабатывать внешний приток грунтовых вод, который в основном складывается из потерь в оросительной сети и не превышает $500 \text{ м}^3/\text{га}$ в год.

ЛИТЕРАТУРА

1. С.Ф. Аверьянов. Некоторые вопросы предупреждения засоления орошаемых земель и меры борьбы с ним в Европейской части СССР. Сб. "Орошаемое земледелие в Европейской части СССР." М., Изд-во "Колос", 1965.

2. Б.А.Михальсон. Приемы борьбы с засолением орошаемых земель на примере освоенной зоны Голодной степи. Сб. "Борьба с засолением орошаемых земель". М., Изд-во "Колос", 1967.
3. В.М.Легостаев. Нормы осушения орошаемых земель республик Средней Азии. Сб. "Борьба с засолением орошаемых земель". М., Изд-во "Колос", 1967.
4. А.Г.Владимиров. Мелиоративная гидрогеология. М., Госгеолтехиздат, 1960.
5. Технические указания по проектированию горизонтального дренажа засоленных земель. М., Гипроводхоз, 1964.
6. А.Ф.Лебедев. Почвенные и грунтовые воды. М., АН СССР, 1936.
7. С.Ф.Аверьянов. Расчет горизонтального дренажа при борьбе с засолением орошаемых земель. (Материалы к техническим условиям и нормам проектирования оросительных систем) М., Гипроводхоз, 1958.
8. А.Н.Костяков, Н.Н.Фаворин, С.Ф.Аверьянов. Влияние оросительных систем на режим грунтовых вод. М., АН СССР, 1956.
9. В.Р.Шредер. О поливной норме. "Хлопководство", 1963, № 2.

Р.М.ГОРБАЧЕВ

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ
ПОТЕРЬ ИЗ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СЕТИ ГОЛОДНОЙ СТЕПИ

Голодная степь представляет собой крупный массив современного ирригационного освоения общей площадью орошения около 350 тыс. га. Здесь при сооружении оросительной сети широко используются новые строительные материалы и конструкции, внедряются передовые методы строительства, совершенствуется технология.

В Голодной степи протяженность бетонированных каналов, каналов-лотков и закрытых трубопроводов составляет около 98% от общей длины оросительной сети. Не охвачены противофильтрационными мероприятиями лишь 2/3 общей протяженности Южного Голодностепского канала (ЮГК) и 4/5 длины Центральной ветки ЮГК, где проведение этих мероприятий признано нецелесообразным ввиду относительно малых потерь в естественном русле.

В новой зоне орошения Голодной степи удельная протяженность магистрального канала составляет 0,35 м/га, междоустьевых каналов - 1,3 м/га, внутрихозяйственных распределителей - 2,0 м/га, каналов-лотков - 19,65 м/га, коэффициент полезного действия системы - 0,88-0,93, вероятнее всего - 0,90.

Сравним Голодную степь со староорошаемыми территориями. По данным С.Л.Миркина [1], удельная протяженность магистральной сети составляла 5,1 м/га, междоустьевой - 8,5 м/га, внутрихозяйственной - 42,9 м/га, а коэффициент полезного действия таких систем не превышал 0,60, в ряде случаев опускаясь до 0,4 и ниже. Применяемые здесь в настоящее время противофильтрационные мероприятия

обеспечивают не только значительное сокращение фильтрационных потерь, тем самым способствуя экономии воды и поддержанию мелиоративного благополучия орошаемых земель, но и значительное сокращение средств и людских сил на эксплуатации сети, что очень важно в связи с принятым курсом интенсификации сельскохозяйственного производства, широкого освоения новых орошаемых территорий.

Учитывая все возрастающее применение современных средств борьбы с фильтрацией, институтом при помощи Голодноостепстроя в 1967-1969 гг. были проведены натурные определения фильтрационных потерь из действующих каналов Голодной степи.

Исследования фильтрационных потерь были проведены: на каналах-лотках; на каналах, облицованных монолитным бетоном, а также железобетонными плитами, уложенными на полиэтиленовый экран, и на каналах в земляном русле без облицовки.

Результаты исследований позволяют выявить противофильтрационную эффективность различных типов покрытий каналов, а также определить абсолютные величины потерь по элементам сети и по оросительной сети в целом. В определенной степени изучена также эффективность противофильтрационных мероприятий в зависимости от конструктивных особенностей, срока службы, качества строительства и условий эксплуатации.

В статье изложены лишь те результаты исследований, которые следует учитывать при проектировании, строительстве и эксплуатации оросительной сети. Более полные сведения о результатах исследований содержатся в работах [2,3,4].

Методика определения фильтрационных потерь

Известен ряд способов определения фильтрационных потерь из оросительных каналов. Основные из них: гидрометрический, способ точечных фильтрометров и объемный способ.

Определение фильтрационных потерь гидрометрическим способом малоприменимо для исследовательских целей ввиду его ограниченной применимости для замеров на каналах оросительных систем с множеством точек водовыделов, что обосновывается ниже.

Пусть точность измерения отдельного расхода составляет P (в % от расхода канала) и требуется измерить фильтрационный расход с точностью P_q (в % от фильтрационного расхода). Тогда

требуемая длина транзитного участка канала может быть определена из следующих соображений.

При длине транзитного участка, равной l км, потери состав-
 лют $l\sigma$, где σ - удельные потери воды в канале на 1 км
 его длины в процентах от расхода. Приняв эти потери за 100%, мож-
 но составить пропорцию

$$\frac{l\sigma}{P} = \frac{100\%}{P_q},$$

откуда требуемая длина транзитного участка должна составлять

$$l \geq \frac{P \cdot 100\%}{\sigma \cdot P_q} \quad (1)$$

Например, если точность измерения расхода вертушкой состав-
 лют $\pm 3\%$, а фильтрационный расход из канала требуется определить
 с точностью до 10%, причем, положим, что потери (по определению
 А.Н.Костякова) замеряются в легких грунтах, где $\sigma = 3,4 \cdot Q^{-0,5}$,
 получаем

$$l \geq 8,8 \sqrt{Q},$$

или в более наглядной форме:

Расход воды в канале,

Необходимая длина транзитного
участка канала, км

м³/сек

1,0

8,8

3,0

15,2

5,0

19,7

10,0

27,8

Ясно, что при соответствующих расходах транзитные участки
 столь большой протяженности практически встречаются очень редко.
 Поэтому не случайно ВНИИГим, применявший в своих исследованиях
 гидрометрический способ измерения фильтрационных потерь, приходит
 к выводу, что потери из каналов, облицованных монолитным бетоном,
 не меньше, чем в каналах без облицовки [5]. Этот вывод, не отвеча-
 ющий действительности, является в данном случае следствием непри-
 менимости гидрометрического способа замера потерь на каналах,
 что можно установить, анализируя материалы, приводимые в отчетах
 ВНИИГим.

Используя вероятностный подход к оценке определения фильтра-
 ционных потерь при многократных замерах, С.Л.Миркин [1] длину

транзитных участков рекомендует определять по формуле:

$$l \geq \frac{0,674 \cdot P \cdot 100\%}{\sqrt{n} \cdot \sigma \cdot P_q}, \quad (2)$$

где n — количество измерений расходов.

По формуле (2) требуемая длина транзитных участков при прочих равных условиях обратно пропорциональна $\sqrt{n}$, поэтому при достаточно большом количестве измерений расходов длина требуемых участков может быть значительно меньшей, чем при единичном измерении длины, определяемой формулой (1).

Однако и здесь есть определенные ограничения, обусловленные колебаниями во времени транзитных расходов, возможными изменениями условий фильтрации в процессе опытов (переход от свободной к подпертой фильтрации) и другими причинами.

Еще один фактор надо принять во внимание — выбирая нужную длину транзитного опытного участка по формулам (1) или (2), нужно знать, хотя бы приближенно, возможные потери (знать градицию грунтов по А.Н.Костякову), что часто бывает довольно трудно определить без проведения специальных опытов.

Таким образом, гидрометрический способ определения потерь из оросительных каналов весьма ограничен или совершенно неприменим, в особенности если речь идет о каналах, где выполнены противофильтрационные мероприятия.

Способ точечных фильтрометров достаточно точный, надежный и удобный для измерения фильтрационного расхода [6, 7, 8].

Сущность способа заключается в измерении фильтрационного расхода на отдельных небольших площадках по контуру русла. Затем строится эпюра расходов и по ней определяются суммарные потери.

Эпюра расходов позволяет определять места повышенной фильтрации, что является важным для принятия решения о проведении противофильтрационных мероприятий.

Этим способом можно успешно определять потери как в необлицованных, так и в облицованных оросительных каналах.

Способ точечных фильтрометров использован нами для изучения коэффициента фильтрации монолитной бетонной облицовки подводной зоны и зоны попеременного увлажнения, определяемой сезонностью эксплуатации оросительных каналов.

Объемный способ определения фильтрационных потерь из каналов, которым мы преимущественно пользовались в своих исследова-

ниях, включался в следующее.

На канале сооружались водонепроницаемые перемычки, две последовательные перемычки заключают в себе отсек. Отсек до заданной глубины наполнялся водой и по сработке горизонта во времени вычислялись значения фильтрационных потерь. При этом особо учитываются потери на испарение.

Перемычки на каналах устраивались таким образом, чтобы глубины наполнения у верхней и нижней перемычек не отличались более чем на 10-15 см, или 5-10% от глубины воды в действующем канале.

Величина фильтрационного расхода снималась нами только после стабилизации фильтрационного расхода из отсека. Для отсеков в земляном русле время стабилизации составляло 4-6 суток, для отсеков с бетонной облицовкой - 2-4 суток с момента наполнения.

Опыты проводились в основном в осенне-зимний период.

Величины потерь из каналов и коэффициенты фильтрации пересчитаны для температуры воды 25°C , характеризующей средний термический режим искусственных водотоков Голодной степи в вегетационный период.

Потери из каналов-лотков

Потери из лотковой оросительной сети складываются из потерь вследствие просачивания в стыках и через трещины в теле лотков, испарения со свободной поверхности, фильтрации через тело лотков и потерь на фильтрацию в сооружениях.

Потери на фильтрацию в сооружениях нами специально не изучались, но отметим, что в дорожных перевозах, сооружениях в виде дюкеров в отдельных случаях потери составляли до 3,4 л/сек.

Потери в сооружениях носят, как правило, локальный характер, их легко обнаружить и полностью устранить. Поэтому если служба эксплуатации на лотковой оросительной сети хорошо организована, то можно считать, что потери в сооружениях практически отсутствуют.

Потери воды на фильтрацию через тело (стенки) каналов-лотков, смонтированных из Лр-60, Лр-80 и Лр-100, при коэффициенте фильтрации бетона не ниже, чем для марки В4, равном, по данным ТНСТЭИ [9], $-0,1 \cdot 10^{-9}$ м/сек, при проектном наполнении составляют [2]:

для каналов-лотков из Лр-60 и Лр-80 - 0,03 л/сек на I км длины оросителя; для каналов-лотков из Лр-100 - 0,035 л/сек на I км длины оросителя.

Потери воды, обусловленные испарением со свободной поверхности, определяются его интенсивностью.

По результатам наших исследований, интенсивность испарения из лотковых оросителей в летнее время составляет 8 ± 20 мм/сутки, для целинной части Голодной степи в наиболее жаркие месяцы в среднем за декаду - 16 мм/сутки. Соответственно потери воды на испарение со свободной поверхности лотковых каналов Голодной степи можно определить по табл. I.

Таблица I

Каналы, смон- тированные из лотков	Наполне- ние кана- лов-лотков, см	Ширина по зер- калу во- ды, см	Величина слоя испа- рения, мм/сутки	Потери воды на испарение со свободной поверх- ности, л/сек на I км длины ка- налов
Лр-60	55	94	16	0,17
Лр-80	70	106	16	0,20
Лр-100	90	159	16	0,30

Суммируя потери на фильтрацию через тело лотков и потери, обусловленные испарением со свободной поверхности, получим теоретически возможные минимальные потери из лотковых оросителей.

Они составляют для условий Голодной степи:

для каналов-лотков из Лр-60 - 0,20 л/сек на I км

" из Лр-80 - 0,23 "

" из Лр-100 - 0,335 "

Однако из-за фильтрации через трещины в теле лотков и стыки потери достигают значительно больших величин. Потери из каналов-лотков, определенные объемным способом, свыше чем на 80 опытных участках общей протяженностью около 10 км, на каналах, которые еще не были в эксплуатации (ЮР-18-В-5, 27-У-39, 27-У-40, 27-У-41, 27-У-42, 27-У-43, 26-У-44, ПР-7, 20-У-1, ЮР-18-1-7а), а также из эксплуатируемых лотковых оросителей (5-Ш-Х-1, 5-П-Х-2в) в среднем составили:

для каналов-лотков из Лр-60	- 0,44 л/сек на 1 км
"	из Лр-80 - 0,67 "
"	из Лр-100 - 2,16 "

Предельные величины фильтрационных потерь для каналов, смонтированных из Лр-100: минимальные - 1,71 л/сек, максимальные - 7,0 л/сек на 1 км протяженности канала, для лотковых оросителей из Лр-80 - 0,378 и 2,80 и для каналов, смонтированных из Лр-60 - 0,22 и 3,1 л/сек на 1 км.

Причина отдельных повышенных фильтрационных потерь в лотковых оросителях в низком качестве проведения строительных работ: небрежное соединение отдельных кусков пороизоловой прокладки и установка лотков с поперечным перекосом. Это приводит к неравномерному обжатию прокладки по контуру опирания и раскрытию локальных фильтрующих щелей.

Учитывая потери на фильтрацию через тело лотков, испарение со свободной водной поверхности, фильтрацию через стыки и трещины, для практических расчетов при определении потерь из лотковых оросителей рекомендуется пользоваться данными табл.2.

Таблица 2

Каналы, смонтированные из лотков	Суммарные потери воды, л/сек на 1 км лоткового оросителя (стыки заделаны пороизоловой прокладкой)
Лр-60	0,64
Лр-80	0,90
Лр-100	2,50

Лотковая сеть сберегает значительное количество оросительной воды. При общей протяженности лотковой сети в Голодной степи 6970 км потери составляют 7,14 м³/сек. Потери из эквивалентной (по пропускной способности) оросительной сети в земляном русле составили бы около 105 м³/сек.

Таким образом, за счет устройства каналов-лотков потери сокращаются в 14,7 раза. Коэффициент полезного действия лотковой оросительной сети Голодной степи оценивается нами величиной 0,976.

Потери из каналов с монолитной
бетонной облицовкой

Исследования были проведены на 17 опытных участках общей протяженностью около 2,5 км при средней длине опытного участка 145 м на каналах Юго-восточного, Юго-западного и Центрального массивов Голодной степи.

Глубина наполнения каналов составляла от 0,6 до 2,4 м, в основном - до 1,6 м.

Толщина монолитной бетонной облицовки на исследуемых участках составляла 10-12 см.

Температурные швы, заделанные композициями на битумных мастиках, устроены через 15-20 м, ложные - через 4-5 м.

При глубине наполнения каналов до 2 м среднее значение коэффициента фильтрации (k_f) при сроке службы облицовки до двух лет составляет $3,2 \cdot 10^{-6}$ см/сек, а после четырех-шести лет эксплуатации он равен в среднем $12 \cdot 10^{-6}$ см/сек. — 0,0104 м/сут.

Минимальная наблюдавшаяся величина коэффициента фильтрации монолитной бетонной облицовки составила $1,66 \cdot 10^{-6}$ см/сек (канал ЮР-17), максимальная - $4,85 \cdot 10^{-5}$ см/сек (канал ПР-2-1). — 0,042 м/сут.

Для каналов Голодной степи, эксплуатируемых два-три года и более, характерно значительное ухудшение свойств бетона в зоне нормального и минимального горизонтов воды в канале. Здесь образуется кайма разрушенного бетона шириной от 20 до 40-60 см. Структура бетона становится рыхлой, пористой, наблюдается выкрашивание крупного заполнителя.

Коэффициент фильтрации бетона в зоне каймы разрушения составляет $(30+80) \cdot 10^{-6}$ см/сек, в донной части каналов, где условия работы облицовки более благоприятны, он равен $(0,6+8) \cdot 10^{-6}$ см/сек.

Наблюдается также ухудшение свойств бетона под воздействием агрессивных сред (солевая форма физической коррозии). В этом отношении весьма показателен опыт на канале 5-1-X. Канал был построен и введен в эксплуатацию в 1961 г. В 1965-1968 гг. канал не эксплуатировался. Минерализованные грунтовые воды стояли близко к дневно поверхности, и началось интенсивное разрушение бетона. Бетон облицовки имеет сильно выраженную пористую структуру, а местами даже распался на куски.

При глубине наполнения канала в 0,75 м потери из облицованного участка в пересчете на 1 км длины канала составили 36,0 л/сек, а в земляном русле — 38,1 л/сек (неустановившаяся фильтрация), т.е. эффективность облицовки оказалась очень низкой.

Доступные практические средства по борьбе с разрушением монолитной бетонной облицовки от действия солевой агрессии пока отсутствуют. Поэтому при выборе типа облицовки канала как средства борьбы с фильтрацией следует полнее учитывать воздействие всех внешних факторов, в особенности на канвлах сезонного или периодического действия.

В данной статье не анализируются причины ухудшения противofiltrационных свойств монолитной бетонной облицовки. Это большой самостоятельный вопрос, требующий дальнейшей разработки.

При благоприятных условиях монолитная бетонная облицовка — достаточно действенное средство борьбы с фильтрацией. Расчеты, основанные на экспериментальном материале, показывают, что на межхозяйственных канвлах применение монолитного бетона сокращает фильтрационные потери в среднем до трех раз, на внутрихозяйственной сети — в 4,5 раза.

Для определения фильтрационного расхода приводим формулы, расчеты по которым дают величины, близкие к определенным в полевых условиях.

Если грунтовые воды ниже отметки дна канала и канал работает в условиях свободной фильтрации, то фильтрационные потери на экранированного канала при соблюдении условия $K_3 \frac{h+\delta}{\delta} \ll K$ могут быть определены по формуле

$$q_3 = 11,6 K_3 \frac{h}{\delta} (b + h \sqrt{1 + m^2}), \quad (3)$$

где q_3 — расход на фильтрацию на 1 км длины в экранированном канале, л/сек;

K_3, K — коэффициент фильтрации экрана и подстилающего слоя, м/сутки;

h — глубина наполнения канала, м;

b — ширина канала по дну, м;

m — коэффициент заложения откоса;

δ — толщина экрана (облицовки), м.

Если грунтовые воды выше отметки дна канала, но ниже горизонта воды в канале на величину h_0 (подпорная фильтрация), то

$$q_3 = 11,6 K_3 \cdot \frac{h_0}{\delta} \left[\beta + (2h - h_0) \sqrt{1 + m^2} \right] . \quad (4)$$

Формула (4) применима при условии $h \geq h_0 \geq 0$ при $h_0 = 0$ расход $q_3 = 0$. В частности, если $h_0 = h$, то формулы (3) и (4) совпадают.

Потери из каналов со сборной железобетонной облицовкой

Сборная железобетонная облицовка каналов в Голодной степи в 1960-1965 гг. применялась довольно широко. Было облицовано около 80 км малых и средних каналов. В последующем более широкое применение получила монолитная бетонная облицовка и сборная облицовка с пленочным экраном.

Опыты, проведенные на каналах ЮР-23 и ЮР-18-I при глубине наполнения до 1,6 м, показали, что для каналов, откосы которых облицованы сборным железобетоном, дно - монолитным бетоном, а швы заделаны композициями на основе битумных мастик, среднее значение коэффициента фильтрации составляет $1,9 \cdot 10^{-5}$ см/сек. *2016 м/сут*

Сборная облицовка внутрихозяйственной оросительной сети сокращает фильтрационные потери в 2,5-3 раза.

Потери из каналов, облицованных железобетонными плитами с пленочным экраном (бетонопленочная облицовка)

Опытное применение бетонопленочной облицовки в Голодной степи начато в 1964 г., затем в более широких масштабах - в 1966-1969 гг. В настоящее время с такой облицовкой построено более 160 км средних и крупных каналов.

Основным элементом бетонопленочной облицовки является пленочный экран, который в условиях Голодной степи выполняется обычно из полиэтиленовой пленки толщиной в 0,2 мм, стабилизированной сажей, выпускаемой Рижским заводом полиэтиленовых изделий.

От целостности пленочного экрана полностью зависит эффективность облицовки.

Представление о снижении противофильтрационной эффективности канала с пленочным экраном, поврежденным сорной растительностью, дает табл.3.

Таблица 3

Количество повреждений, приходящихся на 1 м ² экрана	Степень сокращения фильтрацион- ных потерь из канала (во сколько раз)
1	2,9
3	2,4
5	2,3
8-10	1,8
20 и более	1,5

Эти данные получены по материалам лабораторных и полевых исследований на каналах с пленочными экранами, проложенными в суглинистых грунтах с глубиной наполнения до 1,5м.

В условиях Голодной степи обычно приходится одно-два повреждения на 18-26 м² экрана.

Натурные измерения, выполненные на каналах ЮР-18-1 и КТР-3-2, показали, что потери из каналов с бетонопленочной облицовкой сокращаются в 30-80 раз по сравнению с необлицованным руслом.

Для исчисления фильтрационных потерь из каналов с бетонопленочной облицовкой предлагается табл.4, основанная на натурных измерениях и теоретических расчетах (принято, что потери пропорциональны смоченному периметру канала).

Таблица 4

Расход канала, м ³ /сек	Сечение канала			Потери на 1км длины канала, л/сек
	глубина наполне- ния, м	ширина по дну, м	коэффици- ент залож- ения откосов	
До 1,0	0,85	1,0	1,0	0,3
5,0	1,40	1,5	1,5	0,5
10,0	1,80	2,0	1,5	0,7
20,0	2,30	3,0	1,5	1,0
50,0	3,20	4,0	2,0	1,8

Для защиты пленочного экрана следует применять плоские крупногабаритные плиты, которые при соблюдении соответствующих технологических операций практически исключают повреждение экрана сорняками.

Потери из каналов в земляном русле

Исследования, проведенные на внутрихозяйственных и межхозяйственных каналах в Центральной, Юго-западной и Юго-восточной частях Голодной степи, показали, что коэффициент фильтрации для каналов, проходящих в выемке, колеблется в пределах 0,2-0,5 м/сутки в среднем 0,3 м/сутки, а для каналов, построенных в насыпи, - 0,06-0,11 м/сутки, в среднем 0,08 м/сутки. Соответственно фильтрационные потери из каналов, проходящих в насыпи (при прочих равных условиях), в 2,5-4 раза меньше, чем из каналов, проходящих в выемке. Это объясняется тем, что при разработке грунтов механизмами с целью отсыпки основания каналов нарушается естественная макропористая структура, свойственная лессовым грунтам, уничтожаются ходы землероев и грунт уплотняется от проходов механизмов.

Натурные исследования и расчеты, основанные на них, показывают, что при сложившейся в Голодной степи гидрологической обстановке потери на 1 км длины из ЮГК составляют в среднем 76 л/сек, из Центральной ветки - 55 л/сек, Правого и Левого центральных отводов на необлицованных участках 53-64 л/сек, из межхозяйственных каналов в среднем около 40 л/сек и внутрихозяйственных каналов - около 30 л/сек.

Коэффициент полезного действия оросительной сети Голодной степи

На основе материалов натурных исследований потери на фильтрацию из оросительной сети Голодной степи при разных вариантах противофильтрационных мероприятий определяются данными табл.5.

Максимальные возможные потери на испарение с водной поверхности ирригационной сети составляют $4,8 \text{ м}^3/\text{сек}$, средние за вегетационный период - около $3,0 \text{ м}^3/\text{сек}$.

87 (49.4) 1.6 м/сек. и 1 м/сек.
65 (40) 1.6

Таблица 5

Наименование оросительной сети	Общая протяженность, км	Потери на фильтрацию, м ³ /сек для варианта сети			
		канавы-лотки	облицовка монолитным бетоном	сборная облицовка по пленке	земляное русло
Южный голодноостепский канал (ЮГК)	125,0	-	-	-	9,50
Центральная ветка	20,0	-	-	-	1,10
Правая центральная ветка	40,0	-	0,807	0,065	2,12
Левая центральная ветка	49,4	-	1,08	0,087	3,16
Межхозяйственные распределительные каналы	460,0	-	6,9	0,46	18,40
Внутрихозяйственные распределительные каналы	710,0	-	4,72	0,405	21,30
Участковые распределители, смонтированные из лотков					
Лр-60	3000	1,92 ^{х)}	-	-	105,0
Лр-80	2960	2,70 ^{х)}	-	-	
Лр-100	1010	2,52 ^{х)}	-	-	

х) С учетом испарения с водной поверхности.

С учетом полученных данных нами определен коэффициент полезного действия оросительной сети Голодной степи для трех вариантов.

В а р и а н т I. Вся оросительная сеть выполнена в земляном русле, без облицовки. Суммарные потери составляют 164 м³/сек. При головном расходе Южного голодноостепского канала в 300 м³/сек коэффициент полезного действия системы - 0,454.

В а р и а н т II (проектный). Южный голодноостепский канал и Центральная ветка выполнены в земляном русле, без облицовки. Правая и Левая центральные ветки, межхозяйственные и внутрихозяйствен-

ные каналы облицованы монолитным бетоном. Участковые распределители - в лотках. Суммарные потери составляют $34,7 \text{ м}^3/\text{сек}$. Коэффициент полезного действия системы - 0,885.

В а р и а н т III. Южный голодноостепский канал и Центральная ветка выполнены в земляном русле, без облицовки. Правая и Левая ветки, междохозяйственные и внутрихозяйственные распределители - с бетонопленочной облицовкой, участковые распределители - в лотках. Суммарные потери составляют $22,2 \text{ м}^3/\text{сек}$. Коэффициент полезного действия системы - 0,927.

Учитывая, что значительная часть внутрихозяйственных и междохозяйственных каналов выполняется в бетонопленочной облицовке, которая в противофильтрационном отношении более эффективна, чем монолитная бетонная облицовка, фактически коэффициент полезного действия оросительной сети Голодной степи составит 0,90.

Указанные значения коэффициента полезного действия системы подсчитаны без учета технических потерь, которые зависят от степени оснащённости хозяйств поливной техникой, качества строительства и условий эксплуатации оросительной сети и т.д.

Установление величины технических потерь на оросительных системах должно явиться предметом самостоятельных исследований.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. С.Л. Миркин. Коэффициент полезного действия оросительных систем Средней Азии и пути его повышения. Сб. "Вопросы использования водных ресурсов Средней Азии". Труды Арало-Каспийской экспедиции, вып. III, М., 1954.
2. Научно-технический отчет "Определение коэффициента полезного действия лотков-каналов и каналов, облицованных монолитным бетоном". Ташкент, Средазгипроводхлопок, 1969.
3. Сводный научно-технический отчет "Исследования по отработке конструкций и технологии строительства облицовок каналов из сборных железобетонных плит со стана Козлова" за 1967-1969 гг. Ташкент, Средазгипроводхлопок, 1969.
4. Научно-технический отчет "Обобщение материалов по определению коэффициента полезного действия каналов Голодной степи". Ташкент, Средазгипроводхлопок, 1969.

5. Научно-технический отчет "Исследование потерь на фильтрацию из каналов и установление расчетной зависимости для потерь в слоистую толщу лессовидных суглинков Голодной степи". М., ВНИИГим, 1965.
6. Г.В.Абелишвили, Т.Г.Жордания. Новые приборы для измерения фильтрационных потерь из каналов. Труды ГрзНИИГим, вып. 23, Тбилиси, 1965.
7. В.А.Олахнович, В.И.Ермаков, А.Ф.Пузанов. Исследования фильтрационных потерь из каналов Ингулецкой оросительной системы. Сб. "Водное хозяйство", вып. 3, Киев, 1965.
8. В.А.Шилин. Натурные исследования фильтрации из канале Ингулецкой оросительной системы. Межведомственный республиканский научно-технический сборник "Водоснабжение, канализация, гидротехнические сооружения", вып. УП. Гидротехнические сооружения. Киев, изд-во "Будивельник", 1968.
9. В.М.Насберг, М.Г.Элбакидзе. Вычисление коэффициента фильтрации бетона марок В2, В4, В8, определяемых по ГОСТу 4795-59. Изв. ТНЦГЭИ, т. 9, 1966.

Ф. В. СЕРЕБРЕННИКОВ

кандидат технических наук

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОЙ СКВАЖНОСТИ
ДРЕНАЖНЫХ ТРУБ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Принятая в инженерной практике величина скважности трубчатой линии закрытой дрены получена чисто эмпирическим путем. Число лабораторных исследований, в которых затрагивался этот вопрос, крайне незначительно.

С. К. Абрамов провел серию опытов в прямоугольных секторных лотках с дренажными трубами, снабженными щелевидными водоприемными отверстиями [1]. От опыта к опыту менялись размеры отверстий, их суммарная площадь, расположение отверстий на поверхности труб и размещение самих дренажных труб — на некотором расстоянии от дна лотка и непосредственно на дне. На основе опытных данных С. К. Абрамов пришел к выводу, что размеры водоприемных отверстий, их количество и расположение практически не влияют на водозахватную способность дрены. Аналогичный вывод был сделан А. И. Климов и В. И. Костиковым при испытании дренажных труб из полихлорвинила в прямоугольных фильтрационных лотках [2]. Поэтому в указанных работах не был поставлен вопрос о рациональной скважности дренажных труб. В них не было дано объяснения, почему расход, поступающий в дренаж, не зависит от числа водоприемных отверстий, т. е. от скважности трубчатой линии.

Определенный интерес представляют опыты А. Я. Тулаева [3], который изучал влияние ширины зазора и длины звеньев труб на приток воды к дренам при осушении земляного полотна автомобильных

дорог. К сожалению, рекомендации Тулаева в отношении длины звеньев труб не могут быть использованы в мелиоративном строительстве из-за специфики работы дренажа в дорожном полотне.

Отметим, что влияние суммарной площади круглых отверстий на величину притока в скважину исследовалось Г.Г.Поляковым [7]. Однако эксперименты, выполненные Поляковым, не были достаточно обоснованы с теоретической стороны. Например, автор не воспользовался методом последовательного сложения сопротивлений, предложенным И.А.Чарным, что привело к неоправданному усложнению расчетных формул. Кроме этого, рекомендации Полякова относятся к скважинам вертикального дренажа.

На основании изложенного заключаем, что вопрос о рациональной скважности трубчатой линии изучен недостаточно. В связи с этим в 1967-1968 гг. были поставлены специальные опыты в лабораторных условиях.

В основу проведения опытных работ легли следующие соображения. Для приема грунтовой воды трубчатая линия снабжается водоприемными отверстиями различного вида: зворами в месте соединения труб, круглыми отверстиями, прорезями продольными и поперечными. Наличие водоприемных отверстий в общем случае создает дополнительное фильтрационное сопротивление, на преодоление которого затрачивается некоторая часть действующего напора. Величина дополнительных потерь напора определяется суммарным дополнительным сопротивлением, составляющими которого являются:

$\xi_{скв}$ - сопротивление, обусловленное наличием у дренажных труб водоприемных отверстий;

$\xi_{лф}$ - сопротивление, вызванное изменением проницаемости фильтра;

$\xi_{вх}$ - сопротивление на вход воды в полость труб;

$\xi_{ли}$ - сопротивление, связанное с нарушением линейного закона фильтрации.

Анализ каждого из перечисленных сопротивлений показывает, что при рассмотрении характера притока грунтовой воды к закрытой горизонтальной дрене сопротивлениями $\xi_{вх}$ и $\xi_{ли}$ можно пренебречь. Сопротивления $\xi_{скв}$ и $\xi_{лф}$ целесообразно рассматривать как одно сопротивление $\xi_{сф}$.

Не приводя соответствующие теоретические зависимости, укажем, что по сравнению с прочими факторами наибольшее влияние на величину $\xi_{сф}$ оказывает изменение скважности трубчатой линии. С ростом скважности уменьшается $\xi_{сф}$ и, следовательно, сокращается величина дополнительных потерь напора Δh . На основе этого предлагаются два подхода к определению рациональной скважности дренажных труб. За рациональную принимается скважность:

1) начиная с которой потери Δh будут практически равны нулю, благодаря чему приток в дренаж сравняется с максимально возможным в данных условиях; 2) при которой потери Δh равны некоторой допустимой величине, например высоте слоя фильтра над дренажными трубами. При этом депрессионные поверхности будут смыкаться в верхней точке дренажа. Существенно отметить, что приток в дренаж практически не изменится, так как уменьшение величины действующего напора компенсируется увеличением водоприемной поверхности фильтра и рассредоточением за счет этого потока грунтовой воды у дренажа.

Первый подход позволяет найти максимальное число отверстий, превышать которое нецелесообразно, так как это не будет сопровождаться увеличением притока воды в дренаж. Вторым подходом позволяет установить минимальное число отверстий. Дальнейшее сокращение числа отверстий может привести к ощутимому уменьшению притока в дренаж.

С этих позиций выводы, полученные в работах [1,2], легко объяснимы: при проведении опытов в лотках диапазон изменения скважности дренажных труб лежал выше верхнего предела рациональной скважности, начиная с которой дополнительные потери напора практически равны нулю, а приток в дренаж — максимально возможному в данных условиях.

Опыты по определению рациональной скважности проводились в секторных фильтрационных лотках с центральным углом 90° . Боковые стенки каждого лотка снабжены 75 отверстиями для установки пьезометров: 35 отверстий на левой стороне и 40 — на правой. В опытах использовались пьезометры, в конструкцию которых входили медные трубки. Благодаря различной длине медных трубок измерялся напор на различном удалении от оси трубы.

В лотках создавалось рациональное движение за счет разности напора в аванкамере и дренажной трубе. В аванкамеру вода подза-

валясь из питающего бачка. При различной высоте размещения бачка менялась величина действующего напора H .

Сток из лотка замерялся объемным способом. При проведении опыта фиксировалась температура для учета температурной поправки.

В секторных лотках были испытаны полиэтиленовые трубы с $D_H = III$; 164 и 224 мм, снабженные круглыми отверстиями или поперечными прорезами.

В стенках труб $D_H = III$ мм сверлились отверстия диаметром 1,8; 2,8; 3,3 и 4,2 мм. В стенках труб $D_H = 164$ мм сверлились отверстия 2,0; 2,5; 3,0; 4,0 и 5,0 мм. В стенках труб $D_H = 224$ мм сверлились отверстия диаметром 2,5; 3,3; 4,2; 5,5 мм. Отверстия располагались в шахматном порядке.

От опыта к опыту при данном диаметре отверстий общее число их удваивалось.

Для труб с $D_H = III$ мм во всех случаях, начиная с $p=0,25\%$, дальнейшего увеличения притока при прочих равных условиях не наблюдалось. То же самое было отмечено и для труб с $D_H = 164$ мм и $D_H = 224$ мм, начиная со скважности, равной соответственно $p=0,20$ и $0,16\%$.

Несмотря на это, во всех случаях делался дополнительный замер при суммарной скважности порядка 4-5%.

Кроме круглых отверстий, были испытаны поперечные прорезы. Для труб с $D_H = III$ мм ширина прорезов составила 1,4; 2,25 и 4,3 мм, для труб с $D_H = 164$ мм - 1,55; 2,25 и 3,8 мм, для труб с $D_H = 224$ мм - 1,2; 2,0 и 2,9 мм. По длине трубы прорезы размещались на расстояниях в 20; 40; 60; 80 и 160 см друг от друга.

Поперечные прорезы в отношении притока воды к трубе аналогичны зазорам в месте соединения гончарных труб. Поэтому расстояние между прорезами соответствует длине звена трубы (S).

В лотки путем отсыпки в воду загружалась песчано-гравийная смесь Илансайского карьера ($D_{50} = 1,2$ мм, $\eta = 7-8$).

Каждый тип водоприемных отверстий испытывался при различных напорах, обычно равных 0,2-0,25; 0,35-0,40 и 0,55-0,65 м.

При проведении опытов записывались показания пьезометров.

Было установлено, что зона влияния круглых отверстий на характер фильтрационного потока не превышает расстояния между отверстиями, а влияние зазора (прореза) ограничивается расстоянием, равным длине звена трубы.

Во всех опытах делался контрольный замер при суммарной скважности порядка 4-5%. По данным контрольного замера вычислялся коэффициент фильтрации по следующей формуле

$$K_{10} = \frac{Q_n \Phi_0}{11,6 \tau H S_n} \quad (1)$$

где K_{10} - коэффициент фильтрации при температуре воды, равной 10°C , м/сутки;

Q_n - расход воды, поступающей из лотка, $\text{см}^3/\text{сек}$; $11,6$ - коэффициент, позволяющий переводить $\text{см}^3/\text{сек}$ в $\text{м}^3/\text{сутки}$;

τ - температурная поправка по Хазену;

H - действующий напор, м; S_n - длина лотка, равная 1,6 м;

Φ_0 - фильтрационное сопротивление, определяемое геометрическими размерами области фильтрации; вычисляется по формуле [5]:

$$\Phi_0 = \frac{2}{\pi} \text{Arsh} \left\{ \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\text{sn} \left[\frac{1,854}{a} (a-r) \sqrt{\frac{1}{2}} \right]}{\text{cn} \left[\frac{1,854}{a} (a-r) \sqrt{\frac{1}{2}} \right]} \right\} \quad (2)$$

где a - высота лотка;

r - наружный радиус трубы;

sn и cn - эллиптические синус и косинус Якоби;

Arsh - гиперболический арксинус.

Зная размеры секторного лотка, для труб с $r = 0,0555$ м получаем $\Phi_0 = 1,52$, а для труб с $r = 0,082$ и $0,112$ м соответственно $\Phi_0 = 1,27$ и $\Phi_0 = 1,02$ ($a = 0,55$ м).

Величина суммарного сопротивления $\sum \Phi$ в опытах вычислялась по выражению

$$\sum \Phi = 18,5 \frac{H}{Q_n} \tau K \quad (3)$$

По данным опытов были построены графики зависимости

$$\sum \Phi = f(r) \text{ и } \sum \Phi = f(s_0).$$

В соответствии с изложенным выше по этим графикам рациональную скважность в случае круглых отверстий и рациональную длину звеньев дренажных труб определяли, исходя из двух условий:

- 1) дополнительные потери напора Δh практически равны нулю;
- 2) потери Δh равны некоторой допустимой величине.

Первое условие выполняется при $\sum \Phi = \Phi_0$, второе - если считать $\sum \Phi = \Phi_0 + \Delta \Phi$. Дополнительное сопротивление $\Delta \Phi$ вы-

числялось по формуле

$$\Delta \Phi = \frac{4 K_{\Phi} \Delta h'}{Q_p}, \quad (4)$$

где $\Delta h'$ — допустимая величина дополнительных потерь испора, м;
 K_{Φ} — коэффициент фильтрации фильтра дрены, м/сутки;
 Q_p — расчетный приток в дренаж с двух сторон на I пог.м,
м³/сутки.

Для условий Голодной степи можно принять с запасом
 $Q_p = 1$ м³/сутки, $K_{\Phi} = 5$ м/сутки и $\Delta h' = 7,5$ см (половина тол-
щины слоя фильтра над трубами). Тогда $\Delta \Phi = 1,5$.

Сведения о рациональной скважности и длине звеньев труб
при условии, что $\Delta h = 0$ и $\Delta h' = 7,5$ см, приведены в табл.
I и 2. Отметим, что для труб диаметром 164 и 224 мм данные о дли-
не звеньев труб отсутствуют, так как при $\Delta \Phi = 1,5$ значения S_0
превышают те, которые были испытаны в секторных лотках (табл. I
и 2).

На рис. I по данным табл. I построен график зависимости числа
круглых отверстий на I пог.м от величины их диаметра. Располо-
жение опытных точек на поле чертежа позволяет сделать важный вы-
вод о том, что число отверстий на I пог.м при заданном размере
отверстия не зависит от диаметра трубы и, следовательно, кривые
 $N = f(D_{отв})$ на рис. I имеют универсальный характер.

Поэтому рациональное число перфорационных отверстий на I
пог.м дренажной трубы (независимо от ее диаметра) рекомендуется
подбирать в соответствии с кривыми, изображенными на рис. I, или
по следующей эмпирической формуле:

$$N = \frac{26,4}{D_{отв}}, \quad (5)$$

где $D_{отв}$ — диаметр круглого отверстия, см.

На рис. 2 по данным табл. 2 построен график зависимости суммар-
ной площади стыковых зазоров, приходящихся на I пог.м, от вели-
чины зазора в месте соединения труб. Как и ранее, положения опытных
точек определяется величиной зазора и не зависит от диаметра
трубы. Сказанное подтверждается анализом соответствующих теорети-
ческих зависимостей. Для верхней прямой рис. 2 нами подобрана
зависимость $\sum w_{зазор} = 46 C + 12,2$. С другой стороны, зная, что

$$\sum w_{зазор} = \frac{\pi D_n C 100}{S_0}, \quad (6)$$

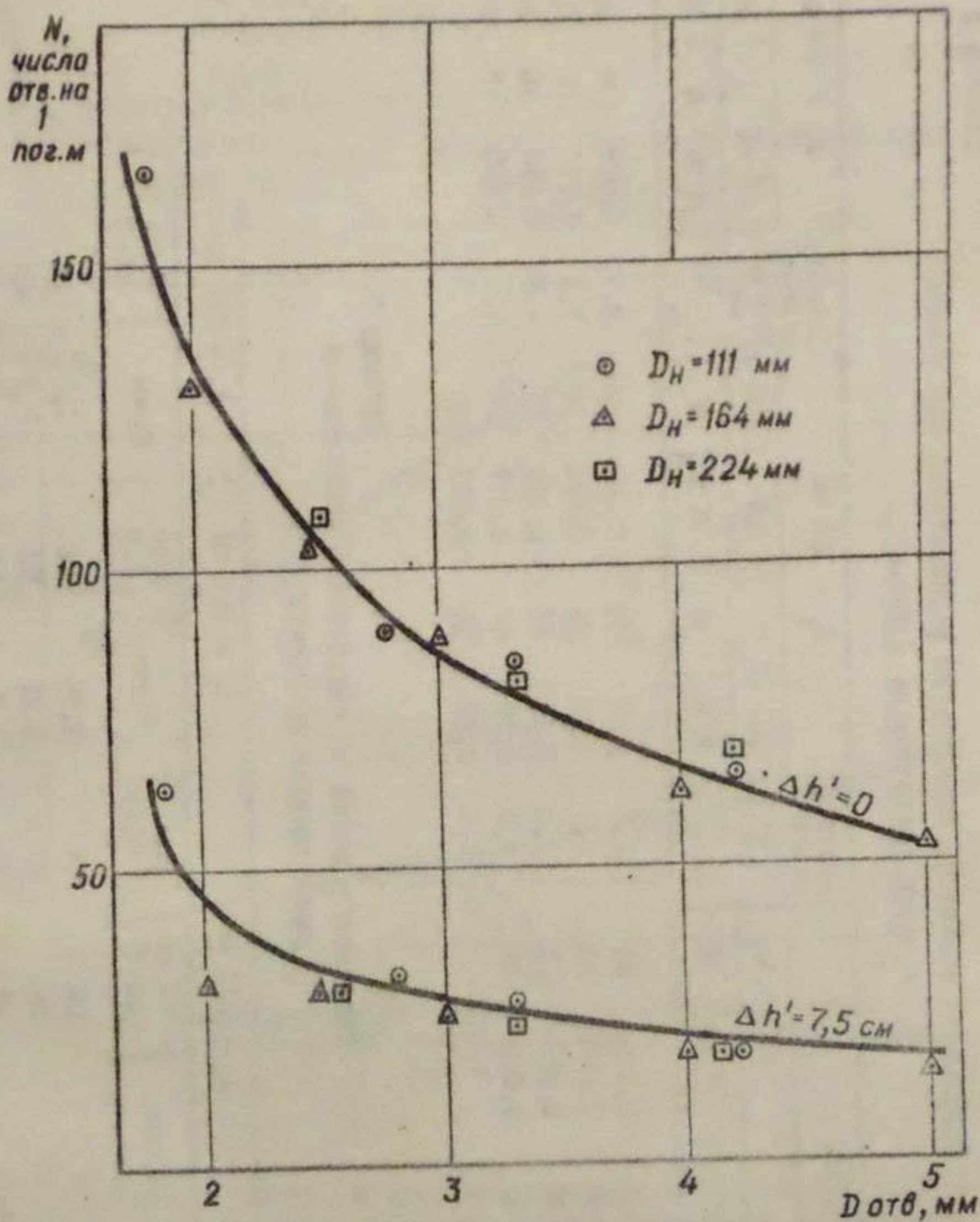


Рис. I. Зависимость числа круглых отверстий на 1 пог. м от величины их диаметра.

Таблица 1

Результаты опытов по определению рациональной скважности
и числа отверстий на I пог.м

Диаметр отверстий, мм	$D_H = 111 \text{ мм}$			Диаметр отвер- стий, мм			$D_H = 164 \text{ мм}$			Диаметр отвер- стий, мм			$D_H = 224 \text{ мм}$		
	$\Delta h' = 0$			$\Delta h' = 7,5 \text{ см}$			$\Delta h' = 0$			$\Delta h' = 7,5 \text{ см}$			$\Delta h' = 0$		
	$P, \%$	N	$P, \%$	N	$P, \%$	N	$P, \%$	N	$P, \%$	N	$P, \%$	N	$P, \%$	N	
1,5	0,12	165	0,045	62	2,0	0,08	131	0,023	38	2,5	0,075	108	0,021	30	
2,8	0,16	91	0,054	31	2,5	0,10	105	0,028	30	3,3	0,100	82	0,029	24	
3,3	0,20	82	0,065	27	3,0	0,12	88	0,036	27	4,2	0,130	66	0,037	19	
4,2	0,25	63	0,076	19	4,0	0,15	62	0,047	20	5,5	0,160	47	0,047	14	
					5,0	0,20	53	0,061	16						

Таблица 2

Результаты опытов по определению рациональной
длины звеньев дренажных труб

$D_H = 111 \text{ мм}$			$D_H = 164 \text{ мм}$			$D_H = 224 \text{ мм}$		
$C, \text{ мм}$	$S, \text{ см}$ $\Delta h' = 0$	$S, \text{ см}$ $\Delta h' = 7,5 \text{ см}$	$C, \text{ мм}$	$S, \text{ см}$ $\Delta h' = 0$	$S, \text{ см}$ $\Delta h' = 7,5 \text{ см}$	$C, \text{ мм}$	$S, \text{ см}$ $\Delta h' = 0$	$S, \text{ см}$ $\Delta h' = 7,5 \text{ см}$
1,4	26	54	1,55	41	46	1,2	46	46
2,25	36	85	2,25	51	64	2,0	64	64
4,3	48	111	3,8	63	76	2,9	76	76

получаем выражение для вычисления рациональной длины звена трубы:

$$S = \pi D_H \frac{100C}{46C + 12,2} \quad (7)$$

где D_H - наружный диаметр трубы;

C - ширина зазора (все размеры в см). В (6) для простоты принято $S_0 \approx S$.

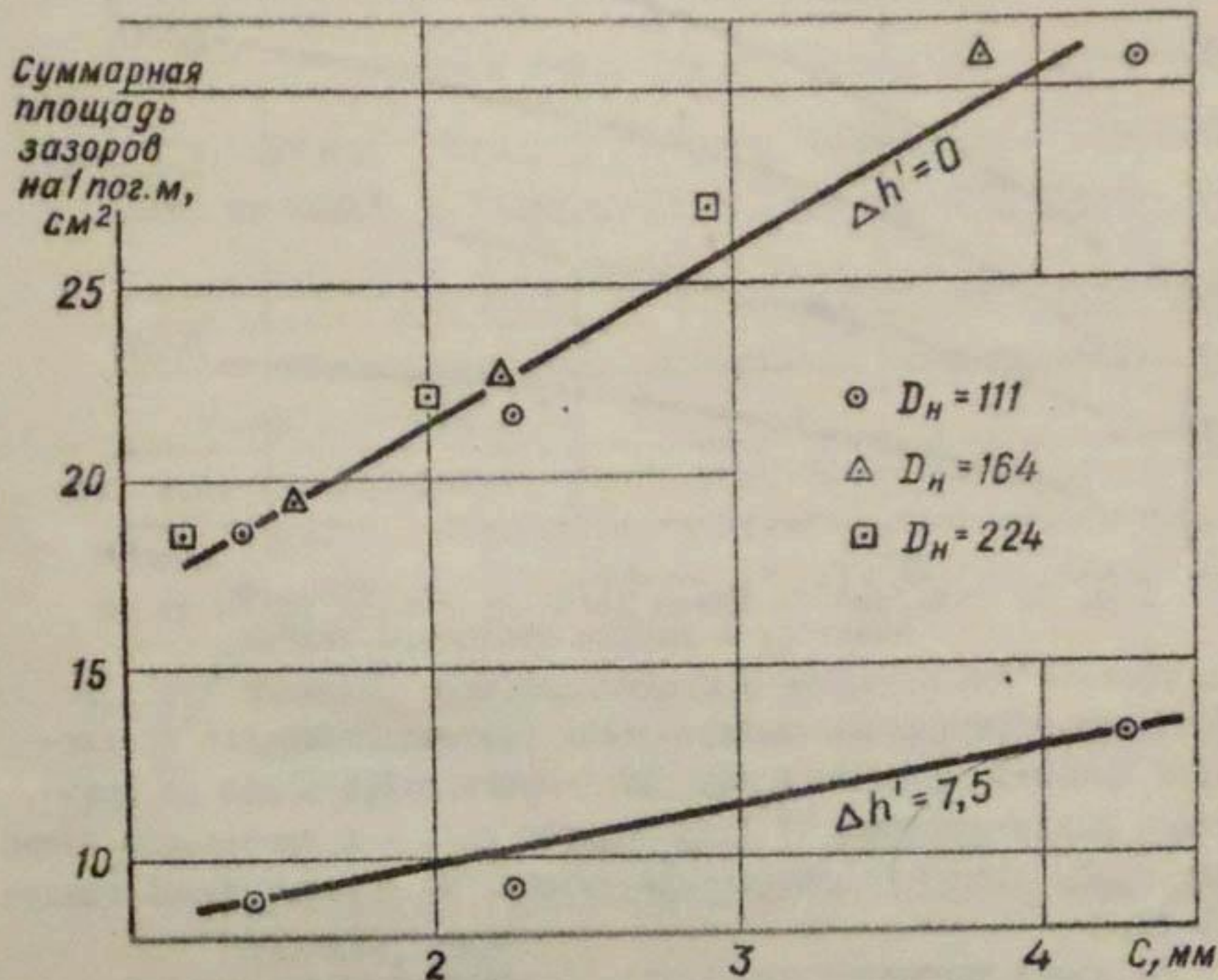


Рис. 2. Зависимость суммарной площади стыковых зазоров на 1 пог.м от величины зазора в месте соединения труб.

Результаты расчета в графической форме представлены на рис. 3, которым и рекомендуется пользоваться при назначении длины звена дренажной трубы.

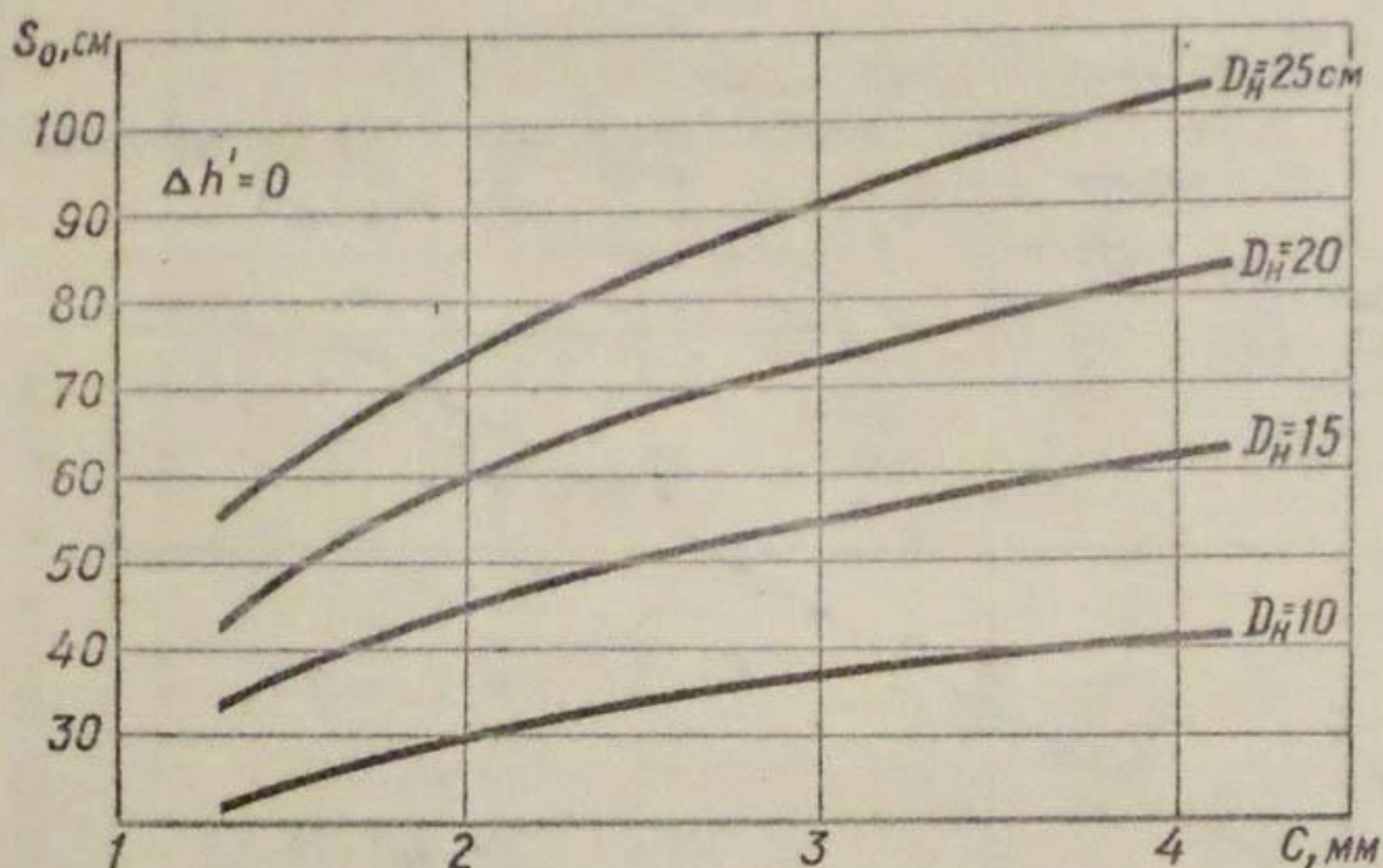


Рис. 3. Зависимость длины звена дренажной трубы от ее диаметра и ширины стыкового зазора.

Таким образом, при выборе числа круглых отверстий предлагается снизить скважность трубчатой линии в 2,5-5 раз по сравнению с рекомендациями ТУ Гипроводхоза [6], а к назначению длины звена трубы подходить дифференцированно, не ограничиваясь длиной в 70 см.

Рабочими чертежами института "Среднегипроводхлопок" с 1969г. предусматривается сверление 80 отверстий на I пог.м ($D_H = 159$ мм - $p = 0,315\%$, $D_H = 215$ мм - $p = 0,232\%$). Уменьшение скважности трубчатой линии было сделано с учетом опытных данных, полученных в лаборатории в 1968г. Ранее стоимость перфорации I пог.м трубы составляла 1,02 руб., в настоящее время за счет уменьшения числа водоприемных отверстий стоимость перфорации I пог.м асбестоцементной трубы снизилась до 0,62 руб., в полимерной - до 0,4 руб. Вместо 80 отверстий предлагается сверлить 50,

что позволит снизить стоимость перфорации I пог.м с 0,62 до 0,39 руб. и с 0,40 до 0,23 руб.

Результаты лабораторных работ 1967г. были учтены при составлении "Технических условий на трубы керамические дренажные раструбные", вступивших в действие в 1968г. По ориентировочным расчетам увеличение длины звеньев дренажных труб снизит стоимость I пог.м в деле на 8-11%.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. С.К.Абрамов. Подбор фильтрующих обсыпок для горизонтальных дренажей. Научные сообщения. Гидрогеология. М., Изд-во ВНИИВОДГЕО, 1962.
2. А.И.Климко, В.И.Костиков. О толщине стенок пластмассовых дренажных труб и их перфорации. "Гидротехника и мелиорация", 1967, № 3.
3. А.Я. Тулаев. Регулирование водного режима земляного полотна. В кн. "Проектирование и возведение земляного полотна железных и автомобильных дорог". М. -Л., Изд-во АН СССР, 1950.
4. Г.Г.Поляков. Экспериментальные исследования влияния перфорации скважины на приток при линейной фильтрации жидкости. Изв. вузов, серия "Нефть и газ", 1959, № 12.
5. Ф.В. Серебренников. Фильтрация в секторном лотке при прямолинейном контуре питания. Труды САНИАРИ, вып. II9, Ташкент, 1969.
6. Технические указания по проектированию горизонтального дренажа засоленных земель. М., Гипроводхоз, 1964.

Ф.В. СЕРЕБРЕННИКОВ
кандидат технических наук

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ У ВОДОПРИЕМНЫХ ОТВЕРСТИЙ НА ПРИТОК ВОДЫ В ДРЕНУ

Для приема грунтовой воды трубчатые линии закрытых дрен имеют водоприемные отверстия различного вида: зазоры в месте соединения труб, круглые отверстия, продольные или поперечные щели. Наличие водоприемных отверстий создает дополнительное фильтрационное сопротивление, на преодоление которого тратится некоторая часть общего действующего напора. Относительное уменьшение притока грунтовой воды в дренах в связи с дополнительными потерями напора в общем случае описывается формулой

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{\Phi_1}{\Phi_1 + \frac{1}{\alpha} \frac{K_1}{K_2} (\Phi_0 + \xi)}, \quad (I)$$

где Φ_1 - фильтрационное сопротивление заданной области фильтрации;
 Φ_0 - фильтрационное сопротивление фильтра дрены;
 ξ - дополнительное сопротивление, вызванное несовершенством дренажных труб по характеру вскрытия водоносного грунта;
 K_1 - коэффициент фильтрации дренируемого грунта;
 K_2 - коэффициент фильтрации фильтра;
 α - величина, учитывающая смоченный периметр дрены - при круговом контуре питания $\alpha = 2\pi$, при полукруговом $\alpha = \pi$.

Имеется большое количество работ, в которых сопротивление ξ определено теоретически или экспериментально — на электрических моделях при условии, что фильтрация имеет место в однородной изотропной пористой среде (М. Маскет, М.Н. Тихов, В.И. Шуров, Д. Кирхем, Ф. Энгелунд и др.). Графики относительного притока, построенные по этим материалам, приведены в работах [1-4, 14]. Они удобны тем, что дают наглядное представление о характере роста относительного притока по мере увеличения скважности трубчатой линии.

При рассмотрении графиков обращает на себя внимание резкое расхождение результатов теоретических и экспериментальных исследований с данными практики.

Опыт применения закрытого горизонтального дренажа в СССР и за рубежом показывает, что скважность порядка 0,3-0,7% от внешней поверхности трубы вполне достаточна для своевременного приема грунтовой воды [5-7, 15]. Дополнительная перфорация стенок гончарных труб длиной 0,3 м оказалась излишней, так как не способствовала увеличению притока воды в дрены [8, 16].

Согласно же графикам относительного притока при скважности 0,3-0,7 приток на I пог.м Q составляет всего 40-50% от Q_0 — величины притока к дрению, совершенной по характеру вскрытия. Это означает, что около половины действующего напора теряется при входе грунтовой воды в водоприемные отверстия. Даже при увеличении скважности до 2-3% величина Q составляет всего лишь 60-75% от Q_0 .

Для объяснения отмеченного противоречия прежде всего следует установить, насколько верно отражены реальные условия работы закрытой дрены в экспериментах и при выводе теоретических формул. Представляется, что наиболее существенное допущение заключено в условии недеформируемости среды, в которой происходит фильтрация. Следовательно, графики относительного притока справедливы лишь для случая, когда дренажные трубы находятся в статически жесткой пористой среде. Реальные грунты таким свойством не обладают. Они не являются абсолютно прочными, способными, не разрушаясь, испытывать воздействия гидродинамических сил. Напротив, большинство грунтов при определенных значениях градиента подвержено фильтрационным деформациям. Величина разрушающего, или критичес-

кого, градиента для данного вида грунта зависит от ряда факторов: механического состава, объемного веса, текстуры, числа пластичности, характера нагрузки, направления скорости фильтрации и др. [9, 10]. Например, локальные разрушения грунта в виде полостей у стыковых зазоров подтверждаются наблюдениями за работой закрытого трубчатого дренажа [8, 11, 17].

В свете сказанного представляет интерес хотя бы приближенно оценить влияние фильтрационных деформаций, развивающихся у водоприемных отверстий, на приток воды в дренаж.

В дальнейшем принимается, что в результате суффозии в некотором локальном объеме грунта, прилегающем к водоприемным отверстиям, происходит или переформирование частиц, или полное разрушение и вынос грунта. Такие явления, например, наблюдались при проведении опытов с фильтрами и грунтами в лаборатории фильтрации САННИРИ [12].

Ограничимся случаем, когда дренажные трубы вскрыты круглыми отверстиями радиусом ρ_0 (рис. 1).

Для определения расхода q_0 , притекающего к одному отверстию, запишем формулу

$$q_0 = \kappa \omega_r j_r \quad (2)$$

Здесь κ — коэффициент фильтрации грунта;

ω_r — площадь эквипотенциальной поверхности на расстоянии r от центра отверстия;

j_r — значение градиента на расстоянии r .

Полагая, что эквипотенциальные поверхности вблизи круглых отверстий имеют форму полусферы, предыдущей формуле придадим вид

$$q_0 = \kappa 2\pi r^2 j_r \quad (3)$$

Расстояние r , на котором градиент достигает критической величины j_{kr} , обозначим через ρ_{kr} . Тогда

$$\rho_{kr} = \sqrt{\frac{Q_p}{2\pi\kappa j_{kr} N}} \quad (4)$$

где Q_p — расчетный приток на 1 пог.м;

N — число отверстий на 1 пог.м.

Предположим, что в результате суффозии в зоне от ρ_0 до ρ_{kr} произошло переформирование частиц грунта, причем водопроницаемость пористой среды изменилась так, что в пределах от ρ_0 до ρ_{kr}

градиент остается постоянным и равным $J_{кр}$ (рис. I).

Полагая $J_{кр} = \frac{\Delta h_1}{\rho_{кр} - \rho_0}$, по аналогии с формулой Дарси, для зоны $\rho_0 \leq r \leq \rho_{кр}$ можно записать

$$q_0 = \kappa_r 2\pi r^2 \frac{\Delta h_1}{\rho_{кр} - \rho_0}, \quad (5)$$

где κ_r - переменный коэффициент фильтрации;
 Δh_1 - потери напора на участке $\rho_{кр} - \rho_0$.

Формула (5) справедлива для всей зоны от ρ_0 до $\rho_{кр}$, включая границы. Принимая $r = \rho_{кр}$ и, следовательно, $\kappa_r = \kappa$, получим

$$q_0 = \frac{2\pi\kappa\Delta h_1}{\frac{\rho_{кр}^2 - \rho_0^2}{\rho_{кр}}}. \quad (6)$$

С некоторым запасом для участка $r > \rho_{кр}$ в соответствии с формулой Дюпюи можно записать

$$q_0 = \frac{2\pi\kappa\Delta h_2}{\frac{1}{\rho_{кр}}}. \quad (7)$$

Пользуясь правилом производных пропорций [13], которое формально отражает правило сложения последовательно расположенных фрагментов (сопротивлений), на основе двух последних формул получаем выражение для определения расхода с учетом зоны с измененной водопроницаемостью

$$Q = \frac{2\pi\kappa\Delta h}{\frac{1}{N} \frac{\rho_{кр}^2 - \rho_0^2}{\rho_{кр}}}, \quad (8)$$

где $\Delta h = \Delta h_1 + \Delta h_2$ - дополнительные потери напора.

Знаменатель этой формулы представляет собой сопротивление $\xi_{сф}$, которое, кроме сопротивления, вызванного наличием у дренажных труб водоприемных отверстий, учитывает развитие фильтрационных деформаций.

Если же фильтр вокруг труб отсутствует, приток к одиночной дрене или находящейся в системе определяется формулой

$$Q = \frac{\kappa h}{\varphi_1}, \quad (9)$$

где h - действующий напор без учета дополнительных потерь напора.

Применяя еще раз правило производных пропорций к формулам (8) и (9), получим (при круговом контуре питания дрены)

$$Q = \frac{\kappa H}{\Phi_1 + \frac{1}{2\pi} \frac{1}{N} \frac{2\rho_{кр} - \rho_0}{\rho_{кр}^2}} \quad (10)$$

Здесь H - общий действующий напор, равный $h + \Delta h$.

В дальнейшем следует учитывать два возможных случая:

1) $Q = const$; 2) $H = const$.

Обратимся к первому случаю. При $Q = const$ на расстоянии $\rho_{кр}$ от отверстия градиент достигает критической величины. В результате суффозии в некотором объеме грунта, прилегающем к отверстию, образуется зона с увеличенной водопроницаемостью. Благодаря этому дополнительные потери напора сократятся, за счет чего уменьшится общий действующий напор. Величина $\rho_{кр}$ находится по формуле (4).

Второй случай более интересен. Образование зоны с измененной проницаемостью при $H = const$ приведет к увеличению Q . Следствием этого явится увеличение размеров зоны, что в свою очередь вызовет увеличение притока и т.д. Процесс этот затухающий. В итоге $\rho_{кр}$ достигнет некоторой максимальной величины при данном $H = const$.

Исходя из сказанного, на основе формул (4) и (10) получим выражение для определения максимального значения:

$$\rho_{кр} = \frac{\sqrt{1 + 2\pi N \Phi_1 \left(\rho_0 + \frac{H}{2\rho_{кр}}\right)} - 1}{2\pi N \Phi_1} \quad (11)$$

Если процесс суффозии приводит к разрушению грунта у отверстия в зоне $r \leq \rho_{кр}$, то для определения максимального значения

$$\rho_{кр} \text{ служит формула } \rho_{кр} = \frac{\sqrt{1 + 8\pi N \Phi_1 \frac{H}{\rho_{кр}}} - 1}{4\pi N \Phi_1} \quad (12)$$

Перейдем теперь к оценке влияния фильтрационных деформаций на приток воды в дренау. Для сопоставления с результатами Киркема и Швэба в качестве расчетной схемы фильтрации примем приток к одиночной горизонтальной дренае, заложенной на глубине t от поверхности земли. Как известно, для такой схемы $\Phi_1 = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{2t}{r_0}$, где r_0 - наружный радиус дренажных труб. Условимся также, что под действием суффозии происходит изменение водопроницаемости в грунте, прилегающем к отверстиям (имеются в виду круглые отверстия).

Тогда на основе предыдущих формул получим следующее выражение для величины относительного притока:

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{\ln \frac{2t}{r_0}}{\ln \frac{2t}{r_0} + \frac{1}{N} \frac{2\rho_{кр} - \rho_0}{\rho_{кр}^2}} \quad (13)$$

$\rho_{кр}$ определяется по формуле:

$$\rho_{кр} = \frac{\sqrt{1 + N \ln \frac{2t}{r_0} \left(\rho_0 + \frac{H}{2\rho_{кр}} \right)} - 1}{N \ln \frac{2t}{r_0}} \quad (14)$$

Так же, как в примере у Кирхема и Швэба, примем $t = 2,4 \text{ м}$, $r_0 = 7,6 \text{ см}$, $\rho_0 = 3,1 \text{ мм}$ [3]. Кроме этого, положим $\frac{H}{2\rho_{кр}} = 0,5$.

По результатам расчета на рис. 2 построены соответствующие кривые по данным В.И. Шурова [2] и по формуле И.А. Чарного [17]

$$\xi = \frac{3,2}{N d_{омб}} \quad (15)$$

Характер кривых на рис. 2 говорит о решающем значении фильтрационных деформаций в увеличении водозвхватной способности дрены.

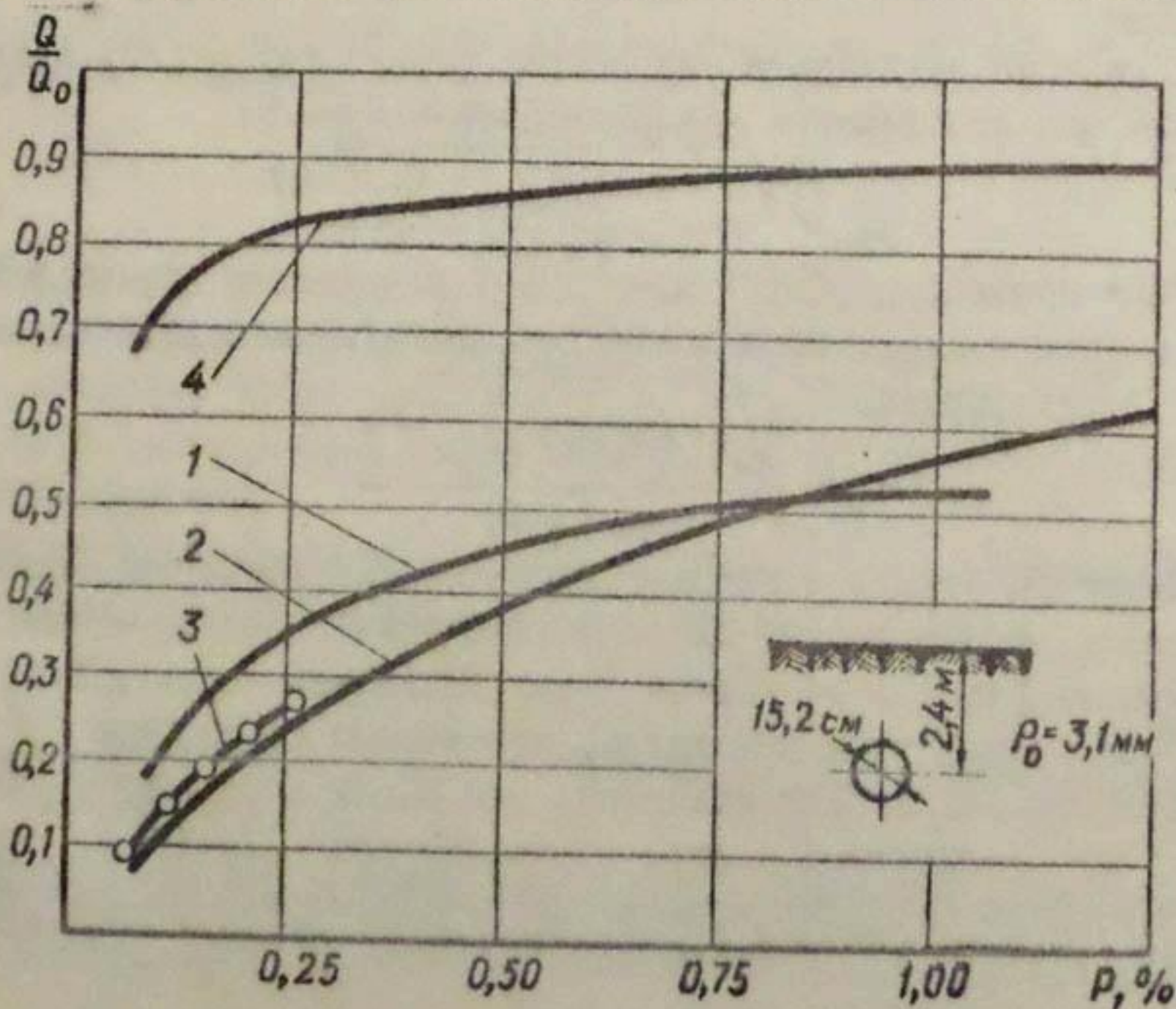


Рис. 2. Графики относительного расхода:
1 — по Д. Кирхеми и Швэбу, 2 — по И.А. Чарному, 3 — по В.И. Шурову, 4 — с учетом фильтрационных деформаций.

Обратимся далее к случаю, когда вокруг дренажных труб имеется фильтр. Для определения относительного притока на I пер. и воспользуемся формулой (I):

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{\Phi_1}{\Phi_1 + \frac{1}{2\pi} \frac{\kappa_1}{\kappa_2} \left(\ln \frac{R}{r_0} + \xi \right)} \quad (16)$$

Важно отметить, что по сравнению с дренируемым грунтом фильтр всегда обладает более высокой фильтрационной устойчивостью. Если фильтр выполнен из искусственных материалов (стекловолокно и т.п.), то суффозионные явления в нем, как правило, полностью отсутствуют. При использовании песчано-гравийных смесей у водоприемных отверстий в локальном объеме формируется так называемый "обратный фильтр". Это сопровождается образованием непосредственно над отверстиями "сводов" из наиболее крупных частиц. Разрушение фильтра над отверстиями исключено, если правильно подобраны состав фильтра и размер водоприемных отверстий.

В соответствии со сказанным рассмотрим случай, когда под действием суффозии произошло переформирование частиц фильтра в ходе притока грунтовой воды к круглым отверстиям. Исходя из формул (4) и (16),

$$R_{кр} = \frac{\sqrt{1 + N \left(2\pi \frac{\kappa_2}{\kappa_1} \Phi_1 + \ln \frac{R}{r_0} \right) \left(\rho_0 + \frac{H}{J_{кр}} \right)} - 1}{N \left(2\pi \frac{\kappa_2}{\kappa_1} \Phi_1 + \ln \frac{R}{r_0} \right)} \quad (17)$$

Как и ранее, сопротивление $\xi_{сф}$ находится по формуле

$$\xi_{сф} = \frac{1}{N} \frac{2R_{кр} - \rho_0}{R_{кр}^2} \quad (18)$$

При отсутствии суффозионных явлений для определения ξ будем пользоваться формулой И.А.Чарного (15).

В качестве расчетной примем схему притока к дренаю, входящей в систему, при бесконечно удаленном водоупоре. Условимся, что кривые депрессии смыкаются в верхней точке дреная. Фильтрационное сопротивление в формуле А.Н.Коотякова в этом случае будет равно $\Phi_1 = \frac{1}{\pi} \left(\ln \frac{B}{2d} - 1 \right)$. Для расчета положим $B = 200$ м, $d = 0,5$ м, $r_0 = 0,1$ м, $\kappa_1 : \kappa_2 = 0,2$, $\rho_0 = 0,31$ см. Результаты вычислений в графической форме представлены на рис.3. Для сравнения там же приведена кривая для случая, когда суффозия в фильтре отсутствует.

Характер кривых на рис.3 подтверждает ранее сделанный вывод о решающей роли суффозионных процессов в увеличении водозахватной способности дреная.

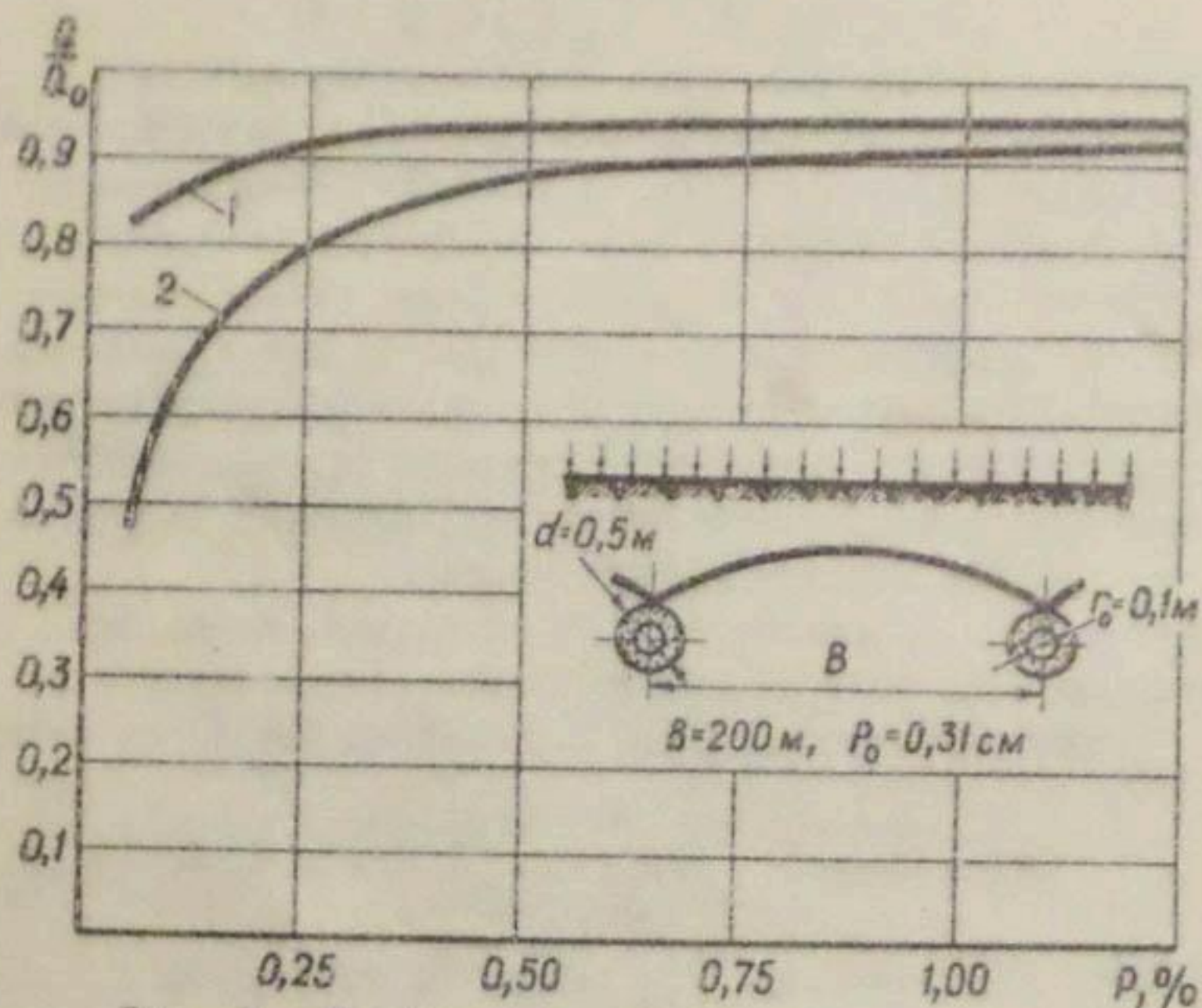


Рис. 3. Графики относительного расхода:
1- с учетом фильтрационных деформаций, 2- без учета фильтрационных деформаций.

Разумеется, предложенный способ учета изменения проницаемости среды у водоприемных отверстий носит приближенный характер. Однако качественную сторону явления этот способ отражает вполне удовлетворительно.

Итак, при оценке влияния скважности трубчатой линии на величину притока в дренаж не следует реальные грунты рассматривать как однородные изотропные, так как тем самым недопустимо завышаются потери напора на преодоление сопротивления, вызванного наличием водоприемных отверстий. Удовлетворительная сходимость с данными практики имеет место лишь при учете развития локальных фильтрационных деформаций в грунте у водоприемных отверстий.

Выполненное исследование позволяет утверждать, что при скважности трубчатой линии 0,3-0,7%, принятой в отечественной и зарубежной практике, приток в дренаж Q не отличается сколько-нибудь

существенно от максимально возможного в данных условиях, т.е. всегда $Q \approx Q_0$.

Полученные формулы могут быть использованы для разработки методической стороны лабораторных работ по определению рациональной площади водоприемных отверстий трубчатой линии.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.М.Гаврилко. Фильтры водозаборных, водопонижительных и гидрогеологических скважин. М., Изд-во литературы по строительству, 1968.
2. Временная инструкция по исследованию и установлению режима эксплуатации нефтяных скважин. М., Гостоптехиздат, 1954.
3. Дренаж сельскохозяйственных земель. Перевод с английского под общей редакцией С.Ф.Аверьянова. М., Изд-во "Колос", 1964.
4. В.И.Шуров. Влияние перфораций на приток жидкости из пласта в скважину. Труды совещания по развитию научно-исследовательских работ в области вторичных методов добычи нефти. Баку, Изд-во АН Аз ССР, 1953.
5. А.Н.Костяков. Основы мелиораций. Изд. 6-е. М., Сельхозгиз, 1960.
6. Б.С.Маслов, Е.А.Нестеров. Вопросы орошения и осушения в США. М., Изд-во "Колос", 1967.
7. Технические указания по проектированию горизонтального дренажа засоленных земель. М., Гипроводхоз, 1962.
8. В.С.Малыгин. Изучение дренажа в Узбекской ССР. Изв. АН УзССР, 1950, № 2.
9. Инструкция по проектированию обратных фильтров гидротехнических сооружений. ВСН-02-65. М.-Л., Изд-во "Энергия" 1965.
10. В.С.Истоминя. Фильтрационная устойчивость грунтов. М., Госстройиздат, 1957.
11. И.Ряига. Эксплуатация трубчатых дренажных систем. М., Изд-во "Колос", 1968.
12. САНИИРИ. Научно-технический отчет "Фильтрационная устойчивость грунтов и фильтров Голодной степи". Ответственные исполнители Н.А.Цветкова, А.С.Герасимова. Ташкент, 1968.

13. М.А.Чарный. Подземная гидрогазодинамика. М., Гостоптехиздат, 1963.
14. J.O.Schwab, D.Kirkham. The effect of circular perforations on flow into subsurface drain tubes, Part 2, Experiments and Results. Agr. Eng., 32, May, 1951.
15. Clude E.Houston. Drainage of Irrigated Land. Division of Agricultural Sciences University of California. Circular 504, 1961.
16. R.Grande, A.Losada. The drainage systems of the Guadalquivir River Delta: its operation, maintenance and evolution. Seventh Congress on Irrigation and Drainage. Question 25, R.13. Mexico City, 1969.
17. Th.Oeler. Versuche über die Wasserentnahme von Dränrohrleitungen. "Der Kulturtechniker", No.4/5, Juli/Oktober, 1932.

В.Я. НЕЙМАН

О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ РЕЖИМА УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ
ВОД НА НОВООРОШАЕМЫХ ЗЕМЛЯХ ЮГО-ЗАПАДНОГО МАССИВА
ГОЛОДНОЙ СТЕПИ

Рассматриваемый массив размещен на покатой слаборасчлененной равнине, образованной мелкоблочными отложениями периферийных частей древних слившихся конусов выноса водотоков, стекавших в Голодную степь с северного склона Туркестанского хребта.

Литологический разрез разведанной мощностью до 300 м здесь представлен в основном суглинками и супесями, среди которых спорадически встречаются прослои глин и песков тонко- и мелкозернистых мощностью от нескольких сантиметров до 5 м, очень редко более. С глубины 100-120 м в разрезе почти повсеместно преобладают тяжелые суглинки.

В гидрогеологическом отношении массив приурочен в основном к зоне вторичного погружения потока грунтовых вод, поступающих сюда из вышерасположенных зон транзита и разгрузки.

Эта зона является весьма типичной и для других массивов новоорошаемых земель: центральная часть Голодной степи, I очередь орошения Каргинской степи, Занг-Шеребедский массив.

В рассматриваемой зоне Юго-западного массива Голодной степи перед началом орошения (по состоянию на 1957 г.) соленые грунтовые воды залегали на глубине 5-25 м, а на 70% площади - на глубине более 10 м. Уровень воды был практически стабильным; годовая амплитуда до 0,2 м, многолетняя (1954-1959 гг.) - до 0,5 м без четко выраженных периодов высокого и низкого стояния, что явля-

ется весьма характерным для грунтовых вод застойного типа.

Анализ имеющихся данных многолетних наблюдений за изменениями уровня грунтовых вод под влиянием орошения в увязке с основными факторами, определяющими режим (особенности строения водоносного комплекса, запасы влаги в зоне аэрации, размеры водоподдачи и испарения), позволяет установить фактические величины инфильтрационного питания грунтовых вод, структуру общего водного баланса новоорошаемых земель, а также проследить некоторые интересные особенности передвижения влаги в грунтах зоны аэрации.

Освоение рассматриваемой территории началось в 1962 г. К концу 1969 г. около 80% земель освоено под поливное земледелие; основная культура - хлопчатник.

Вода на поля подается из Южного Голодностепского канала (ЮГК) по лотковой распределительной сети, обеспечивающей высокий КИД (по проекту равный 0,9). В невагетационный период, с сентября по март - май, водоподача не производится. Поэтому потери оросительной воды и, следовательно, инфильтрационное питание грунтовых вод здесь носят сезонный характер.

Характерной особенностью подавляющего большинства графиков колебания уровня грунтовых вод является отсутствие спада уровня воды после прекращения водоподдачи, в период с сентября - октября каждого предшествующего года до мая-июля каждого последующего года (рис. I). Это обстоятельство убедительно подтверждает сложившееся представление с практической вертикальной бессточности грунтовых вод, типичной для зоны вторичного погружения.

Горизонтальная отточность (ростекание бугра грунтовых вод с массивов орошения на смежные целинные земли), так же как вертикальная, практически почти не проявляется. В наблюдательных пунктах, размещенных на целине в 1-2 км от границ с орошаемой площадью вниз по потоку грунтовых вод, уровень воды за несколько лет наблюдений практически не повышается. Это обусловлено низкой водопроницаемостью водоносного комплекса (K_f до 0,5 м/сутки), отсутствием в разрезе среди глинистых пород выдержанных песчаных горизонтов, способных передавать создаваемый орошением напор грунтовых вод, и малыми уклонами потока ($i = 0,002 - 0,003$).

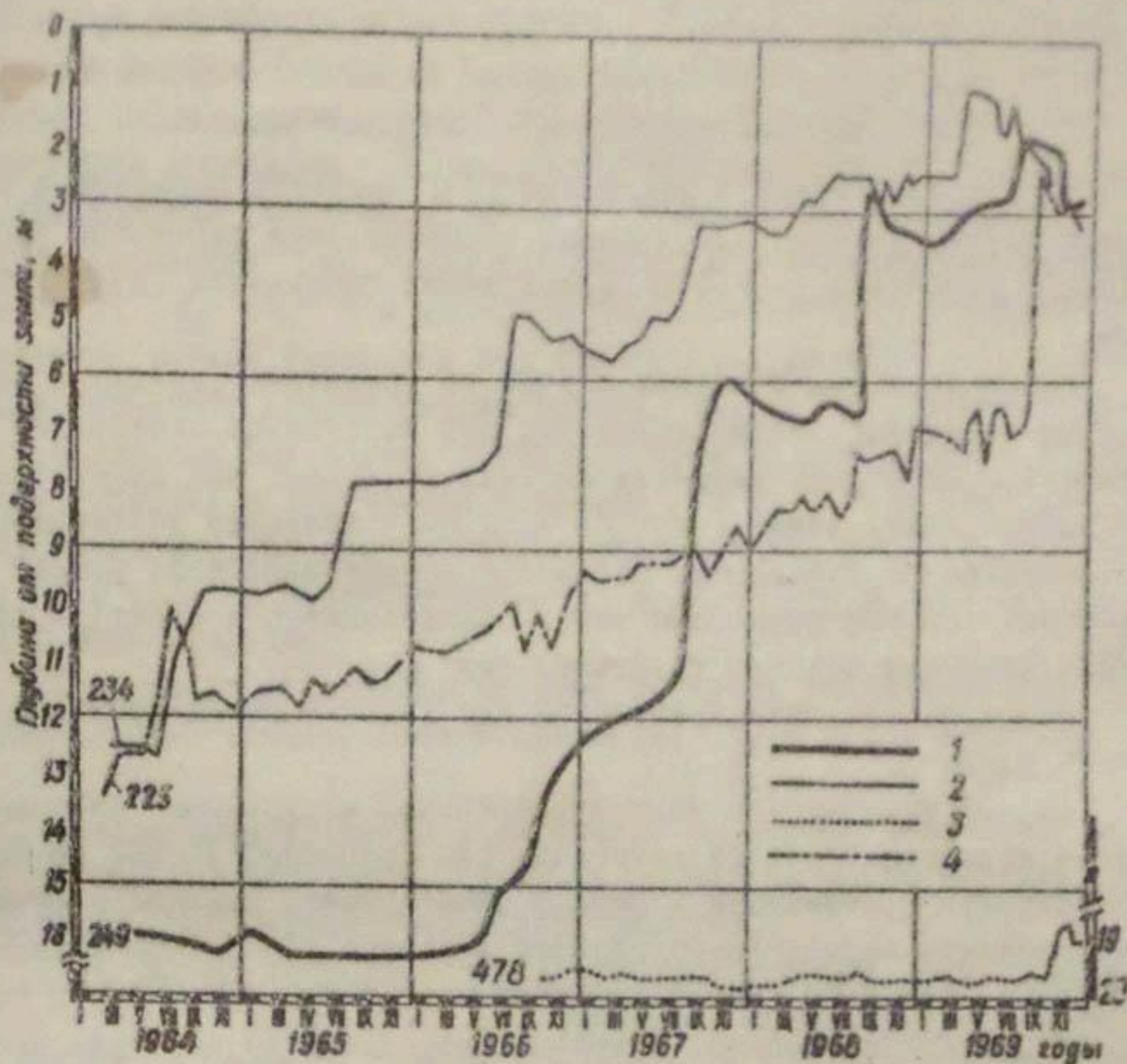


Рис. 1. Основные разновидности ирригационного типа режима уровня грунтовых вод на новоорошаемых землях Юго-западного массива Голодной степи: 1, 2, 3, 4 - разновидности режима, описанные в тексте; на графиках указаны номера наблюдательных скважин.

Для таких условий известное уравнение баланса вертикального потока [1]

$$\frac{W}{\mu} = \frac{\Delta h}{\Delta t} + \frac{\kappa_a}{\mu} \left(\frac{h-H}{mb} \right) \quad (1)$$

будет выражаться

$$\frac{W}{\mu} = \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad (2)$$

где W - величина инфильтрационного питания грунтовых вод,
 $\text{м}^3/\text{сутки}$, м^2 за расчетный отрезок времени Δt сутки;
 Δh - изменение уровня грунтовых вод за время Δt , м;
 μ - водоотдача при спаде уровня грунтовых вод или недоста-
ток насыщения при подъеме, в долях единицы.

Правый член суммы в уравнении (1), численно выражающий ве-
личину оттока воды в подстилающий горизонт, при равенстве уров-
ней воды в верхнем (h) и подстилающих горизонтах (H), равен
нулю.

Таким образом, в данном случае из уравнения (2) можно по
графику колебания уровня грунтовых вод достаточно достоверно оп-
ределить фактический параметр питания грунтовых вод инфильтрацион-
ной оросительной водой ($\beta = \frac{W}{\mu}$), а зная величину водоотдачи
(по фактическим изменениям влажности в зоне колебания уровня
грунтовых вод или по данным опытно-фильтрационных работ), - опре-
делить величину питания грунтовых вод $W = \mu \frac{\Delta h}{\Delta t}$.

Эти подсчеты ниже приводятся для типовых графиков изменения
уровня воды.

Анализ фактических данных наблюдений за уровнем грунтовой
воды с исходной глубиной залегания (до орошения) 10-20 м по 120
наблюдательным скважинам в период 1964-1969 гг. позволяет отчет-
ливо выделить четыре разновидности ирригационного типа режима [2].
В условиях примерно равной водоподачи (7,8-9,8 тыс. $\text{м}^3/\text{га}$ в год)
они определяются, главным образом, особенностями передвижения
инфильтрационной воды через зону аэрации на уровень грунтовых
вод (см. рис. I).

П е р в а я р а з н о в и д н о с т ь ирригационного типа
режима, когда в первые 1-2 года орошения инфильтрационные потери
оросительной воды поглощаются в основном свободной емкостью зоны
аэрации и лишь малое их количество достигает уровня грунтовых
вод. В последующие же годы он резко поднимается, достигая за не-
сколько лет критической глубины. Такой тип режима четко проявился
в наблюдательной скважине 249, заложенной в северо-западной части
совхоза "Пахтакор". Глубина грунтовых вод до орошения, которое
здесь началось в 1965 г., была около 16 м (см. рис. I). В вегета-
ционный период 1965 г. и вплоть до июня 1966 г. уровень грунтовых
вод находился стабильно на отмеченной глубине.

С начала вегетации 1966 г. уровень грунтовых вод начал подниматься, и подъем происходил примерно 6 месяцев (3 месяца во время поливов и 3 месяца после прекращения поливов) с интенсивностью равной: во время поливов $\delta_1 = 0,4$ м в месяц, в послеполивное время $\delta_2 = 0,8$ м в месяц. С декабря 1966 г. до начала поливов 1967 г. подъем уровня грунтовых вод значительно замедлился и составил в среднем $\delta_3 = 0,15$ м в месяц. Затем в первые два месяца поливов (июнь-июль) подъем уровня грунтовых вод происходил со скоростью $\delta_4 = 0,35$ м в месяц, а в августе был резкий скачок на $\delta_5 = 4,3$ м в месяц. С сентября 1967 г. по август 1968 г. положение уровня грунтовых вод практически не менялось, а в августе произошел второй резкий скачок $\delta_6 = 3,7$ м в месяц и уровень грунтовых вод достиг глубины 2,2 м от поверхности земли. Таким образом, в отмеченной скважине за 4 года орошения уровень грунтовых вод скачкообразно поднялся на $16 - 2,2 = 13,8$ м, что дает средний параметр питания $\delta_{ср} = \frac{13,8}{4} = 3,45$ м/год, или 0,0094 м/сутки.

Максимальный параметр питания во время скачков уровня грунтовых вод был немного больше среднего: $\delta_5 = 0,143$ м/сутки, $\delta_6 = 0,124$ м/сутки.

Аналогичная картина, с несколько отличными величинами скачков уровня грунтовых вод, отмечена во многих наблюдательных скважинах, заложенных в совхозах "Пехтакор", № 25 и 26.

Совершенно очевидно, что в описанной первой разновидности ирригационного типа режима грунтовых вод инфильтрационная вода поступает на уровень грунтовых вод только после частичного насыщения всей зоны аэрации, свободная емкость которой способна полностью поглотить инфильтрационный расход за 1-2 вегетационных периода.

Непосредственное наложение инфильтрационной воды на уровень грунтовых вод здесь проявляется лишь местами в первые месяцы поливов по отдельным макропорам и ходам, оставленным сгнившей корневой системой и землероями. Эти ходы быстро колыматируются.

Фактические данные о степени водонасыщения зоны аэрации для рассматриваемой разновидности режима воды, к сожалению, отсутствуют. Эти величины можно определить приближенно по разности между известными составляющими общего водного баланса.

Водный баланс участка суши выражается следующей формулой Г.Н.Каменского [3]:

$$\mu \cdot \Delta h = (N + P_1 + Q_1) - (V + P_2 + Q_2) - \Delta, \quad (3)$$

где Δh - изменение уровня грунтовых вод за расчетное время, м;
 Q_1 и Q_2 - приток и отток грунтовых вод, поступающих и вытекающих из балансового участка за это же время, м³;
 P_1 и P_2 - то же поверхностных вод, м³;
 N - количество атмосферных осадков, м³;
 V - суммарное испарение, м³;
 Δ - прирост (изменение) запасов влаги в зоне аэрации от древней поверхности до капиллярной каймы, м³.

Обозначим сумму приходных статей баланса $N + P_1 + Q_1 = \Pi$ и сумму расходных $V + P_2 + Q_2 = O$. Тогда уравнение (3) примет вид:

$$\mu \cdot \Delta h = \Pi - O - \Delta; \quad \Delta + \mu \Delta h = \Pi - O. \quad (4)$$

Средние годовые составляющие баланса, по данным Голодностенстрой [2], САНИИРИ [4] и Среднезигипроводхлепка, на орошаемой территории совхозов "Пахтакор", № 25, 26, 28 при глубинах (более 5 м) стоянии уровня грунтовых вод за период 1964-1968 гг. выражаются следующими величинами (м³/год · м²).

Приходные статьи

водоподача - 0,9162,
 потери из ЮГК - 0,03,
 атмосферные осадки - 0,38,
 подземный приток - 0,00425.
 Сумма приходных статей - 1,33045 м³/год · м².

Расходные статьи

подземный отток - 0,00158,
 суммарное испарение - 0,38,
 сбросы - 0,05497.
 Сумма расходных статей - 0,43655 м³/год · м².

По формуле (4) получим:

$$\mu \Delta h + \Delta = 1,33045 - 0,43655 = 0,8939 \text{ м}^3/\text{год} \cdot \text{м}^2, \text{ или } 8939 \text{ м}^3/\text{га в год.}$$

Определим величину $W = \mu \Delta h$.

Подъем уровня грунтовых вод со средней скоростью $\Delta h = 2$ м/год происходит, главным образом, в пределах зоны капиллярного смачивания, где недостаток насыщения μ , по данным фактических замеров, составляет 0,06.

$$\text{Тогда } W = 2 \times 0,06 = 0,12 \text{ м}^3/\text{год} \cdot \text{м}^2.$$

Подставляя эту величину в формулу (4), получим:

$$\Delta = 0,8939 - 0,12 = 0,7739 \text{ м}^3/\text{год} \cdot \text{м}^2.$$

Полученные результаты хорошо увязываются с натурными определениями исходной влажности зоны аэрации до орошения (рис. 2, таблицы).

Емкость зоны аэрации при насыщении разрезов
до верха капиллярной каймы, $\text{м}^3/\text{м}^2$

к шурфа	При насыщении до полной влагоемкости $w_n = 0,40$	При насыщении до максималь- ной молекулярной влагоем- кости $w_k = 0,21$
1	3,99	1,43
2	1,55	0,25

При средней мощности зоны аэрации за расчетные 4 года, равной 10 м, прирост объемной влажности в результате поглощения инфильтрационных потерь воды составил около 0,08. При средней влажности зоны аэрации около 0,13 она достигла во время орошения величины 0,21. Эту величину для рассматриваемых условий с некоторым приближением можно считать равной предельной молекулярной влагоемкости, или так называемой влажности разрыва капиллярных связей. Очевидно, при повышении этой влажности начинается гравитационное передвижение воды.

Суммарный прирост влаги в зоне аэрации за расчетные 4 года из баланса получился равным:

$$0,8939 \times 4 = 3,6756 \text{ м}^3/\text{год} \cdot \text{м}^2.$$

Такого порядка получается и емкость зоны аэрации в рассматриваемом интервале от верха капиллярной каймы до 3 м от поверхности земли, рассчитанная как разность между полной влагоемкостью (пористостью с учетом заземленного воздуха - 4%) и фактической

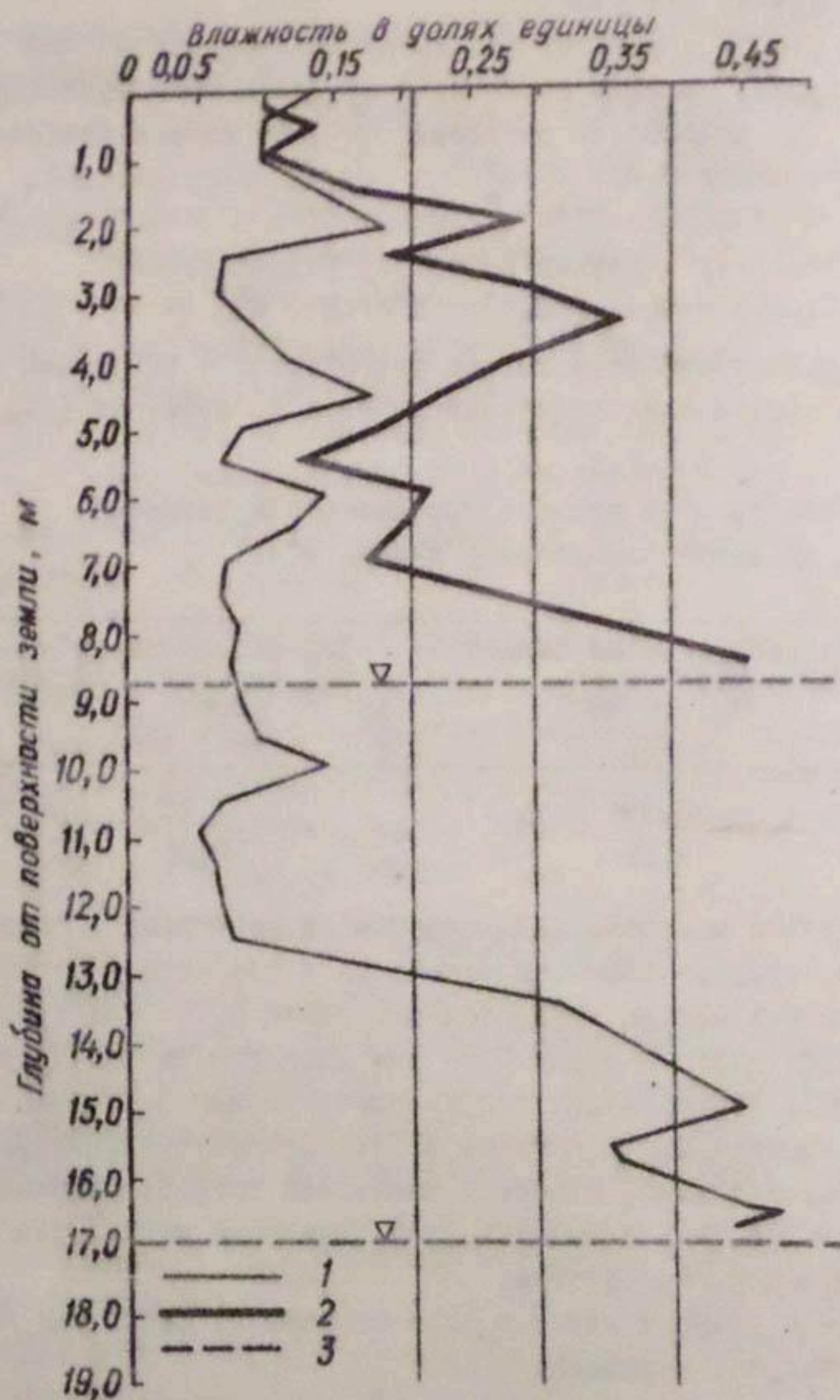


Рис.2. График изменения объемной влажности в раз-
резах шурфов в целинной зоне:

1- шурф № 1 в совхозе № 12, 2-шурф № 2 в сов-
хозе № 21, 3- уровень грунтовых вод.

влажностью зоны аэрации до начала орошения (см. рис. 2).

Вторая разновидность ирригационного типа режима, когда в первый же год орошения на землях с глубоким (более 10 м) залеганием грунтовых вод инфильтрационные воды достигают зеркала воды и вызывают значительный подъем ее уровня (см. рис. 1). При этом часть инфильтрационной влаги удерживается свободной емкостью зоны аэрации, а часть проходит через эту зону транзитом до грунтовых вод по вертикальным макропорам, микротрещинам вертикальной отдельности лессовидных грунтов, ходам землероев и каналам, оставленным сгнившими корнями растительности.

Эта разновидность режима уровня грунтовых вод имеет примерно такое же широкое распространение, как вышеописанная первая разновидность. Наиболее четко данный режим выражен в наблюдательных скважинах на землях совхозов "Пахтакор" и № 26.

Среднегодовая величина инфильтрационного питания грунтовых вод, подсчитанная вышеизложенным способом, здесь равна $0,49 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{сутки} \cdot \text{м}^2$, или $0,18 \text{ м}^3/\text{год} \cdot \text{м}^2$, что в среднем составляет 25% от водоподачи в вегетационный период.

Количество инфильтрационной влаги, удерживаемое капиллярными связями грунтов в зоне аэрации, по вышеприведенным данным, в среднем за год определяется из баланса:

$$\Delta + 0,18 = 0,8939 \text{ м}^3/\text{год} \cdot \text{м}^2;$$
$$\Delta = 0,7139 \text{ м}^3/\text{год} \cdot \text{м}^2.$$

При средней мощности зоны аэрации 12 м в рассмотренных примерах капиллярными связями в ней задерживается около 6% объемной влажности ($\frac{0,7139}{12}$), а общая объемная влажность зоны аэрации достигает 19%.

Интересно отметить, что подъем уровня грунтовых вод здесь почти без запаздывания совпадает с началом поливов, а после прекращения поливов он стабилизируется. Видимо, вышеуказанные ходы сосредоточенной фильтрации воды длительное время не колыматируются за счет повышенного содержания слаборастворимых карбонатных и сульфатных солей в скелете грунта, окружающего ходы.

Такие устойчивые ходы сосредоточенной фильтрации в лессовых грунтах известны и на других объектах. В частности, в лессах основания сооружения напорно-станционного узла Фархадской ГЭС сосредоточенная фильтрация воды и сопровождающий ее постепенный

подъем уровня грунтовых вод происходил в течение 15 лет, с 1948 по 1963 г.; по мере водонасыщения грунтов (снизу вверх) постепенно все 15 лет проявлялась просадка лесса [57]. Аналогичный пример отмечен отделом почвенно-мелиоративных исследований института "Среднеазиатгипроводхлопок" на лессовом массиве новоорошаемых земель в совхозе № 5 Сурхандарьинской области. Здесь при глубине залегания уровня грунтовых вод около 25 м и водоподаче не менее $1,0 \text{ м}^3/\text{год} \cdot \text{м}^2$ приросты запасов влаги в зоне аэрации за вегетационные периоды составили: в 1968 г. - $0,07 \text{ м}^3/\text{год} \cdot \text{м}^2$, а в 1969 г. - $0,95 \text{ м}^3/\text{год} \cdot \text{м}^2$ при свободной емкости зоны аэрации более $3,0 \text{ м}^3/\text{м}^2$, или $30000 \text{ м}^3/\text{га}$ (рис.3).

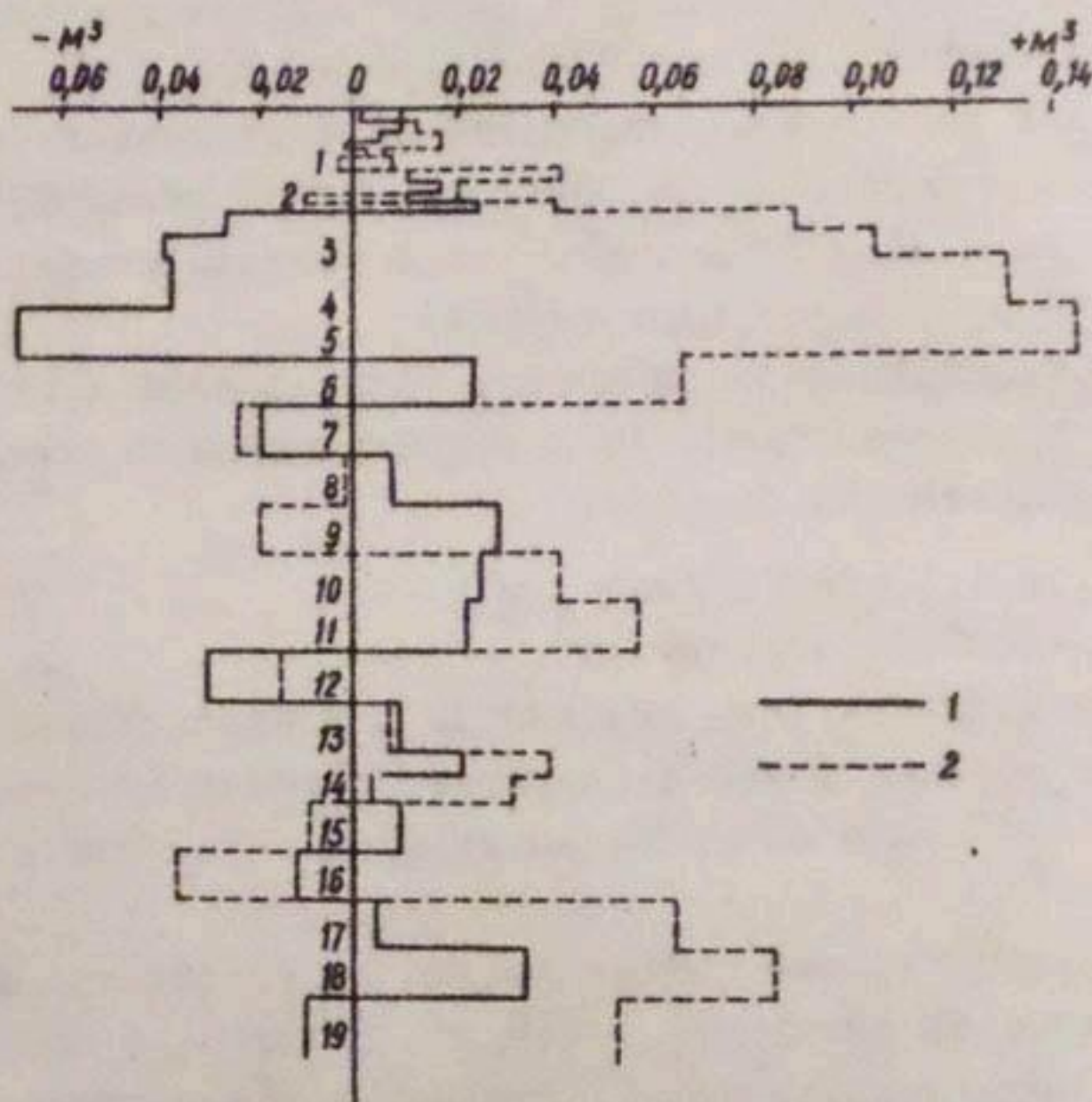


Рис.3. График изменения запасов влаги в разрезе скважины № 2 в совхозе № 5 Сурхандарьинской области:

1- изменение запасов влаги за период с весны до осени 1968 г. (суммарный прирост влаги составил $0,07 \text{ м}^3$), 2- то же за период с осени 1968 г. до осени 1969 г. (прирост составил $0,95 \text{ м}^3$).

Третья разновидность ирригационного типа режима грунтовых вод выражается в том, что в течение трех лет освоения земель уровень грунтовых вод остается практически стабильным, а все потери оросительной воды поглощаются свободной емкостью зоны аэрации. Эта разновидность четко проявлена на землях совхоза № 28 с глубиной залегания грунтовых вод 20-21 м (см. рис. 1).

В этом районе, согласно вышеприведенным составляющим водного баланса, в зоне аэрации за трехлетний период орошения (1967-1969 гг.) накопилось $0,8939 \times 3 = 2,6817 \text{ м}^3/\text{м}^2$ влаги. При мощности аэрации (от поверхности земли до верха капиллярной каймы) около 18 м прирост объемной влажности здесь в среднем составил:

$$\frac{2,6817}{18} = 0,149 \approx 15\%.$$

Общая объемная влажность в зоне аэрации с учетом природной влажности 10-13% достигла 25-28%, что на 4-7% превышает установленную для первой разновидности режима величину максимальной молекулярной влагоемкости. При этом существенные различия в литологическом составе грунтов зоны аэрации совхозов № 23, 25, где четко проявлена первая разновидность режима, не отмечены. Повышенная водоудерживающая способность здесь, видимо, обусловлена текстурными особенностями разреза (более выраженной слоистостью), наличием тонких (даже в несколько сантиметров) прослоев и линзочек глин и тяжелых суглинков.

Аналогичная высокая водоудерживающая способность суглинистых грунтов зоны аэрации отмечена в совхозе № 5 Сурхандарьинской области, где при глубоких (около 25 м) грунтовых водах за 1968 и 1969 гг. прирост влаги достиг $2,27 - 2,82 \text{ м}^3/\text{м}^2$ (рис. 4). Надо полагать, что при вышеприведенных величинах составляющих водного баланса в 1970-1971 гг. здесь произойдет резкий подъем уровня грунтовых вод со скоростью около 6 м/год из расчета:

$$\Delta h \mu = 0,89 \text{ при } \mu = 0,15, \\ \Delta h = 6 \text{ м.}$$

Наконец, четвертая разновидность режима характеризуется довольно равномерным в годовом разрезе подъемом уровня грунтовых вод с начала орошения земель. Этот тип режима имеет малое распространение на рассматриваемом массиве. Он отме-

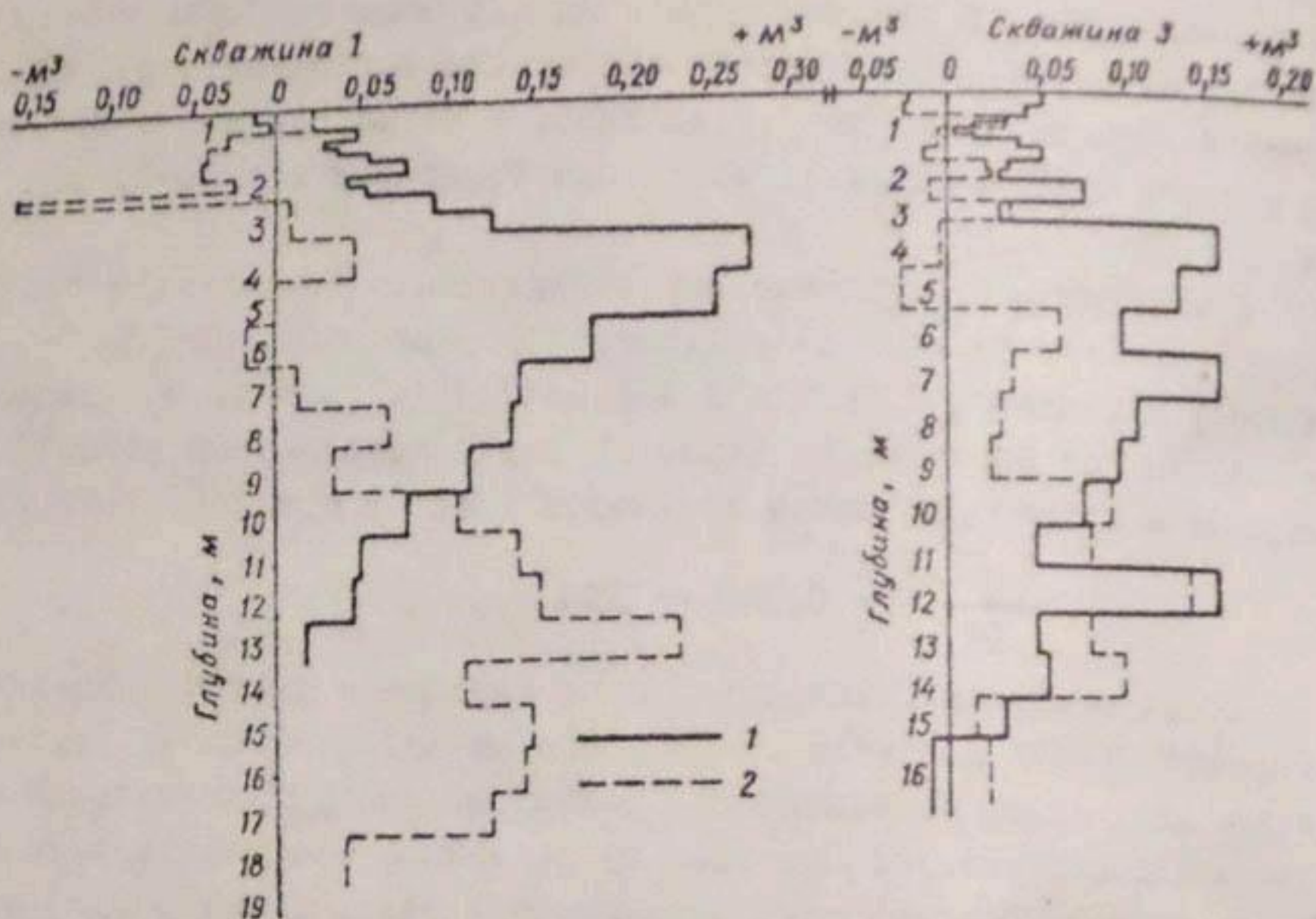


Рис. 4. График изменения запасов влаги в разрезе скважин № 1 и 3 в совхозе № 5 Сурхандарьинской области:

1 — изменение запасов влаги за период с весны до осени 1968 г. (суммарный прирост влаги составил в скважине № 1 842 м³, в скважине № 3 — 0,974 м³, 2 — то же за период с осени 1968 г. до осени 1969 г. (прирост соответственно составил 1,594 и 0,676 м³).

чен в скважинах, размещенных в зоне влияния Южно-голодностепского канала, на юге совхоза "Пахтакор", при исходной (до орошения) глубине залегания грунтовых вод 9–13 м (см. рис. 1). Здесь уровень грунтовых вод первые 2–4 года поднимался равномерно со средней скоростью около 1–1,5 м/год, а затем по достижении глубины 6–9 м от поверхности земли произошел резкий скачок на 3–5 м/год и зеркало воды достигло критического уровня. Очевидно, в первые годы инфильтрационная вода расходовалась преимущественно на заполнение свободной емкости зоны аэрации, а после насыщения ее — на подъем уровня грунтовых вод.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Ф.М.Бочавер, И.В.Гармонов, А.В.Лебедев, В.М.Шестаков:
Основы гидрогеологических расчетов. М., 1969.
2. Первичные материалы режимных наблюдений за подземными водами
мелиоративной инспекции Голодностеплостроя и Голодностеп-
ской режимной станции Узбекского гидрогеологического
треста.
3. А.В. Лебедев. Методы изучения баланса грунтовых вод. М.,
1963.
4. В.А.Барон, Г.Е.Батурич, Н.М.Решеткина, Х.И.Якубов и др.
Научно-технические отчеты по работам в Голодной степи
за 1961-1968гг.
5. Д.Н.Круглов. Инженерно-геологические условия головного соору-
жения Южного Голодностепского канала. Рукопись. Средвз-
гипроводхлопок, Ташкент, 1961.

И.С.ПАШКОВСКИЙ

кандидат геолого-минералогических наук

А. М.СОЙФЕР

О ПОСТАНОВКЕ ОПЫТНЫХ КУСТОВЫХ ОТКАЧЕК ДЛЯ ОЦЕНКИ
ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ОРОШАЕМЫХ МАССИВАХ

В слоистых гидрогеологических системах, характеризующихся наличием в разрезе нескольких водоносных горизонтов, разделенных слабопроницаемыми слоями (такие условия являются типичными для районов нового орошения Средней Азии), оценка гидрогеологических параметров по данным опытных кустовых откачек представляется сложной задачей, требующей в каждом случае обоснования расчетной схемы и анализа гидродинамических процессов во всех пластах, возмущенных откачкой. Постановке опытных кустовых откачек на орошаемом массиве должна предшествовать схематизация гидрогеологических условий [1], проведенная предварительно на основе имеющихся материалов и данных разведочных работ, выполненных на ранней стадии исследований. Некоторые предложения по стадийности гидрогеологических исследований для обоснования дренажа содержатся в работе [2].

На основе предварительного анализа гидрогеологических условий проводится районирование орошаемого массива по типовым схемам строения водоносного комплекса, а при достаточной степени его изученности — по типовым фильтрационным схемам. Такой подход дает возможность обоснованно наметить местоположение и количество опытных кустов.

На примере исследований для обоснования дренажа в *Даж-варзинской*, *Кокаральской* степях и на *Джизакском* массиве *Голодной* степи, где гидрогеологическая обстановка является достаточно типичной для предгорных пролювиальных равнин Средней Азии, можно ориентировочно указать, что в подобных условиях опытные кустовые откачки следует намечать не реже, чем одна откачка на 3-5 тыс. га.

Поскольку существенное влияние дренажа сказывается на глубине, равной половине междреннего расстояния, при постановке опытных работ в первом приближении можно ограничиться рассмотрением верхней толщи до глубины 100 м. Анализ особенности работы систематического дренажа в многослойной толще также показывает, что во многих случаях при расчетах можно ограничиться рассмотрением первого от поверхности водоносного горизонта. Это возможно в том случае, когда параметр перетекания $B = \sqrt{\frac{T_1 \cdot m'}{K'}} \cdot K^I$ больше половины междреннего расстояния (T_1 — проводимость пласта, K^I и m' — коэффициент фильтрации и мощность разделяющего слоя).

С другой стороны, при рассмотрении региональных задач, связанных с анализом работы заградительного дренажа, влияния массивов орошения друг на друга, оценкой естественной разгрузки потока и т.д., необходимо знать суммарную проводимость всех водоносных горизонтов. Таким образом, в толще пород можно выделить два этажа: I этаж, соответствующий глубине влияния систематического дренажа, и II этаж, включающий всю толщу нижележащих пород до регионального водоупора. Опытные исследования I этажа должны быть направлены на определение коэффициента фильтрации K_p , водоотдачи μ слабопроницаемых отложений и проводимости T водоносного горизонта. Исследования II этажа прежде всего должны быть направлены на определение суммарной проводимости водоносных горизонтов ($T = T_2 + T_3$) и в некоторых случаях — коэффициента фильтрации слабопроницаемого слоя, отделяющего I этаж от II этажа (рис. I). В связи с разными задачами, стоящими при оценке параметров I и II этажа, разными будут и схемы кустов скважин, и методика проведения опытных работ [3]. Оптимальная схема куста наблюдательных скважин, предназначенных для определения всех вышеуказанных параметров, приведена на рис. I.

Рассмотрим некоторые примеры построения опытных кустов для наиболее характерных случаев строения выделенного нами I этажа.

Для районов нового орошения Средней Азии характерно двух-слойное строение I этажа (водоносный горизонт перекрыт слабопроницаемым слоем), причем можно выделить два основных варианта:

- 1) покровный слой однородный, незначительной мощности;
- 2) покровный слой неоднородный, большой мощности.

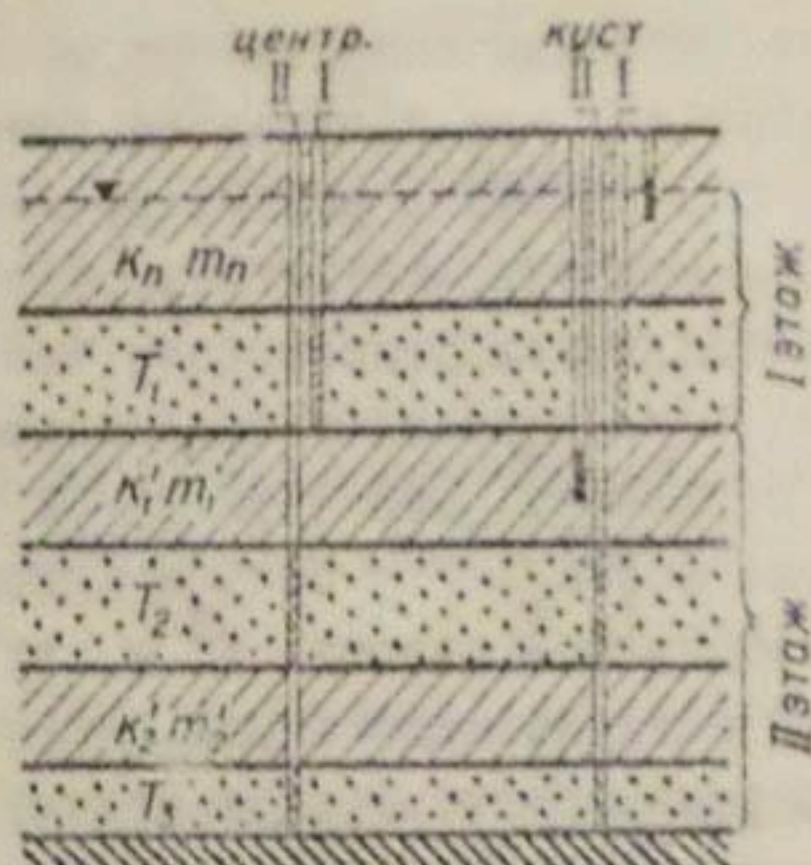


Рис. I. Оптимальная схема куста наблюдательных скважин.

Как пример опробования двухслойной толщи с покровным слоем небольшой мощности можно привести откачку из скважины № 13^I на территории Джизакского массива (рис. 2). Куст скважины состоит из центральной скважины и двух наблюдательных, расположенных на расстоянии 15 и 30 м от центральной. Имея в виду специфику откачки в двухслойной среде [3], около каждой наблюдательной скважины пробурены пьезометры, фильтр которых установлен на уровень грунтовых вод.

Такое расположение скважин позволяет фиксировать понижение напора в водоносном горизонте и снижение свободной поверхности.

I/ Откачка проводилась Узбекским гидрогеологическим трестом по схеме, рекомендованной кафедрой гидрогеологии ИГУ.

Обработка данных откачки проводилась способом эталонной кривой, представляющей график функции снижения напора (в наблюдательной скважине) [4]. Совмещение эталонной кривой для $\frac{r}{B} = 0,3$ с графиком снижения напора в наблюдательной скважине № I показано на рис. 3. На графике можно выделить характерные участки, соответствующие интенсивному снижению и стабилизации напора. Выбранная эталонная кривая ($\frac{r}{B} = 0,3$), как видно, хорошо совмещается с опытным графиком снижения напора.

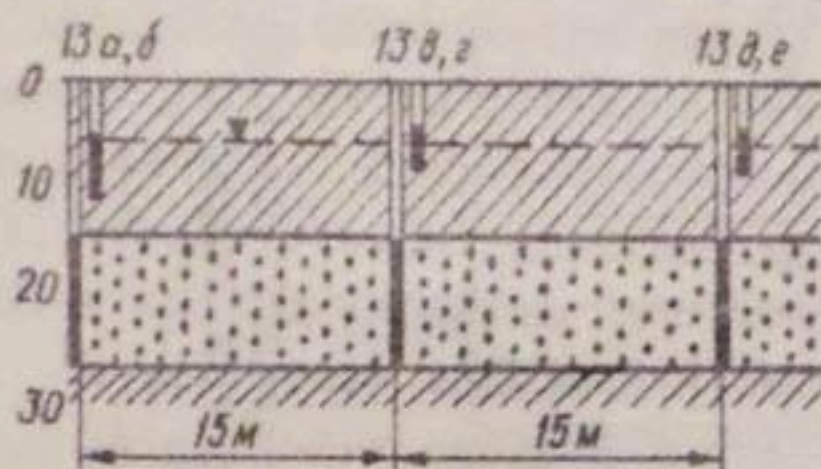


Рис. 2. Схема опытного куста № 13.

Искомые параметры определяются по сопоставлению координат эталонной кривой с осями S и t графика и фактическими данными (эталонная кривая и график построены в логарифмическом масштабе)

$$T = \frac{Q}{4\pi S^0} \times W(u, \frac{r}{B})^0; \quad u = \frac{r^2}{4at};$$

$$a = \frac{r^2}{4t^0} \left(\frac{1}{u}\right)^0,$$

где S^0 — значения понижения, соответствующее значению функции снижения напора $W(u, \frac{r}{B})$ эталонной кривой;

t^0 — время от начала откачки, соответствующее значению $(\frac{1}{u^0})$ эталонной кривой.

В рассматриваемом случае по выбранной точке $S^0 = 0,35$ м, $W(u, \frac{r}{B})^0 = 1$; $t^0 = 0,0016$ сутки ($\frac{1}{u^0} = 4$).

Величина проводимости пласта получена $T = 100$ м²/сутки и коэффициент плазепроводности $\alpha = 1,3 \cdot 10^5$ м²/сутки. Им соответствует значение $\mu = 10^{-3}$. Поскольку выбранная кривая соответствует значению $\frac{r}{B} = 0,3$, можно определить параметр перетекания B и коэффициент фильтрации слабопроницаемого слоя:

$$K_B = \frac{Tm_1}{B^2} = 0,35 \text{ м/сутки.}$$

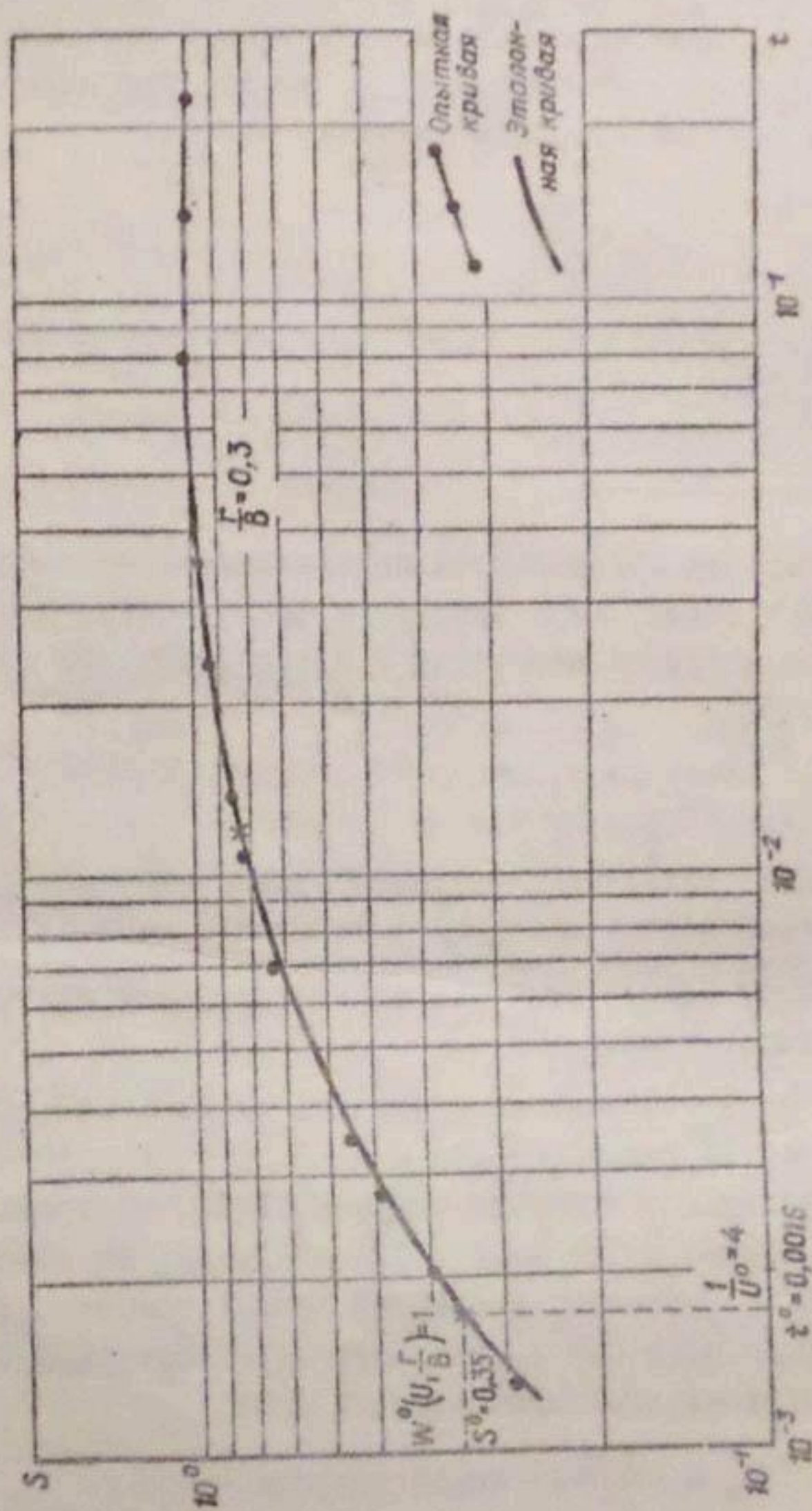


Рис. 3. График снижения уровня в наблюдательной скважине при откычке из скважины К 13 в Джизакской степи.

Данные о снижении свободной поверхности, получаемые по пьезометру, установленному на уровне грунтовых вод, позволяют определить величину $\frac{K_d}{\mu} = 13$ м/сутки, что соответствует значению гравитационной водоотдачи $\mu \approx 0,03$.

При большой мощности и неоднородности покровного слоя постановка опытной кустовой откачки должна осуществляться с учетом предполагаемого типа дренажа. В случае горизонтального дренажа учет слоистости покровных отложений является непрямым условием надежного обоснования расчетной схемы. Рассмотрим в качестве примера откачку из скважины № 4 в Кокарвальской степи (Средазгипроводхлопок). В предлагаемом примере первый от поверхности водоносный горизонт залегает на глубине 120 м. Покровный слой в данном случае является достаточно мощным и неоднородным.

В нем можно выделить 3 литологические разности:

- 1) суглинок средний пылеватый, макропористый, в интервале 3-13 м;
- 2) суглинок средний с линзами и прослойками разномерных песков, в интервале 13-70 м;
- 3) суглинок средний и тяжелый пылеватый, плотносележавшийся, в интервале 70-120 м.

Особенностью строения покровного слоя определяется размещение наблюдательных скважин (рис. 4А), позволяющих определить коэффициент фильтрации каждой из выделенных литологических разностей.

Откачка проводилась из скважины 4ц с дебитом 4500 м³/сутки, при понижении в ней уровня $S_m \approx 6,8$ м.

Не останавливаясь здесь подробно на оценке параметров пласта ($T = 530$ м²/сутки, $a = 7,3 \cdot 10^3$ м²/сутки, $\mu_s = 0,08$), определение которых проводилось по методике, изложенной выше, приведем данные о снижении уровня воды по наблюдательным скважинам в покровном слое (таблица).

Из условия вертикальной фильтрации в покровном слое [5] определим соотношение $\frac{K_d}{\mu}$ и

$$\frac{K_d}{\mu} = \frac{m_d}{\Delta S} V_n,$$

где ΔS - разница в понижениях в водоносном горизонте и свободной поверхности;

V_n - скорость снижения свободной поверхности.

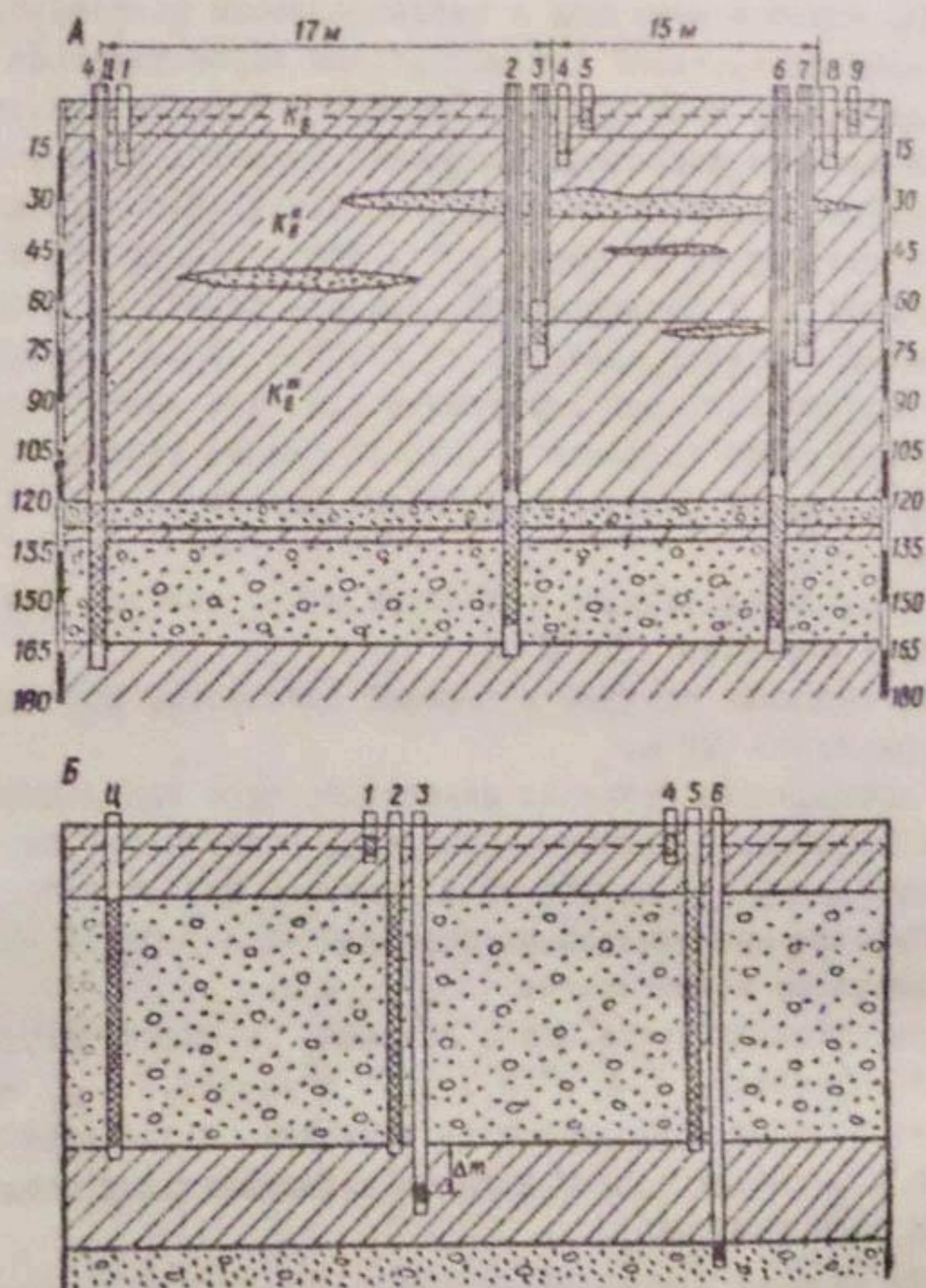


Рис. 4. А- схема опытного куста № 4 в
Кокаральской степи, Б- принципиаль-
ная схема опытного куста в двухплас-
товой системе с маломощным покровным
слоем.

№ сква- жины	S_i м	m_i м	ΔS_i м	i	V_{n_i} м/сутки	V_i м/сутки	K_i м/сутки
5	0,04						
4	0,10	9	0,06	$6,7 \cdot 10^{-3}$	0,015	$1,5 \cdot 10^{-3}$	0,22
		57	0,18	$3,1 \cdot 10^{-3}$	0,020	$1,5 \cdot 10^{-3}$	0,50
3	0,28	50	0,92	$1,8 \cdot 10^{-2}$	0,030	$1,5 \cdot 10^{-3}$	0,08
2	1,20						
9	0,03	9	0,06	$6,7 \cdot 10^{-3}$	0,020	$1,1 \cdot 10^{-3}$	0,16
8	0,90	57	0,09	$1,6 \cdot 10^{-3}$	0,025	$1,1 \cdot 10^{-3}$	0,70
7	0,18	50	0,78	$1,6 \cdot 10^{-2}$	0,030	$1,1 \cdot 10^{-3}$	0,07
6	0,96						

Так, по скважинам 2-5

$$\frac{K_B}{\mu} = \frac{116}{1,16} \times 0,15 = 1,5 \text{ м/сутки},$$

а по скважинам 6-9

$$\frac{K_B}{\mu} = \frac{116}{0,98} \times 0,02 = 2,4 \text{ м/сутки}$$

при $\mu = 0,08$, в среднем $K_B = 0,15 \text{ м/сутки}$.

В данном случае K_B представляет собой среднее значение коэффициента фильтрации

$$K_B = \frac{m'_B + m''_B + m'''_B}{\frac{m'_B}{K'_B} + \frac{m''_B}{K''_B} + \frac{m'''_B}{K'''_B}},$$

где m'_B, m''_B, m'''_B — мощности и K'_B, K''_B, K'''_B — коэффициенты фильтрации выделенных литологических разностей.

Для определения значений K'_B, K''_B и K'''_B воспользуемся данными о снижении напора в пьезометрах в покровном слое. Поскольку скорости снижения напоров во всех пьезометрах примерно одинаковы, режим понижения можно считать квазистационарным. В этом случае скорость фильтрации по всей мощности покровного слоя будет одинакова и в зависимости от снижения свободной поверхности определя-

ется по формуле

$$V = V_n \cdot \mu$$

По ближайшему кусту пьезометров (№ 2, 3, 4 и 5) $V = 1,5 \cdot 10^{-3}$ м/сутки, а по дальнему (№ 6, 7, 8 и 9) $V = 1,1 \cdot 10^{-3}$ м/сутки. Значения коэффициентов фильтрации в интервалах между пьезометрами можно определить по формуле

$$K = \frac{V}{i} ; \quad i = \frac{\Delta S}{\Delta m}$$

где i — напорный градиент;

Δm — расстояние по вертикали между центрами фильтров наблюдательных скважин;

ΔS — разница в понижениях уровня в них.

Данные по расчету коэффициентов фильтрации приведены в таблице.

Выделим средние значения K_v (послойно):

$$\begin{aligned} K_v^I &= 0,2 \text{ м/сутки,} \\ K_v^{II} &= 0,6 \text{ м/сутки,} \\ K_v^{III} &= 0,08 \text{ м/сутки.} \end{aligned}$$

Для двух рассмотренных выше случаев строения покровных отложений ($m_s = 117$ м) приведем пример расчета систематического горизонтального дренажа, воспользовавшись решением В.М.Шестакова [6], при $W = 10^{-3}$ м/сутки, $H_1^0 = 2,6$ м и $d = 0,5$ м (все условные обозначения приняты в соответствии с работой [6]).

Двухслойный пласт: $K_v = 0,15$ м/сутки; $T_H = 530$ м²/сутки;

$$m_s = 117 \text{ м.}$$

$$L_{нд} = 0,73 \frac{T}{K_v} \lg \frac{8m_s}{\pi d} = 0,73 \frac{530}{0,15} \lg \frac{8 \cdot 117}{3,14 \cdot 0,5} = 7200 \text{ м}$$

$$\begin{aligned} \Delta H^0 &= \frac{W}{K_v} \quad m_s = 0,75 \text{ м; } H^0 = 2,6 - 0,75 \text{ м} = 1,75 \text{ м;} \\ L &= 4 \left[\sqrt{L_{нд}^2 + \frac{T_H}{2W}} - h_{нд} \right] = 4 \left[\sqrt{7200^2 + \frac{530 \cdot 18}{2 \cdot 10^{-3}}} - 7200 \right] = \\ &= 4[7234 - 7200] = 136 \text{ м} \approx 140 \text{ м.} \end{aligned}$$

Двухпластовая система:

$$K_B = 0,2 \text{ м/сутки}; \quad m_B = 10;$$

$$T_I = 35 \text{ м}^2/\text{сутки}; \quad m_I = 57 \text{ м};$$

$$K_P = 0,08 \text{ м/сутки}; \quad m_P = 50 \text{ м};$$

$$T_2 = 530 \text{ м}^2/\text{сутки};$$

$$\delta = \sqrt{\frac{K_P T}{m_P T_1 T_2}} = \sqrt{\frac{0,08 \cdot 565}{50 \cdot 35 \cdot 530}} \approx 7 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$T = T^I + T^{II} = 565 \text{ м}^2/\text{сутки}$$

$$\text{при } \frac{m_B}{m_B + m_H} \approx 0,15 \quad L'_{HD} \approx 0,73 \left(m_B + \frac{T^I}{K_B} \right) \lg \frac{2(m_B + m_I)}{\pi d} =$$

$$= 0,73 \left(10 + \frac{35}{0,2} \right) \lg \frac{2,67}{3,14 \cdot 0,5} = 260 \text{ м};$$

$$\Delta H^0 = \frac{W}{K_B} m_B = 0,05; \quad H^0 = 2,6 \text{ м} - 0,05 \text{ м} = 2,55 \text{ м};$$

$$A = \frac{2T \cdot L'_{HD}}{T^I} + \frac{I}{\delta} \cdot \frac{T^{II}}{T^I} = \frac{2 \cdot 565 \cdot 260}{35} + \frac{I}{7 \cdot 10^{-3}}$$

$$\cdot \frac{530}{35} \approx 10550 \text{ м};$$

$$L = 2 \left[\sqrt{A^2 + \frac{2T \cdot H^0}{W}} - A \right] = 2 \left[\sqrt{10,55^2 \cdot 10^6 + \frac{2 \cdot 565 \cdot 2,55}{10^{-3}}} - 10,55 \cdot 10^{-3} \right] = 2 \left[10,55^2 \cdot 10^6 + 2,88 \cdot 10^6 - 10,55 \cdot 10^{-3} \right] \approx$$

$$\approx 270 \text{ м}.$$

Приведенный пример достаточно убедительно подтверждает сделанный ранее вывод о необходимости учета слоистости покровной слабопроницаемой толщи при оценке гидрогеологических параметров для обоснования горизонтального дренажа.

В том случае, когда предполагается перетекание из покровного слоя и нижележащего пласта (из II этажа), опытный куст целесообразно дополнить наблюдательной скважиной в разделяющем слое (рис. I и 4Б). По реакции этой скважины наиболее эффективно можно судить о самом факте перетекания, так как при условии значительной большей водообильности нижнего пласта установленная в нем наблюдательная скважина может практически не прореагировать на откачку,

и пьезометрический уровень этого пласта в процессе откачки существенно не изменится. Кроме того, наблюдения за реакцией на откачку напоров в разделяющем слое позволяют оценить его пьезопроводность (α_p) по времени запаздывания (t_3). При заложении фильтра наблюдательной скважины на Δm ниже кровли разделяющего слоя (рис. 4Б)

$$\alpha_p = \frac{\Delta m^2}{4 t_3}.$$

Коэффициент фильтрации K_p разделяющего слоя можно оценить из соотношения $K_p = \frac{\alpha_p \cdot \mu_p^*}{m_p}$. Зная коэффициент сжимаемости этого слоя (α_v), по данным компрессионных испытаний при реальных изменениях давлений, и, соответственно, величину упругой водоотдачи [5],

$$\mu_p^* = \frac{m_p \left(\frac{\epsilon}{E} + \alpha_v \right)}{1 + \epsilon},$$

где ϵ — коэффициент пористости;

$\frac{m_p}{1 + \epsilon}$ — объем скелета грунта;

E — модуль упругости воды.

Указанную методику определения K_p намечено апробировать при проведении опытных кустовых откачек на Джизакском массиве Голодной степи.

Суммарная проводимость II этажа определяется по данным откачки из скважины, фильтр которой установлен во всех водоносных горизонтах (рис. I пьезометр II). Опыты проведения откачек такого рода показывают, что в большинстве случаев для определения таких параметров, как проводимость водоносного горизонта, коэффициент фильтрации слабопроницаемого слоя и коэффициент пьезопроводности, можно использовать известные аналитические решения. В сложных случаях для решения обратной задачи целесообразно использовать аналоговые электрические модели.

Качество результатов опытной кустовой откачки вообще зависит от надежности работы наблюдательных скважин и детальности измерений в них колебаний уровня воды.

Общепринятая конструкция наблюдательной скважины с затрубной цементацией, для проведения которой в колонне устанавливается пробка выше рабочей части фильтра и цементный раствор нагнетается через специальные отверстия, может быть успешно реализо-

вана при установке наблюдательных скважин в хорошо водопроницаемые пласты.

В глинистых породах эта конструкция оказывается неприемлемой, так как она исключает возможность промывки скважины после установки фильтровой колонны. Предварительная промывка перед спуском колонны чревата возможными обвалами стенок скважины в той ее части, где были пройдены крупнообломочные породы. В этих условиях предлагается конструкция глубокой наблюдательной скважины, показанная на рис.5.

При бурении скважин на глубину, где должна быть выполнена изоляция, производят смену диаметров бурения (лучше всего с $II\ 3/4$ на $5\ 3/4$). По окончании бурения скважина промывается слабым глинистым раствором, для очистки от шлама в нее опускается фильтровая колонна (при $d_2 = 5\ 3/4$; $d_{cp} = 2,5-3$) с металлическим диском (при $d_1 = II\ 3/4$; $d_d = 220-230$ мм; $h = 5-6$ мм). После упора диска в месте смены диаметра бурения колонна приподнимается и производится тщательная промывка скважины. По окончании промывки колонну опускают на прежнее место (до упора), а затем выполняют тампонаж глиной (рис.5) и цементом через специальную колонну газовых труб.

Качество пьезометров обязательно проверяется наливом, материалы которого дают дополнительную информацию для определения коэффициентов фильтрации, в основном в слабопроницаемых слоях.

При проведении откачек особое внимание должно быть уделено первому понижению, продолжительность которого в слоистых системах рекомендуется принимать не менее 7-10 суток с последующей остановкой откачки для наблюдений за восстановлением уровня в центральной и наблюдательных скважинах, заложенных в каптируемый пласт.

В институте "Среднеазиатгипроводхоз" принята следующая детальность наблюдений за динамикой уровней в скважинах опытного куста (и соответственно дебиты центральной скважины):

первые тридцать минут откачки - через 3-5 минут,
следующие тридцать минут - через 10 минут,
второй час откачки - через 15 минут,
третий и четвертый час откачки - через 30 минут,
последующие четыре часа - через 1 час,
далее - через 2 часа.

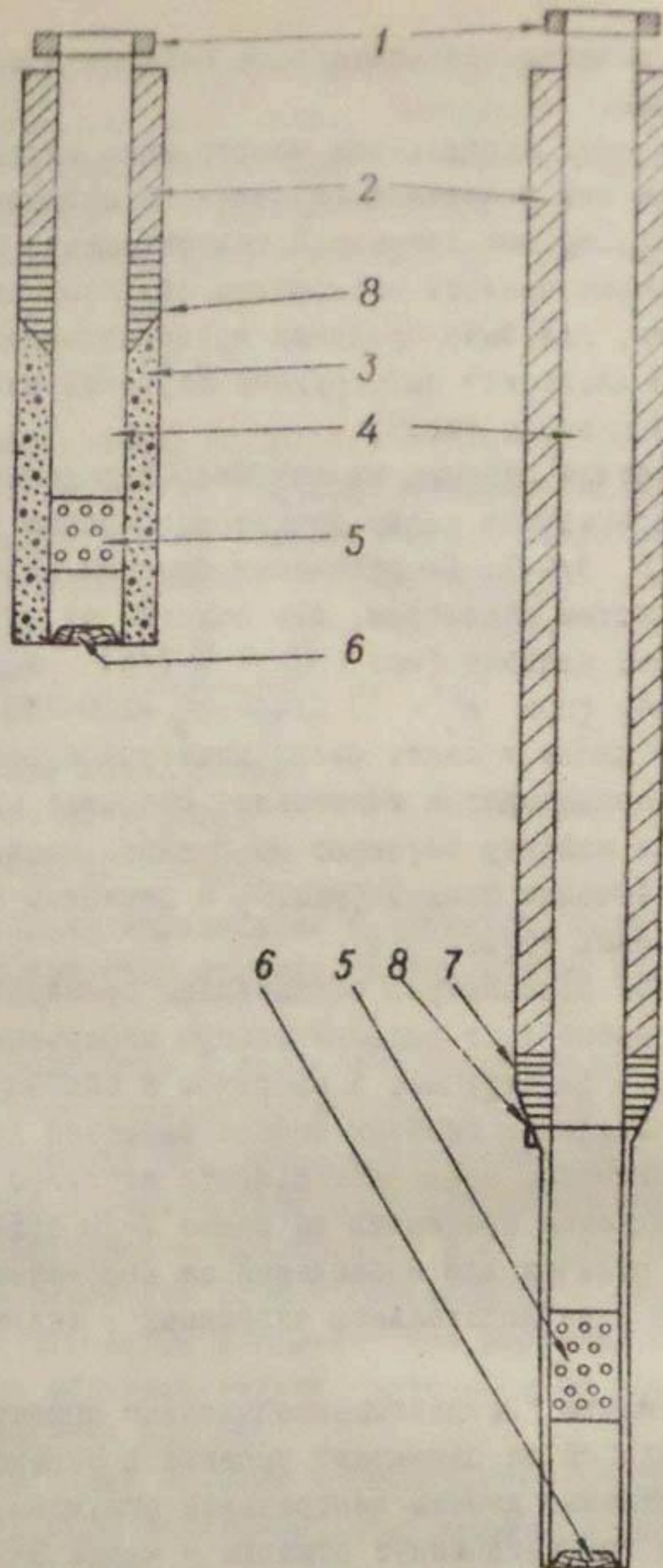


Рис. 5. Типовые конструкции наблюдательных скважин:

1— железная крышка на резьбе, 2—цементный тампонаж, 3— гравийная обсыпка, 4— фильтровая колонна, 5— фильтр, 6— деревянная пробка, 7— тампонаж глиной, 8— диск металлический.

При значениях проводимости пласта (ориентировочно) более 800-1000 м²/сутки замеры уровней в течение первого часа откачки проводятся чаще.

При такой детальности измерений, как правило, удается проследить процесс снижения уровней в центральной и наблюдательных скважинах и, кроме того, с удовлетворительной точностью отметить запаздывание реакции на откачку в покровном и раздельном слоях.

ЛИТЕРАТУРА

1. И.С.Пашковский, В.М.Шестаков. О принципах гидрогеологической схематизации для обоснования фильтрационных расчетов на массивах орошения. "Вестник МГУ", 1968, № 2.
2. А.М.Сойфер, Е.В.Личидов, Ю.В.Постнов. Гидрогеологические исследования при проектировании дренажа. Доклады Всесоюзного совещания по вертикальному дренажу. М., Гипроводхоз, 1968.
3. Техника проведения и методика обработки опытно-фильтрационных работ. ВСЕГИНГЕО, 1969.
4. И.С.Пашковский. Определение гидрогеологических параметров в условиях взаимодействия водоносных горизонтов. "Вестник МГУ", 1969, № 2.
5. В.М.Шестаков. Теоретические основы оценки подпора водопонижения и дренажа. Изд-во МГУ, 1965.
6. В.М.Шестаков. Методические указания по расчетам систематического дренажа в слоистых системах. М., ВСЕГИНГЕО, 1966.

А.М.СОЙФЕР, С.Я.СОЙФЕР

РАЙОНИРОВАНИЕ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ ПО ТИПОВЫМ
ФИЛЬТРАЦИОННЫМ СХЕМАМ

Надежность гидрогеологического обоснования дренажа в значительной степени определяется правильным построением расчетной фильтрационной схемы на основе анализа природной обстановки в целом, с учетом тех изменений, которые могут быть внесены новым орошением.

Обоснование таких схем можно рассматривать как синтез изучения литолого-геоморфологического строения и гидрогеологических условий орошаемого массива, анализа строения водоносного комплекса и ряда основных гидрогеологических параметров.

Основным элементом предлагаемого районирования является типовая схема строения водоносного комплекса, которая определяется геоморфолого-литологическим строением и положением уровня грунтовых вод. Эти элементы районирования должны быть выделены еще в процессе проведения исследований, по завершению гидрогеологической разведки, таким образом, чтобы соответственно был установлен необходимый комплекс опытно-фильтрационных работ.

Под схемой строения водоносного комплекса подразумевается типичный для данного участка литологический разрез до регионального водоупора ^{I/} (или на разведанную глубину), в котором выделя-

^{I/} При рассмотрении более глубоких напорных пластов, гидравлически не связанных с водоносным комплексом в верхней части разреза, аналогичным может быть понятие "схема строения водонапорной системы".

ются водоносные пласты и слабопроницаемые слои конкретного литологического состава. Следовательно, понятие "водоносный комплекс" распространяется на системы гидравлически тесно связанных водоносных горизонтов, в нашем случае (обоснование мероприятий) — на системы водоносных горизонтов грунтовых и субнапорных вод. При анализе строения водоносного комплекса по результатам разведочных работ не всегда удается четко выделить водоносные пласты, которые должны быть рассмотрены дифференцированно в расчетной схеме, главным образом это касается хорошо водопроницаемых прослоев различной мощности в толще покровных глинистых пород. С особой тщательностью строения покровных отложений должно быть проанализировано при обосновании систематического горизонтального дренажа. При этом верхний 5-6-метровый слой (до предельной глубины заложения дрен) заслуживает специального литологического картирования, в результате которого должно быть отражено развитие в плане прослоев хорошо водопроницаемых пород мощностью более 0,2-0,3 м. Целесообразность такого подхода к изучению литологического строения покровных отложений на уровне заложения горизонтального дренажа подтверждается многочисленными данными обследований действующих дрен в Голодной и Дальварзинской степях.

В Таджикской части Дальварзинской степи, например, отмечалось увеличение в 2-3 раза дебита дрен, вскрывающих водоприемной частью прослой пясчано-гравийных пород мощностью 0,3-0,5 м.

В случаях, когда покровные отложения до глубины 5-6 м имеют сравнительно однородное литологическое строение, особенности его могут быть показаны на типовых схемах строения водоносного комплекса, без специального картирования.

Для предварительной оценки гидродинамической роли прослоев хорошо водопроницаемых пород, развитых в покровных отложениях ниже уровня заложения дрен, следует широко применять так называемые "разведочные" расчеты [1], исходя из того, что реальный диапазон значений фильтрационных характеристик практически всех литологических разностей в настоящее время уже известен для районов проектируемого орошения.

При построении фильтрационной схемы результаты отмеченного ранее предварительного анализа прежде всего дополняются уточнен-

ными гидрогеологическими параметрами водоносного комплекса и, соответственно, окончательным обоснованием обобщенного или дифференцированного рассмотрения покровных отложений.

Выделенные типовые схемы должны быть отражены на специальной карте районирования, принципы построения которой иллюстрируются макетом "Карты районирования Коксаральской степи по типовым фильтрационным схемам". Рассматриваемый район, достаточно типичный для условий предгорных равнин Средней Азии, представляет собой конус выноса древней долины реки Ангрен, слившийся с предгорным шлейфом Кураминского хребта.

Предгорная равнина с поверхности сложена суглинками легкими пылеватыми лессовидными, просадочными. Коэффициент фильтрации суглинков в зоне аэрации в среднем 0,27 м/сутки. Под влиянием орошения после проявления просадочных деформаций коэффициент фильтрации уменьшится в 2-3 раза и составит в среднем 0,1 м/сутки.

В верхней пятиметровой толще просадочная деформация практически проявляется очень слабо, и для расчета горизонтального дренажа коэффициент фильтрации данной толщи следует принимать 0,2 м/сутки.

Все выделенные на карте типовые схемы (они показаны укрупненно) подробно характеризуются в экспликации.

Отличительной особенностью Коксаральской степи является расчлененность рельефа, обусловленная эрозионно-аккумулятивной деятельностью позднелейстоценовых долин и современным оврагообразованием. Долины имеют собственные отложения мощностью до 15-20 м. В них переслаиваются глинистые, песчаные и гравийно-галечные породы переменной мощности.

В производственной практике часто ограничиваются этими дополнениями, однако установленная таким образом упрощенная фильтрационная схема не всегда может служить расчетной, так как не содержит ряда параметров, перечисленных ниже; более содержательным было бы в данном случае определение "схема фильтрационного строения" участка (по предложению В.М.Шестакова).

Для обоснования расчетной фильтрационной схемы определенного типа дренажа необходимо с учетом имеющихся сведений о фильтрационном строении участка решить следующие задачи:

I) установить I этаж водоносного комплекса, на котором существенно сказывается влияние работы дренажа;

- 2) определить параметры гидродинамических границ;
- 3) оценить разгрузку естественного потока в условиях нового орошения;
- 4) определить прогнозную величину инфильтрационного питания с учетом режима орошения и параметров влагопереноса в зоне впадения, а также по данным натурных наблюдений на орошаемых участках;
- 5) обобщить имеющиеся данные о возможных фильтрационных сопротивлениях проектируемых дрена при заданной технологии строительства.

Следует отметить, что сведения о питании и разгрузке грунтовых вод до развития орошения должны быть отражены на карте гидрогеолого-мелиоративного районирования изучаемой территории [2].

Для оценки надежности результатов гидрогеологической разведки при сложных формах залегания водоносных горизонтов могут применяться статистические методы. Необходимо отметить, что к статистической обработке данных разведочных работ следует подходить с большой осторожностью, так как залегание водоносных горизонтов не всегда носит случайный характер. Правомерность применения статистических методов должна подтверждаться анализом гидрогеологической обстановки на каждом рассматриваемом участке.

После проведения опытно-фильтрационных работ крайне редко удается обосновать статистическими методами достоверность принятых для каждой расчетной фильтрационной схемы гидрогеологических параметров из-за недостаточного объема информации. Это положение, как правило, подтверждается для районов нового орошения Средней Азии, приуроченных преимущественно к предгорным шлейфам с резкой дифференциацией обломочных пород и, соответственно, весьма ограниченными по площади участками с однотипным литологическим строением. В подобных случаях при надежном обосновании типовой схемы строения водоносного комплекса (с обязательным условием оценки однородности водоносных горизонтов по литологическому составу) гидрогеологические параметры могут быть определены ограниченным количеством фильтрационных опытов.

В связи с этим детальный анализ строения водоносного комп-

лекса по завершению гидрогеологической разведки представляется чрезвычайно важным, так как впоследствии, в случае изменения границ типовых участков, отдельные фильтрационные схемы могут быть недостаточно обоснованы гидрогеологическими параметрами. Чаще всего оказывается целесообразным подробное расчленение исследуемого района по особенностям геоморфолого-литологического строения (с учетом изменений литологического состава и мощности водоносных горизонтов) и рассмотрение в дальнейшем более укрупненных фильтрационных схем, если это будет приемлемо с точки зрения обоснования выбранного типа дренажа.

При обосновании типовой схемы следует выбирать ограниченный диапазон мощности водоносных горизонтов (главным образом основного водоносного пласта и покровного слоя). В противном случае, даже при детально проведенной разведке установленная схема строения водоносного комплекса по результатам статистической обработки окажется недостаточно достоверной. В качестве примера рассмотрим данные детальной разведки участка в совхозе № 4 Голодной степи площадью около 35 км^2 , для которого характерна невыдержанная мощность покровных глинистых пород.

Участок расположен на периферии предгорного шлейфа Туркестанского хребта, однотипен по геоморфолого-литологическому строению; мощность покровных отложений, как видно из рис. I и табл. I, изменяется бессистемно.

Таблица I

Изменение мощности покровных отложений

№ скв.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Мощность
покровных
отложений,
м

7,5 1,0 5,5 10,0 8,0 3,7 1,5 11,3 5,5

№ скв.	9а	10	11	12	14	16	17	18
	11	12	13	14	15	16	17	18

Мощность
покровных
отложений,
м

5,5 8,8 7,5 6,0 3,0 20,0 5,0 3,0

№ скв.	19	20	26	30	б/н
	19	20	21	22	23

Мощность
покровных
отложений,
м

0,0 8,8 3,5 20 6,0

Вариационный ряд

0; 1 0; 1,5 3; 3; 3,5; 3,7; 5; 5; 5,5; 5,5; 5,5;
6; 6; 7,5; 7,5; 8; 8,8; 8,8; 10;
11,3
I II III
20; 20
IV

Ряд можно разделить на 4 части с учетом глубины заложения
дрен - 3,5 м и мощности покровных отложений:

I - мощность покровных отложений незначительна;

II - покровный слой прорезается дренами, сопротивление дрены опре-
деляется мощностью основного водоносного пласта;

III, IV - мощность покровного слоя превышает заглубление дрены.

Ниже приводится таблица распределения по III части вариацион-
ного ряда, IV часть (две скважины на севере рассматриваемой пло-
щади) целесообразно объединять с III в одной схеме, так как при
этом резко возрастет рассеивание величин мощности (как будет
показано ниже, стандартное отклонение и коэффициент вариации
увеличатся более чем в 2 раза).

Кривая эмпирического распределения, образующая полигон частот (рис. 2Б), имеет довольно сложную конфигурацию, что, по-видимому, связано с неравномерными изменениями мощности покровного слоя и в какой-то мере с малым объемом информации.

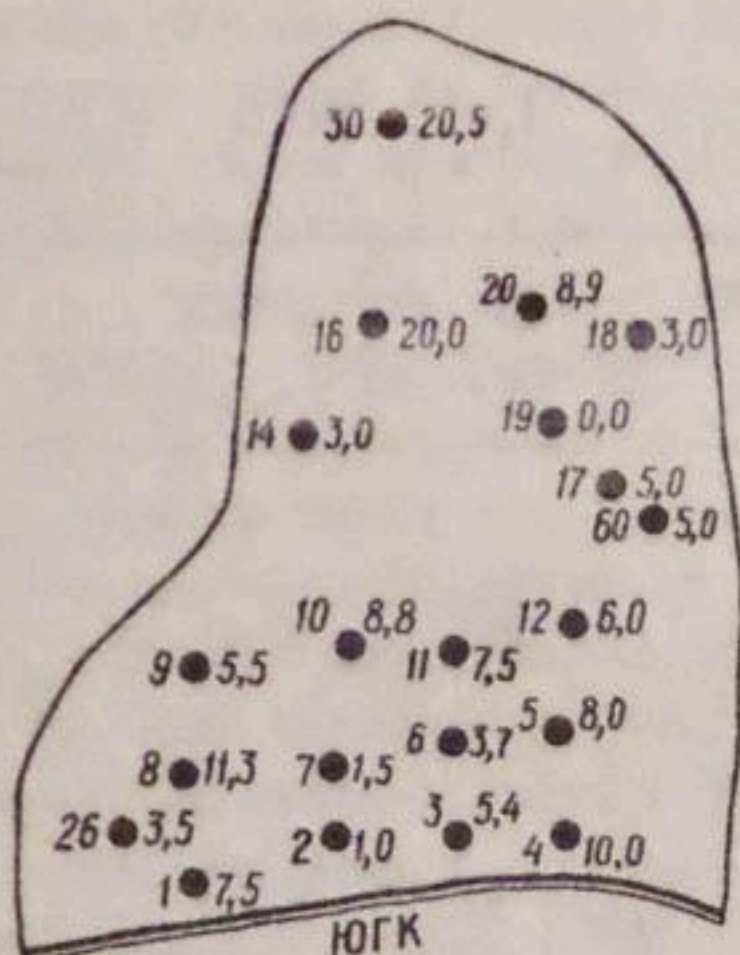


Рис. 1. Схема расположения выработок на участке в совхозе № 4 Голодной степи (9 • 5,5: слева — номер скважности, справа — мощность покровного слоя).

Тем не менее, как видно из табл. 2 и графиков рис. 2, кривая полигона частот довольно хорошо аппроксимируется теоретической кривой распределения по закону Пуассона. Такого же типа распределения получено в работе [3] при оценке вероятности вскрытия скважиной n прослоев песка на Джизакском массиве Голодной степи, а также в условиях периферии предгорного шлейфа Туркестанского хребта. Принятый закон распределения можно подтвердить критерием Пирсона [4], приняв $q = 10\%$. При этом $\chi^2_{0,1} = 13,4$ ($\kappa = 8$), а

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^8 \frac{(m_i - m_{cp})^2}{m_{cp}} = 7,3 < 13,4.$$

Определим основные характеристики рассеивания [5] при $m_{cp} = 7$ м.

Стандартное отклонение (среднеквадратичная ошибка) эмпирическое

$$S_m = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^{15} (m_i - m_{cp})^2 \cdot n_i} \approx 2,0 \text{ м.}$$

По распределению Пуассона

$$\sigma_m = \sqrt{\sum_{i=1}^{15} (m_i - M_x)^2 \cdot p_i} \approx 1,6 \text{ м; } M_x = \sum_{i=1}^8 m_i p_i = 6,7 \text{ м.}$$

Соответственно коэффициент вариации:

$$V_m = \frac{S_m}{m_{cp}} \cdot 100\% \approx 30\% \quad \gamma_m = \frac{\sigma_m}{M_x} \cdot 100\% \approx 24\%.$$

Таблица 2

Распределение мощности покровных отложений по III части
вариационного ряда

Мощ- ность покров- ного слоя m_x	Порядко- вый но- мер x	Число связей- вскрыв- ших m_x	Час- то- та данного числа связей	Кумуля- тивн. эм- пирич. функция распред. $W(x) = \sum_0^x w(x)$	Распределение по закону Пуассона				Нормальное распределение			
					вероят- ность	кумуля- тивная вероят- ность	вероят- ность	кумуля- тивная вероят- ность	плотность вероят- ности	кумуля- тивная вероят- ность	плотность вероят- ности	кумуля- тивная вероят- ность
					$p(x)$	$P(x)$	$p'(x)$	$P'(x)$	$\varphi(x)$	$\Phi(x)$	$\varphi(x)$	$F(x)$
3,7	0	1	0,067	0,067	0,03	0,03	0,05	0,05	0,06	0,05	0,06	0,05
5,0	1	2	0,133	0,200	0,10	0,13	0,15	0,20	0,11	0,17	0,11	0,17
5,5	2	3	0,200	0,400	0,18	0,31	0,22	0,42	0,14	0,31	0,14	0,31
6,0	3	2	0,133	0,533	0,21	0,52	0,22	0,64	0,16	0,47	0,16	0,47
7,5	4	2	0,133	0,666	0,19	0,71	0,16	0,80	0,17	0,64	0,17	0,64
8,0	5	1	0,067	0,733	0,14	0,85	0,10	0,90	0,16	0,80	0,16	0,80
8,8	6	2	0,133	0,866	0,08	0,93	0,05	0,95	0,12	0,92	0,12	0,92
10,0	7	1	0,067	0,933	0,04	0,97	0,03	0,98	0,06	0,98	0,06	0,98
11,3	8	1	0,067	1,000	0,02	0,99	0,01	0,99	0,02	1,00	0,02	1,00
Итого:		15	1,000		0,99		0,99		1,00			

Расчетные формулы

$$P = e^{-3,6} \frac{3,6^x}{x!}; \quad P'(x) = e^{-3} \frac{3^x}{x!}; \quad \varphi(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}}$$

$$\text{где } a = 7 \quad \sigma = 2,12$$

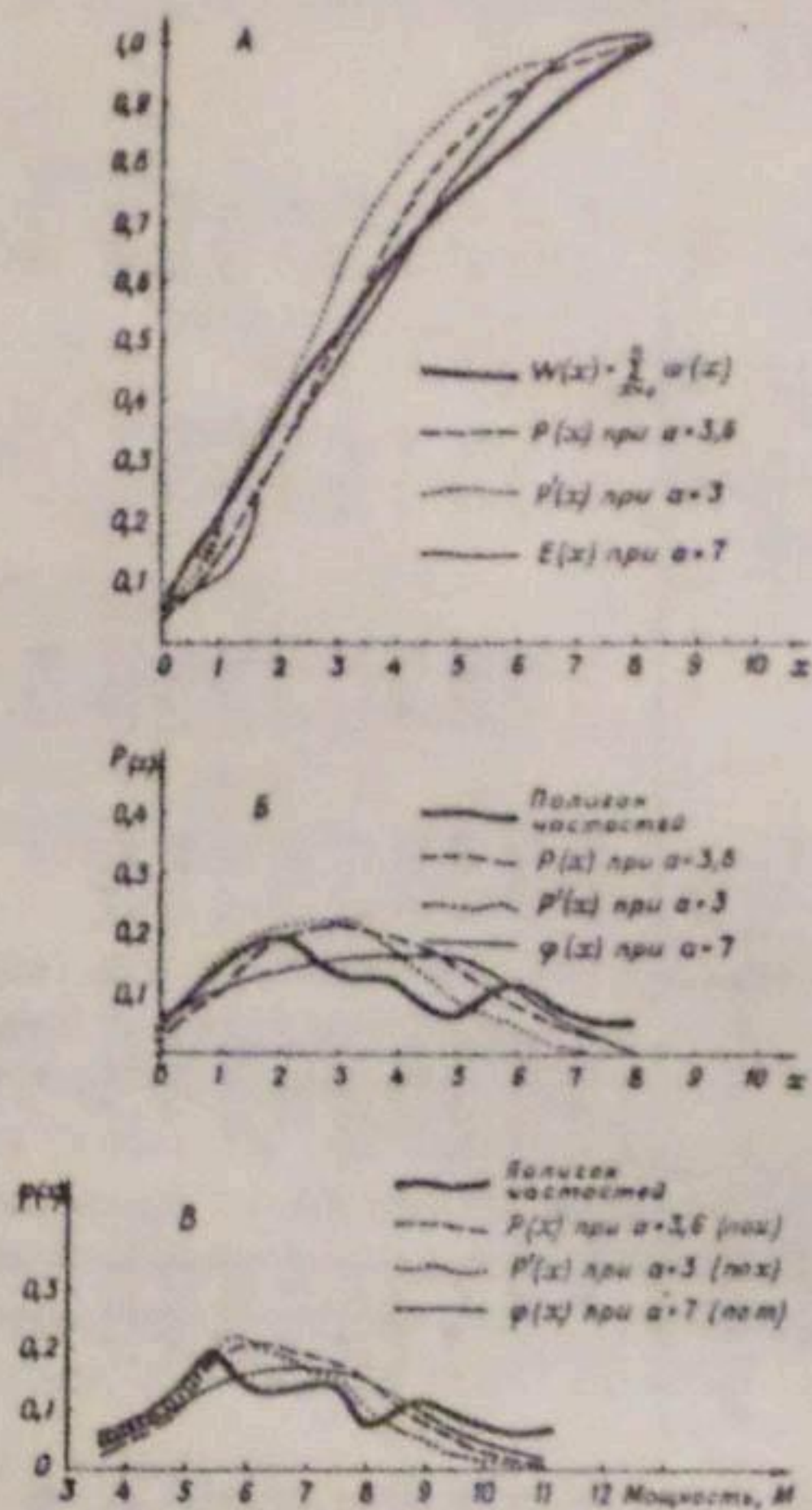


Рис.2. Графики: А- эмпирической функции распределения и кумулятивной вероятности, Б- распределения вероятности по $x=0,1,2\dots 8$, В- распределения вероятностей по значениям мощности.

Заметим, что при объединении III и IV частей вариационного ряда в одну схему были бы получены значения стандартного отклонения и коэффициента вариации (эмпирические - S_m, V_m) соответственно 4,7 и 67%.

Для эмпирического распределения стандартное отклонение S_m определяет результат с вероятностью $W(x) = 0,8$; $2 S_m - W(x) = 0,93$ и $3 S_m - W(x) \approx 1$.

Функцию распределения вероятностей по закону Пуассона (см. табл. 2) при стандартном отклонении σ_m получаем $F = 0,35$; при $2\sigma_m$ $F = 0,866$; при $3\sigma_m$ $F = 99$.

Гарантированное среднее значение мощности покровного слоя в этом случае (с $F = 0,99$)

$$\bar{m} = m_{cp} \pm \frac{3\sigma_m}{\sqrt{n-1}} = 7m \pm 1,3m.$$

Для оценки надежности схемы строения водоносного комплекса, полученной в результате разведки, целесообразно установить специальный критерий, который может быть назван "показателем достоверности" и определен по соотношению

$$P_g = 1 - \frac{\epsilon}{m_{cp}},$$

где $\epsilon = \frac{3\sigma_m}{\sqrt{n-1}}.$

В рассматриваемом примере

$$P_g = 1 - \frac{1,3}{7} \approx 0,8.$$

При детальности разведки, соответствующей стадии "Технический проект", величина P_g , по-видимому, должна быть больше 0,6-0,7. Этот критерий следует уточнить по результатам разведки в различных геоморфолого-литологических условиях.

Для каждой обоснованной схемы строения водоносного комплекса намечаются опытно-фильтрационные работы, в основном кустовые откачки, дополненные экспресс-опытами в зоне вариации и на уровне заложения горизонтального дренажа.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.М. Шестаков. Методические указания по расчетам систематического дренажа в слоистых системах. М., ВСЕИНГЕО, 1966.

2. Н.Н.Ходжибаев. Гидрогеолого-мелиоративное районирование. Сб. докладов Международного семинара "Гидрогеологические исследования для орошаемого земледелия". Ташкент, 1968.
3. И.С.Пашковский, В.М.Шестаков. О принципах гидрогеологической схематизации для обоснования фильтрационных расчетов на массивах орошения. Вестник МГУ, 1968, к 2.
4. Н.В.Смирнов, И.В.Дуниин-Барковский. Курс теории вероятностей и математической статистики. М., 1969.
5. Л.З.Румянский. Элементы теории вероятности. М., 1966.

Л. Н. ПОБЕРЕЖСКИЙ

кандидат географических наук

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СУММАРНОГО
ИСПАРЕНИЯ

В условиях орошения под мелиорацией земель обычно понимают комплекс мероприятий, направленный на предотвращение засоления корнеобитаемого слоя почвы и поддержание в нем оптимального водно-воздушного режима. Наибольшая эффективность мелиорации, определяемая повышением урожайности доминирующей культуры — хлопчатника, может быть достигнута лишь на основе всестороннего изучения водного баланса территории. Ведущую роль в этом изучении занимает исследование процессов водопотребления растений, как правило, приравниваемого к суммарному испарению.

Существует большое количество методов измерения суммарного испарения и его основных составляющих. Однако вплоть до настоящего времени не выяснен вопрос о том, какому методу отдать предпочтение в различных почвенно-климатических и гидрогеологических условиях.

Среднегодовая (нормальная) величина суммарного испарения с естественно увлажняемых территорий достаточно удовлетворительно определяется, например, методом водного баланса, но определение испарения за более короткий промежуток времени (вегетационный период, месяц, декада) встречает ряд трудностей методического

характера, причем нет единого мнения относительно путей их преодоления.

Метод почвенных испарителей

Сущность этого метода заключается в определении изменения веса почвенного монолита, заключенного в специальный сосуд, с учетом атмосферной и ирригационной влаги, а также количества воды, просочившейся через монолит.

Расчетная формула имеет вид

$$E = S \cdot (P_H - P_K) + x - q,$$

где E — суммарное, или физическое, испарение соответственно при наличии или отсутствии растительного покрова на поверхности монолита;

P_H и P_K — вес испарителя с монолитом в начале и конце расчетного периода;

x — сумма атмосферной и ирригационной воды;

q — количество воды, просочившейся через монолит;

S — коэффициент, зависящий от площади испарителя.

В гидравлическом испарителе системы В.А. Урывьева изменение веса почвенного монолита определяется по степени его погружения относительно уровня воды на основе принципа гидростатического взвешивания.

$$\Delta P = \Delta h \cdot F \cdot \gamma$$

где ΔP — изменение веса плавающего тела;

Δh — изменение степени погружения тела под влиянием изменения его веса;

F — площадь сечения плавающего тела в плоскости основания;

γ — плотность жидкости, в которой плавает тело.

Суммарное испарение определяется по формуле

$$E = \kappa [(H_1 - H_2) - (h_1 - h_2)] + x.$$

Здесь H_1 и H_2 — начальное и конечное высотные положения плавающей системы;

h_1 и h_2 — начальный и конечный уровни воды в баке;

x — приход воды на поверхность монолита;

κ — калибровочный коэффициент.

Гидравлические испарители не получили широкого распространения по причине сложности и громоздкости, а также дороговизны. К тому же в литературе уже имеется предположение, что высокая точность гидравлических испарителей не более чем инструментальная [1].

Всем испарителям независимо от конструкции, а также лизиметрам свойствен значительный недостаток, в известных условиях практически неустранимый. Сущность его заключается в противоречии между интегральным характером испарения, а также основных факторов, его определяющих, и точным способом измерения. Другими словами, полученные с помощью почвенных испарителей результаты могут быть перенесены на сколько-нибудь значительную площадь лишь при наличии гарантии совпадения всего комплекса почвенно-гидрологических, метеорологических, актинометрических, фенологических и антропогенных факторов в точке и на рассматриваемой площади. Естественно, подобного совпадения в природе не бывает, и поэтому мы вынуждены сталкиваться с довольно существенными погрешностями вариационного характера.

Несмотря на эти недостатки метод почвенных испарителей будет, по-видимому, еще длительное время применяться в практике гидрометеорологии. Поэтому необходимо продолжать разработку методики измерений, дифференцируя ее по почвам, имеющим различные типы водного режима.

Наряду с недостатками метод характеризуется и важным преимуществом: простота вычислений, применимость в практически любых погодных условиях и, что особенно важно, возможность разделения суммарного испарения на его основные составляющие.

Метод лизиметров

Любая конструкция лизиметра предусматривает наличие на определенной его глубине зеркала грунтовой воды — обстоятельство, отличающее лизиметры от почвенных испарителей.

Большинство типов и конструкций лизиметров описано в Методических указаниях ВСЕГИНГЕО [2], и мы отсылаем интересующихся к указанному литературному источнику.

Лизиметры предназначены для наблюдений за динамикой уровня грунтовой воды в процессе испарения, но в последние годы гидрогео-

логи пользуются лизиметрическими данными для оценки суммарного испарения и построения методики его расчета на основе зависимости от глубины до уровня грунтовой воды (УГВ).

К настоящему времени сетью гидрогеологических станций накоплен громадный фактический материал, однако до сих пор не решена проблема расчета испарения по связи с глубиной УГВ. Более того, лизиметры не дают и достоверной величины испарения в пространственном выражении в силу того, что испарение — характеристика интегральная, а метод лизиметров, будучи по своему существу точечным, не учитывает пространственной вариации ни одного из факторов, определяющих расход влаги на испарение и транспирацию.

Очевидно, увеличение повторности измерений сглаживает вариационные погрешности, но рассчитать оптимальную повторность при столь больших колебаниях влажности и водно-физических свойств зоны аэрации, высоты и густоты стояния хлопчатника, строения и затененности поверхности почвы, урожая, какие мы наблюдаем в условиях орошения, в настоящее время не представляется возможным. К тому же точность измерений возрастает лишь пропорционально корню квадратному из числа повторностей.

Не исключено, что большие расхождения в измеренных лизиметрами величинах испарения вызваны тем, что соответствуют различному числу повторностей. Например, Н.Н.Ходжибаев и М.С.Алимов [3] приводят для Голодной степи данные, согласно которым при глубине УГВ 1,5 м за вегетационный период (У-Х) испаряется 366 мм, а при глубине 2,0 м — 342 мм. Если же воспользоваться расчетными связями Д.М.Каца [4], то величины испарения для тех же глубин УГВ оказываются соответственно равными 300 и 200 мм.

Сказанное отнюдь не означает, что лизиметрический метод непригоден. При условии корректно поставленного эксперимента результаты, полученные с помощью лизиметров, по точности и надежности равны или близки соответствующим данным, получаемым методом почвенных испарителей. Корректным считается эксперимент, в котором, помимо обычных параметров, отдельно и независимым путем измеряется количество воды, израсходованное в зону аэрации из УГВ. Тогда расчетная формула примет вид

$$E = S \cdot (H_H - H_K) - W_{\text{из}} + [(x + y) - \rho],$$

где S - коэффициент, зависящий от площади лизиметра;
 H_n и H_K - начальное и конечное положения уровня грунтовой воды;
 W_a - количество воды, поступившее в зону эврации монолита из УГВ;
 $x+y$ - сумма атмосферных и ирригационных вод;
 ρ - отливка воды из лизиметра после полива или обильных осадков.

Нетрудно видеть, что почвенно-испарительные и лизиметрические измерения являются частным случаем метода водного баланса применительно к ограниченным объемам зоны эврации или насыпным грунтам.

Метод теплового баланса

Уравнение теплового баланса сельскохозяйственного поля может быть записано в виде

$$C_p \rho h \frac{\partial T}{\partial t} = R - LE - \rho - B + (A_1 - A_2) - L_i \cdot m,$$

где C_p - теплоемкость воздуха;
 ρ - его плотность;
 h - высота деятельного слоя;
 $\frac{\partial T}{\partial t}$ - скорость изменения температуры деятельного слоя;
 R - радиационный баланс;
 LE - затраты тепла на испарение;
 ρ - затраты тепла на турбулентный теплообмен;
 B - поток тепла в почву;
 $A_1 - A_2$ - горизонтальный перенос тепла в деятельном слое (адвекция);
 $L_i \cdot m$ - затраты тепла на фазовые превращения влаги в деятельном слое;
 L_i - скрытая теплота фазового превращения влаги;
 m - масса сконденсировавшейся влаги.

Отдельными членами уравнения, очевидно, можно пренебречь по причине их малости. Например, затраты тепла на фазовые превращения влаги в деятельном слое близки к нулю, так как слой конденсации, как правило, не превышает 0,2 мм, что соответствует выделению

тепла 1,2 кал. Интенсивность выделения тепла за период конденсации составит 0,01 - 0,02 кал/мин, что на порядок меньше величины радиационного баланса.

Приближенная оценка изменения содержания тепла в слое растительности показывает, что этот член, например, при скорости изменения температуры донтального слоя растительности на 5° за 360 мин., высота травостоя 3 м, зеленой массы 300 ц/га, плотности биомассы 1 г/см^3 и объемной теплоемкости $0,65 \text{ кал/см}^3 \cdot \text{град}$ составляет всего 0,015 кал/мин [5].

Влияние адвекции исключается при расположении приборов на расстоянии x от наветренного края поля,

$$x = 10H \frac{U_1}{K},$$

где H - высота установки приборов;

U_1 - скорость ветра;

K - коэффициент турбулентности, определяемый из уравнения теплового баланса:

$$K = 0,74 \frac{R - B}{\Delta t + 1,56 \Delta e},$$

где Δt и Δe - градиенты температуры и абсолютной влажности воздуха.

Таким образом, если площадка для наблюдений достаточно удалена от края поля, то уравнение теплового баланса для расчета величин испарения с сельскохозяйственных полей существенно упрощается

$$R = B + P + E;$$

а окончательная формула с учетом соотношения Боуэна [6] примет вид:

$$E = \frac{R - B}{1 + 0,64 \frac{\Delta t}{\Delta e}}.$$

Величины R , Δt и Δe измеряются непосредственно, а тепловой поток в почву определяют расчетным путем по данным о градиентных измерениях и сведениям о температуре и влажности почвы на разных глубинах.

Случайные ошибки при определении величин испарения методом теплового баланса в 1,5 - 2,5 раза ниже, чем при определении

испарения методом почвенных испарителей. При условии правильного выбора пунктов наблюдений, а также своевременных поверок и контроле приборов систематические ошибки не превышают 5% [1].

Однако в отдельных случаях метод теплового баланса может давать существенные погрешности, что ограничивает область его применения.

Как известно, при переменной облачности величина радиационного баланса обладает большой изменчивостью и потому единичный отсчет не всегда соответствует среднему значению радиационного баланса за какой-то интервал времени. С этой точки зрения представляется перспективной автоматическая регистрация составляющих баланса.

При малых значениях разности $R - B$, что нередко бывает при пасмурной погоде, в ночные, утренние и вечерние часы, определение испарения методом теплового баланса является крайне неточным, поскольку в это время затраты тепла на испарение или поступление его за счет конденсации представляет собой столь малые величины, что по абсолютному значению целиком лежат в пределах ошибок измерений. В это время погрешность определения испарения может достигать 100% и более. Очевидно, при $R - B = 0$ метод теплового баланса неприменим вовсе.

Весьма важное значение имеет точность приборных измерений единичных величин радиационного баланса, которая прежде всего определяется точностью переводных множителей и, как правило, не выходит за пределы 10%.

В то же время существенные трудности встречает оценка погрешностей, связанных с различной спектральной чувствительностью балансомеров к длинноволновой и коротковолновой радиации. Возникающая по этой причине систематическая ошибка в сторону завышения величин длинноволнового баланса составляет около 20% [7].

Произведенное нами сравнение методов теплового и водного балансов на землях Центрального массива Голодной степи показало, что в интервале обеспеченности 10-90% (80% всех случаев) возможное абсолютное расхождение измеренных двумя методами декадных сумм испарения не выходит за пределы $-7 - +10$ мм (рис. 1).

Все же большая трудоемкость наблюдений и обработки полученных результатов ограничивает применение метода теплового баланса. В настоящее время этот метод используется, главным образом, в научно-исследовательских целях.

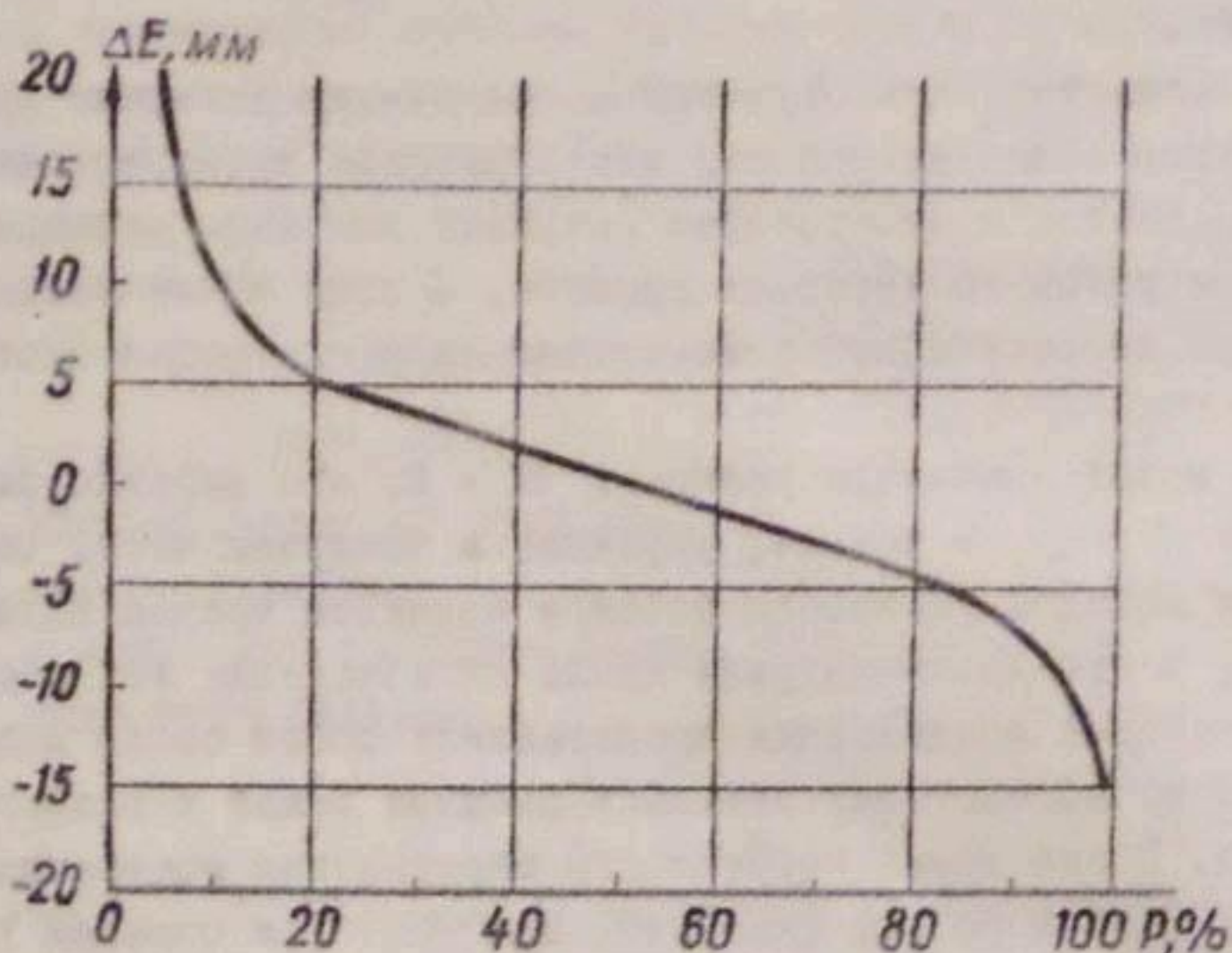


Рис. I. Кривая обеспечения абсолютных расхождений между декадными суммами испарения (ΔE), измеренными методами теплового и водного балансов.

Метод водного баланса

Метод водного баланса часто служит эталоном при вычислениях суммарного испарения за более или менее длительные промежутки времени. Однако в условиях интенсивного орошения этот факт не является доказанным вследствие той большой изменчивости почвенной влажности, глубины УГВ, фенологических и прочих факторов, которая наблюдается при искусственном орошении. Следовательно, для точных вычислений и получения надежных величин суммарного испарения необходим столь же точный учет всех основных составляющих водного баланса на исследуемой площади, что не всегда представляется возможным.

Тем не менее на сравнительно небольших балансируемых участках, где реален синхронный и точный учет важнейших составляющих

баланса, метод несомненно дает удовлетворительные результаты.

Уравнение водного баланса, решенное относительно суммарного испарения, имеет вид:

$$E = (W_H - W_K) + x + y + (\rho_1 - \rho_2) - q + K - Q \pm \mu (H_H - H_K).$$

Здесь E — суммарное испарение;

$W_H - W_K$ — разность начальных и конечных запасов влаги зоны аэрации;

x — атмосферные осадки;

y — приход на опытную площадь ирригационных вод;

ρ_1 — почвенный, поверхностный или грунтовый подток воды к балансируемому объему;

ρ_2 — то же отток;

q — сток воды в коллекторы и дрены;

K — приход влаги за счет конденсации атмосферной воды;

Q — оставшаяся на поверхности вода на конечную дату расчетного периода;

μ — параметр, характеризующий водовместимость почвогрунта при подъеме УГВ или водоотдачу при спаде;

$H_H - H_K$ — разность начальной и конечной глубин УГВ.

Составляющие баланса ρ_1 и ρ_2 определяются методами гидрогеологии. В известных условиях можно без ущерба для точности принять $\rho_1 - \rho_2 = 0$.

Что касается конденсации, то сопоставление результатов ее измерения, полученных различными авторами [8] в различных почвенно-климатических зонах, показало, что на современном этапе этим элементом можно пренебречь. Выбирая далее расчетный период таким образом, чтобы на его последнюю дату вся поступившая вода впиталась в почву, существенно упростим уравнение водного баланса

$$E = \pm \Delta W + x + y - q \pm \mu \Delta H.$$

Величина ΔW обычно измеряется термостатно-весовым и объемно-весовым методами, но в этом случае за эталонные могут быть приняты данные, просуммированные по крайней мере за месяц. Это ограничение обусловлено пространственной изменчивостью влажности, так как термостатно-весовые определения не позволяют наблюдать за влажностью в одной и той же точке хотя бы дважды. Таким образом, неизвестно, является ли найденная разность влажностей

функцией времени или следствием пространственной изменчивости влажности почвы.

Очевидно, выбор той или иной продолжительности расчетного периода зависит от точности определения отдельных элементов баланса. Поскольку сумма испарения возрастает во времени, относительная погрешность его определения находится в обратной зависимости от продолжительности расчетного периода. Поэтому выяснению подлежит та минимальная продолжительность, для которой имеет смысл производить воднобалансовые расчеты.

Опыт показывает [9], что для такого рода исследований наиболее приемлем нейтронный метод измерения влажности, сущность которого заключается в использовании зависимости интенсивности замедления быстрых нейтронов от количества водорода (влаги) в почве. При измерении влажности нейтронным методом случайные погрешности, связанные с варивцией влажности по площади, полностью исключаются, поскольку измерения могут производиться в постоянно закрепленных на местности точках сколь угодно долго.

Нами [10] произведено 255 сравнительных измерений влажности термостатно-весовым и нейтронным методами. Результаты сравнения показали, что лишь в II случаях относительная погрешность нейтронного метода превышает 5%. Такая точность измерений влажности при прочих равных условиях позволяет установить минимальную продолжительность расчетного периода, равную декаде.

Возвращаясь к уравнению водного баланса, отметим, что сумма атмосферных осадков, выпавших за расчетный период, учитывается обычно с помощью осадкомера Третьякова, установленного непосредственно на балансируемом участке или на ближайшей метеостанции. При этом следует иметь в виду, что величина жидких осадков занижается в среднем на 20% [11] вследствие ветрового перераспределения, испарения осадков за период между смежными наблюдениями, а также в результате расхода на смачивание приемных поверхностей прибора. Поэтому при воднобалансовых исследованиях предпочтительнее данные почвенных дождемеров.

Поступление ирригационной воды в балансируемый объем учитывается обычными гидрометрическими методами, а параметр водоотдачи (водовместимости) грунта определяется из того же уравнения водного баланса при известном испарении или на основе анализа режима влажности зоны аэрации.

В условиях орошаемого поля, занятого хлопчатником, результаты расчета испарения методом водного баланса отличаются от истинных не более чем на 20% [127]. При этом погрешность зависит от нормы испарения и числа используемых при его расчете наблюдательных скважин (рис.2).

С помощью предлагаемых номограмм (рис.2) может быть установлено оптимальное число скважин, установка и оборудование которых является экономически оправданным в конкретных условиях эксперимента. Выбор оптимального числа скважин производят, исходя из факта быстрого снижения погрешности расчета при возрастании объема информации о запасах влаги в почвогрунтах. Однако начиная с некоторого числа скважин увеличение их количества сопровождается весьма незначительным уменьшением погрешности расчета суммарного испарения. Например, для месячных интервалов относительная погрешность убывает с 48 до 24% при увеличении числа скважин от 1 до 3. Дальнейшее увеличение числа скважин, например, с 3 до 6 дает прирост точности в 10%, с 6 до 10 - лишь 4% и т.д.

Подобное распределение относительных и абсолютных погрешностей в равной степени относится и к декадным интервалам как в вегетационный, так и в невегетационный периоды.

З а к л ю ч е н и е

Рассмотренные основные методы натурного определения суммарного испарения могут быть подразделены на точечные и интегральные. К первой группе, очевидно, относятся методы почвенных испарителей и лизиметров, репрезентативность результатов которых оценивается по степени совпадения гидротермических и фенологических условий в монолитах приборов и в окружающей их почве. К тому же необходимы гарантии, что почвенные испарители (лизиметры) весь период наблюдений находятся в средних условиях относительно той площади, с которой необходимо получить или к которой необходимо отнести определяемые суммы испарения.

Совершенно ясно, что таким требованиям может отвечать только естественно увлажняемая территория и лишь при известной повторности измерений. На землях с искусственным орошением, когда, например, влажность дневного горизонта почвы колеблется на небольшой площади от полной влагоемкости до влажности завядания,

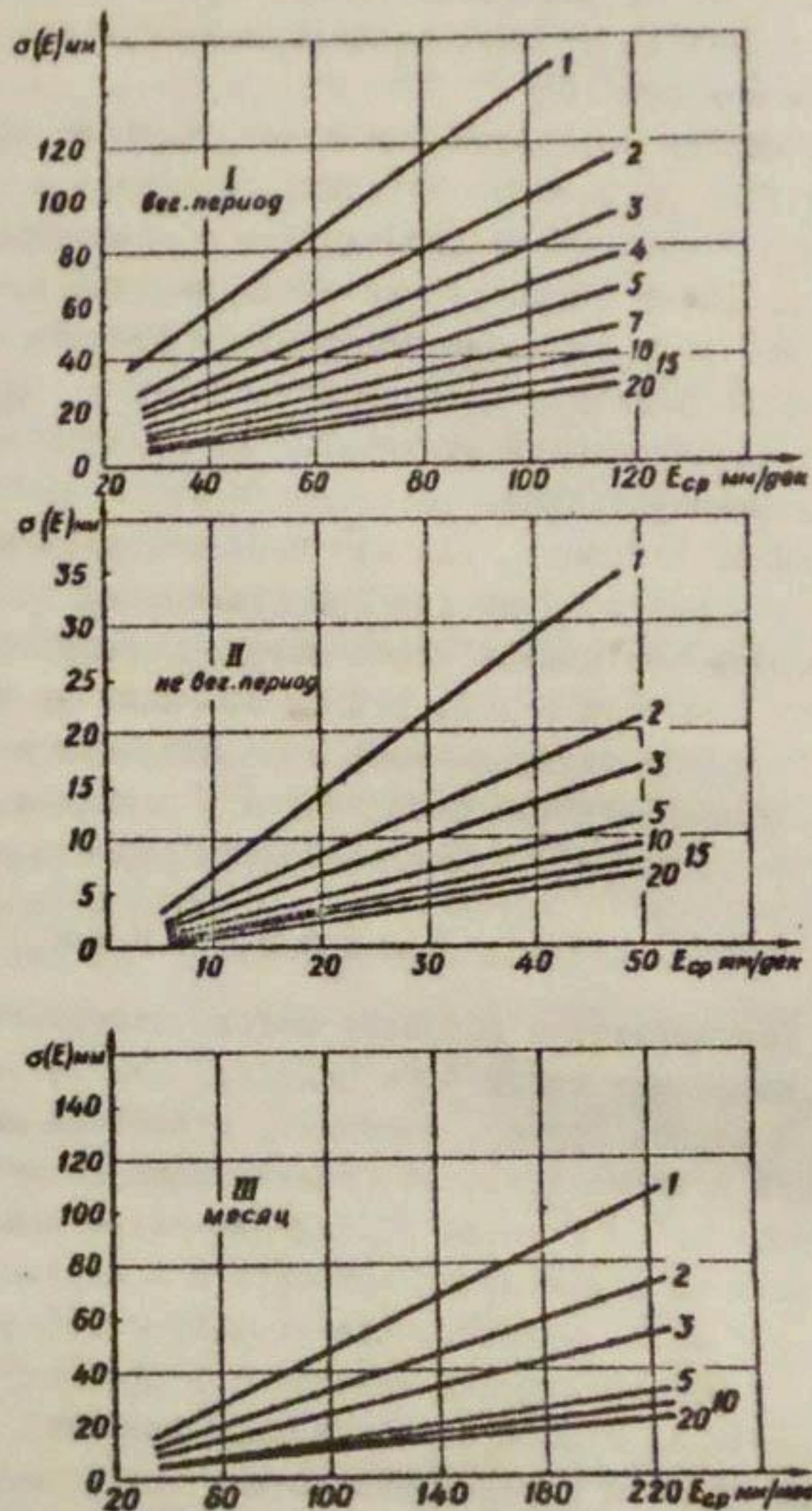


Рис.2. Номограммы для определения абсолютной погрешности расчета суммарного испарения методом водного баланса по заданной норме и числу используемых при расчете окважи.

метод испарителей (лизиметров) показывает лишь качественные результаты, относящиеся не более чем к точке установки прибора.

Интегральные методы отличаются от точечных главным образом тем, что информация для определения испарения собирается с некоторой площади. Размеры ее зависят от высоты установки приборов, высоты и густоты растительности, положения исследуемой площади относительно общего массива, скорости и направления ветра, влияния соседних участков и т.д.

Методы водного и теплового балансов, являясь частным случаем закона сохранения энергии, наиболее физически обоснованы, и расчетные формулы не содержат эмпирических коэффициентов. При условии корректно поставленного эксперимента оба метода дают сходные результаты и выбор одного из них в целом зависит от конкретных условий района исследований.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. А.И.Будяговский. Испарение почвенной влаги. М., Изд-во "Наука", 1964.
2. Методические указания по исследованию лизиметров. М., ВСЕГИНГЕО, 1965.
3. Н.Н.Ходжибаев, М.С.Алимов. Региональный водно-солевой баланс Голодной степи. Ташкент, Изд-во "Фан", 1966.
4. Д.М.Кац. Лизиметрические исследования в засушливых районах для целей мелиорации. Материалы междоуведомственного совещания по проблемам изучения испарения с поверхности суши. Балдай, 1961.
5. А.П.Вершинин. Применение метода теплового баланса для определения суммарного испарения на примере орошаемых земель Ростовской области. Тр. ГГИ, вып. 146, 1967.
6. М.И.Будыко. Испарение в естественных условиях. Л., Гидрометеоиздат, 1948.
7. А.М.Огнева. О погрешностях определения затрат тепла на испарение и турбулентного потока тепла по данным наблюдений на сети станций. Тр. ГГО, вып. 174, 1965.
8. В.М.Мясленников, Л.Н.Побережский. О соответствии средств механизации полива водному режиму почв и растений. Тр. САНИИРИ, вып. 113, 1967.

9. Л.Н.Побережский. Исследование нейтронного метода измерения влажности почв, грунтов и стройматериалов применительно к воднобалансовым расчетам. "Вопросы гидротехники", вып. 33, 1969.
10. Л.Н.Побережский. Погрешности влагомера НИВ-1. Семинар по применению изотопов в гидротехнике и мелиорации. М., 1966.
11. А.П. Бочков. Об уточнении расчета средних годовых осадков. Тр. ГГИ, вып. 127, 1965.
12. Л.Н.Побережский, М.И.Гаткер. Погрешности вычисления суммарного испарения с орошаемого поля в зависимости от числа скважин для измерения влажности зоны аэрации нейтронным методом. Тр. ВНИИГим, т.48, 1970.

УДК 651.573 : 631.586(575.1)

Э.Р.ОСИПОВ, Л.Н.ПОВЕРЕЖСКИЙ

РЕЖИМ ИСПАРЕНИЯ В БОГАРНОЙ ЗОНЕ УЗБЕКИСТАНА

Под богарным земледелием обычно понимают земледелие в условиях недостатка воды, когда по каким-либо причинам нельзя использовать орошение. Характерной чертой богарных районов мира, в том числе и богарной зоны Узбекистана, является то, что ограниченное количество атмосферных осадков сосредоточено в отчетливо выраженный период дождей, но продолжительность этого периода и общее количество осадков существенно колеблется из года в год.

Основная цель богарного земледелия состоит в создании для сельскохозяйственных культур наилучших условий использования доступной им воды. Обычно это достигается возделыванием быстро вегетирующих и развивающихся главным образом в дождливый период культур.

Весенняя вспашка богарных земель проводится в период февраль-март, а вспашка под зябь - в период октябрь-ноябрь, т.е. совпадают с периодом весеннего и осеннего увлажнения. Высокая скважность и водопроницаемость пахотного горизонта препятствуют формированию поверхностного стока. Влага, насыщая поверхностный слой почвы до наименьшей влагоемкости (НВ), в дальнейшем увеличивает глубину промачивания и, как правило, не расходуется на почвенный сток. Непосредственные наблюдения за стоком в богарной зоне УзССР не ведутся, но по данным об осадках, почвенной влажности и суммарном

испарении можно с помощью уравнения водного баланса вычислить его величину. Сделанные таким образом вычисления по агрометстанции Милютинской за весь период наблюдений (1958-1968 гг.) показали, что незначительный сток (1,5-3,0 мм/дек) появляется лишь при концентрированном выпадении месячной суммы осадков в течение одной декады и насыщении верхнего полуметрового слоя почвы до наименьшей влагоемкости (140 мм).

В этих условиях проблема испарения почвенной влаги приобретает особое значение. Однако систематические наблюдения за суммарным испарением и его составляющими ведутся лишь с 1958 г. в одной точке (ст. Милютинская) и не позволяют, таким образом, рассматривать режим испарения по всей площади богарной зоны. В связи с этим нами предпринят расчет суммарного испарения для четырех агрометстанций богарной зоны (Самарканд, Галляарал, Каттакурган, Гузар) с периодом наблюдений 10-30 лет. В основу расчета положено упрощенное уравнение водного баланса

$$E = (W_H - W_K) + x ,$$

где E - суммарное испарение;

W_H и W_K - начальные и конечные влагозапасы слоя почвы 0-100 см;

x - атмосферные осадки.

Водный режим богарных почв в пределах рассматриваемых районов Самаркандской и Кашкадарьинской областей складывается по типу непромывного [1]. В этих условиях идеальным с точки зрения балансирования будет тот почвенный слой, нижняя граница которого находится в зоне импермадности. Но глубина расположения этой зоны на 20-50 см превышает метровую толщу почвы, влажность которой систематически измеряется на агрометстанциях. Следовательно, метровый слой почвы не обеспечивает замыкание влагооборота снизу, и рассчитанные величины испарения не являются абсолютными, а относятся лишь к тому почвенному слою, для которого они вычислены. В данном случае эта погрешность не может иметь существенного значения в силу того, что нижняя глубина измерений и верхняя граница зоны импермадности располагается в достаточной близости. На почвах же с промывным типом водного режима расчет испарения методом водного баланса верхнего метрового слоя почвы может привести к большим ошибкам [2].

Как известно, для уменьшения погрешностей из-за естественной вариации влажности применяется повторность. В системе гидрометслужбы она 4-кратная, а ошибка для слоя почвы 0-100 см обычно не превышает ± 10 мм при обеспеченности 80% [3]. Исходя из этого, В.П. Попов [4] рекомендует выбрать расчетный период такой продолжительности, за которую сумма испарения составит не менее 40 мм.

Анализ материалов наблюдений за испарением с богарных почв Узбекистана показал, что такой слой воды, как правило, испаряется за период более декады. Поэтому продолжительность расчетного периода принята равной месяцу. При такой продолжительности ошибка расчетов суммарного испарения не превосходит 20% определяемой величины [5].

Очевидно, для среднего многолетнего года $W_n = W_k$ и $\bar{E} = \bar{X}$, т.е. годовая норма испарения, численно равна норме атмосферных осадков.

Для богарной зоны УзССР эта величина составляет, мм

ст. Самарканд	-	331
" Галляэрал	-	350
" Каттакурган	-	308
" Милутинокая	-	326
" Гузар	-	302
" Каммаши	-	353
" Кушрабад	-	387
Среднее		337 мм

Как видно, годовая норма испарения по площади богарной зоны относительно стабильна - отклонение от среднего не превышает 50 мм.

Для гидрологических целей, а также для решения некоторых агрометеорологических задач значительный интерес представляет внутригодовой ход испарения. Его анализ (рис. I) позволяет выявить некоторые различия в суммарном расходе влаги наиболее распространенными в богарной зоне почвенно-растительными комплексами.

В зимние месяцы расход влаги паром значительно меньший, чем занятым полем, что, по-видимому, свидетельствует о жизнедеятельности озимых посевов. В этот же период расход влаги почвой под лесополосой на 20-30% превышает испарение с занятого поля.

Но естественный ход влагозапасов почвы под лесной полосой существенно искажался агролесомелиоративными мероприятиями и потому внутригодовое распределение суммарного испарения с этой поверхности, хотя и представляет интерес, не может быть признано типичным.

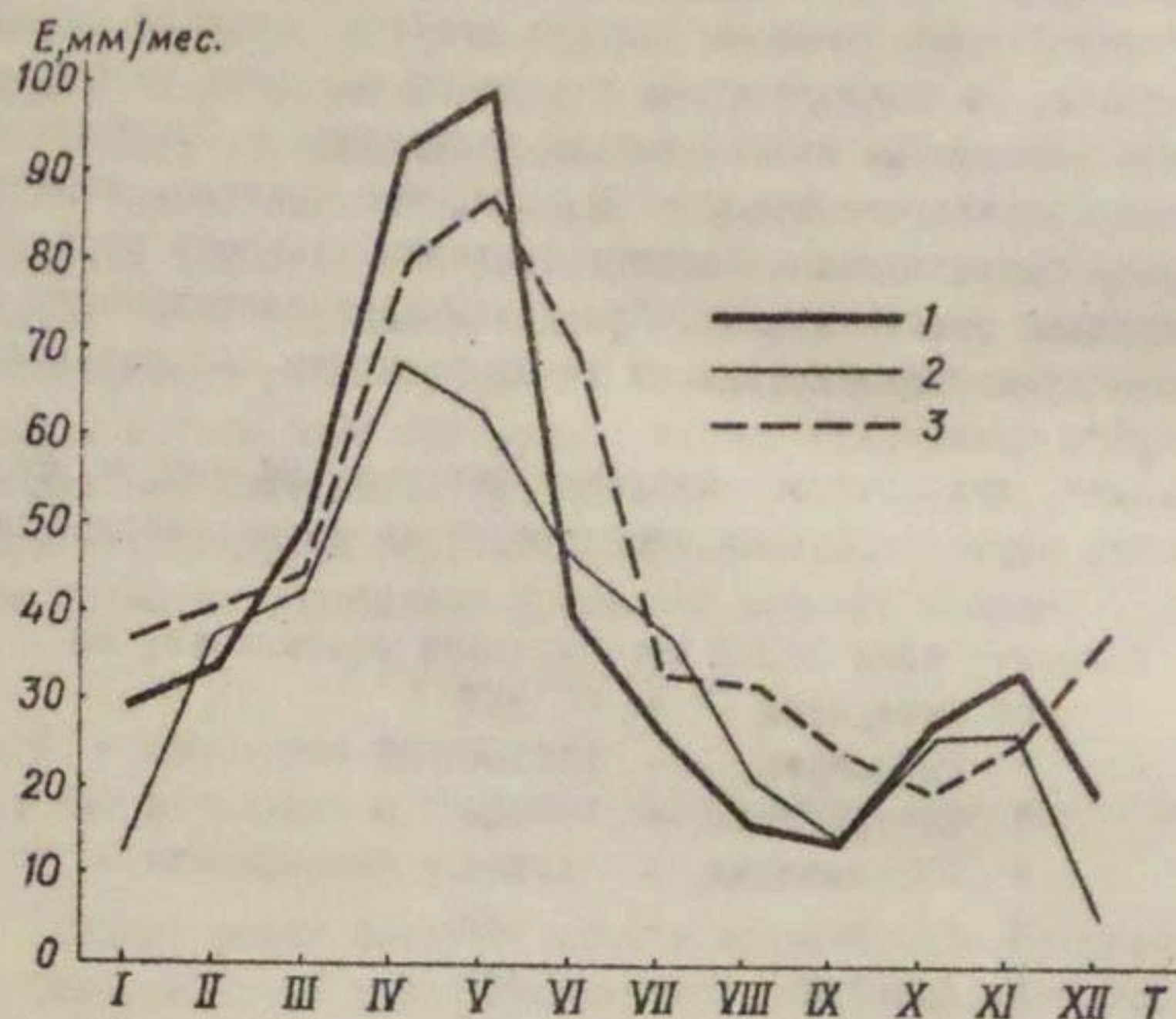


Рис. I. Средний внутригодовой ход суммарного испарения с поля:

1- под зерновыми, 2- парового поля, 3- под лесополосой.

К началу марта (в среднем период всходов) расход влаги занятым полем начинает превышать испарение с пара, причем интенсивность этого превышения возрастает по мере развития растительности и увеличения таким образом доли транспирации в суммарном испарении. Так, в марте указанное превышение составляет 8 мм, в апреле - 24, в мае - 37 мм.

Максимум испарения паром - 69 мм/месяц (20% годовой нормы) соответствует апрелю, совпадая с максимумом атмосферного увлажнения и насыщения почвы до НВ. Наибольшее испарение с поля под

зерновыми (100 мм/мес.) наблюдается в мае и происходит при влаготезапах, равных или близких наименьшей влагоемкости.

В начале лета суммарный расход всеми подстилающими поверхностями резко падает в связи с истощением влаготезапов и достигает минимума в сентябре. Пополнению влаготезапов в период осеннего увлажнения соответствует некоторый рост испарения.

Если почва под зерновыми к моменту уборки урожая расходует на испарение всю продуктивную влагу, а к началу осенних дождей и 20-50 мм сверх влажности завядания, то на перу дефицит влаги — явление чрезвычайно редкое. За весь период наблюдений он имел место лишь в засушливом 1964г. и составлял всего 10мм. Сказанное подтверждает известную гидрологическую роль пара как своеобразного водохранилища. К концу летней засухи верхний метровый слой почвы под паром имеет на 20-60 мм влаги больше, чем поле под зерновыми. По Э.Расселу [6] эта величина может достигать 92 мм, а по П.Р.Федорову [7] — 100-110 мм.

Внутригодовой ход суммарного испарения и его составляющих с поля под зерновыми может быть рассмотрен на примере Милютинской опытной станции, где эти величины определялись методом почвенных испарителей.

Как транспирация, так и физическое испарение распределяются внутри года исключительно неравномерно (табл. I).

Как видно из приведенных данных, на весенние месяцы приходится 64% годовой суммы транспирации, 37% суммарного испарения и 50% физического испарения с поверхности почвы.

Для богарной зоны Узбекистана А.А.Родэ [1] выделяет два типа испарения влаги почвой. При первом типе наблюдается постепенное иссушение почвы сверху вниз, захватывающее один горизонт за другим. При втором типе испарение происходит с одинаковой интенсивностью сразу во всем корнеобитаемом слое.

Причиной такого различия является развитие корневых систем растений. При весеннем посеве корневая система интенсивно использует влагу сначала верхних горизонтов почвы, а затем по мере своего развития постепенно распространяет десугирующее влияние на нижележащие горизонты, которые таким образом дольше сохраняют влагу. В этом случае имеет место первый тип испарения.

Второй тип обычно начинается при появлении осенних всходов. Тогда к началу апреля развившаяся корневая система быстро обез-

Таблица I

Месячные нормы (1958-1968 гг.) суммарного испарения (E),
транспирации (E_T) и физического испарения (E_n),
в % от годовой нормы

Показатель	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
E	3	6	10	21	29	12	3	3	2	3	5	3
E_T	6	4	8	20	36	16	2	-	-	-	5	3
E_n	4	6	10	20	20	8	4	5	4	7	8	4

воживает всю толщу промоочного слоя почвы. Следовательно, очевидным является влияние на испарения даты посева, возраста и фазы развития растений.

Действительно, межфазовые периоды неравноценны с точки зрения расхода влаги (табл. 2). Суммарное испарение прогрессивно нарастает от всходов до фазы колошения, после чего начинает убывать, хотя рост транспирации продолжается до молочной спелости. Ход физического испарения в общем аналогичен распределению расхода влаги паровым полем.

В период всходы-колошение имеет место первый тип испарения, при котором основную роль в десукции влаги играют зародышевые корни, растущие в сторону большой влажности.

Второй тип испарения начинается в фазу молочной спелости и продолжается до конца вегетации. Этот период характерен резким преобладанием транспирации, составляющей 63-66% от суммарного расхода. По-видимому, начиная с фазы кущения (начало роста узловых корней) первый и второй типы испарения действуют одновременно.

Из данных табл. 2 не видно сколько-нибудь заметного влияния возраста пшеницы. Напротив, еще в фазу восковой спелости транспирация составляет около 63% от общей величины расхода. Вероятно, фактор старения на быстровегетирующие богарные культуры существенного влияния не оказывает. В то же время можно предположить, что полученные данные подтверждают вывод Н.С. Петина и З.А. Силиной [8] о том, что в конце вегетационного периода высокие значения транспирации озимой пшеницы объясняются сосущей силой ее листьев.

А при равных агротехнических условиях важнейшим фактором, определяющим величину испарения с богарных почв, является степень почвенного увлажнения. В качестве аргумента нами [9] предложен показатель увлажнения, равный сумме продуктивных влагозапасов почвы на начало расчетного периода и атмосферных осадков за тот же период. Показатель увлажнения имеет высокую корреляцию (0,961) с годовыми величинами суммарного испарения.

Для отдельных месяцев вегетационного периода суммарный расход влаги тесно связан с показателем увлажнения (рис. 2), и характеризуются они территориальной общностью.

На графике, соответствующем мая, особенно отчетливо видим верхний предел испарения (испаряемость), равный в среднем для

Таблица 2

Средние величины испарения по фазам развития озимой пшеницы (ст. Милутинская, 1959-1968 гг.)

Междурядный период	Срок		E_c		E_T		E_P	
	начало	конец	число дней	$\frac{мм}{сутки}$	$\%$	$\frac{мм}{сутки}$	$\%$	$\frac{мм}{сутки}$
Всходы - третий лист	13/ХП	1/П	49	0,65	100	0,00	0	0,65
Третий лист - кущение	1/П	8/Ш	36	0,75	100	0,33	44	0,42
Кущение - выход в трубку	8/Ш	30/Ш	22	1,36	100	0,68	50	0,68
Выход в трубку - коло- шение	30/Ш	12/У	43	3,2	100	1,70	53	1,50
Колошение - молочная спелость	12/У	31/У	19	3,5	100	2,30	66	1,20
Молочная спелость - восковая	31/У	8/УІ	8	2,5	100	1,60	64	0,90
Восковая спелость	8/УІ	20/УІ	12	1,9	100	1,20	63	0,70
Всего за период веге- тации	13/ХП	20/УІ	189	2,0	100	1,10	49	0,90

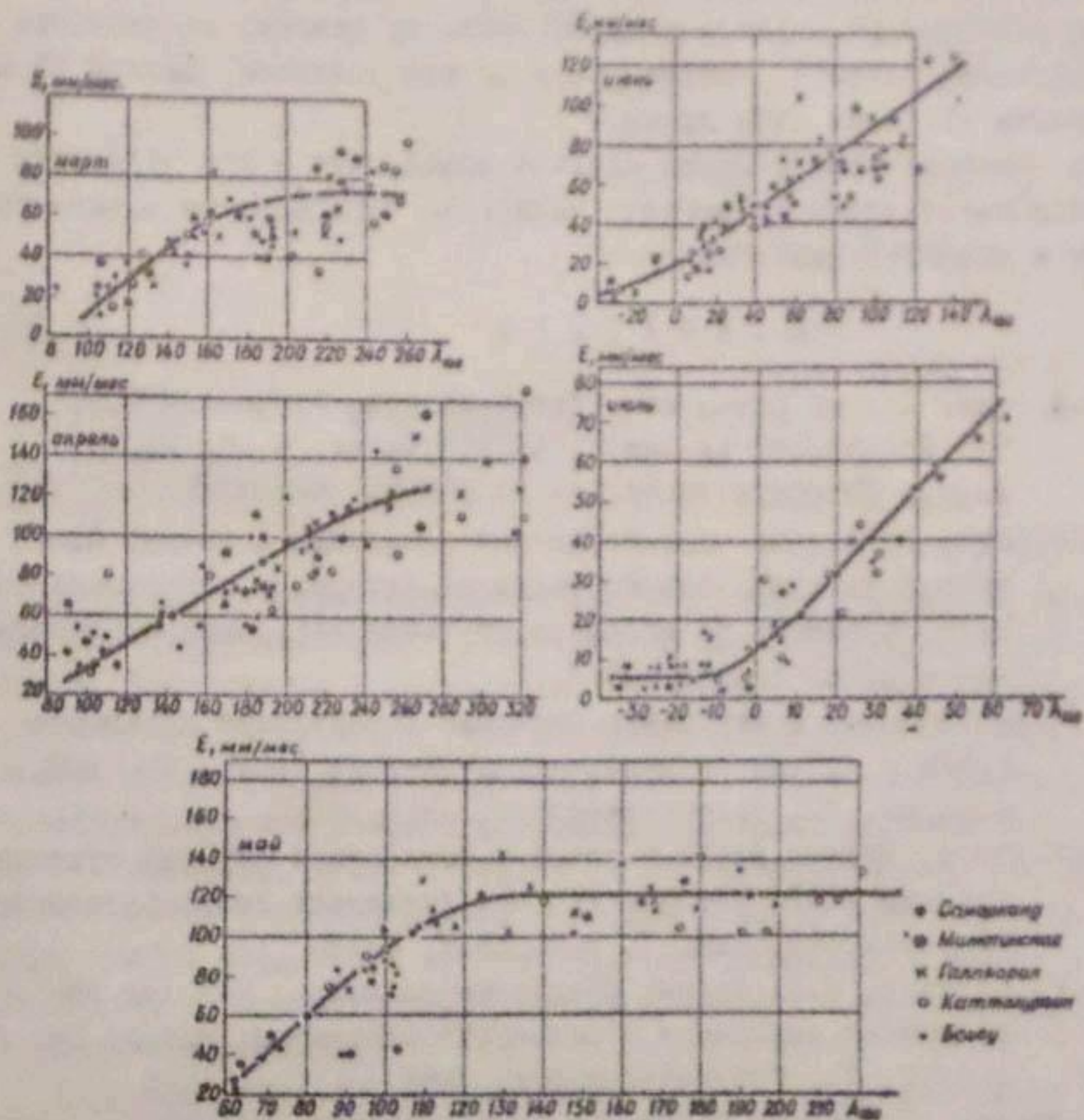


Рис. 2. Зависимость суммарного испарения по месяцам вегетационного периода от показателя увлажнения в слое почвы 0-100 см:

1- Самарканд, 2- Милитинская, 3- Галляреда, 4- Каттакурген, 5- Бозсу.

богарной зоны Узбекистана 120 мм.

При отрицательных значениях показателя увлажнения, т.е. при иссушении ниже влажности завядания (например июль) испарение ничтожно (5 мм/мес) и практически не зависит от дефицита продуктивной влаги по крайней мере до его величины, равной 35 мм в верхнем метровом слое почвы.

На основании рис.2 можно сделать вывод, что и для отдельных месяцев вегетационного периода испарение определяется влажностью почвы и атмосферными осадками.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. А.А.Родэ. Водный режим почв богарной зоны Узбекской ССР. Тр. Почвенного института им. Докучаева, т.25, М., Изд-во АН СССР, 1947.
2. И.С.Шлак. Некоторые характеристики испарения с почвы, полученные методом водного баланса. Материалы межведомственного совещания по проблеме изучения испарения с поверхности суши. Валдай, 1961.
3. С.Б.Мастинская. К уточнению методики определения влажности почвы в разных почвенно-климатических зонах. Тр. ЦИП, вып. 88, Л., Гидрометеоиздат, 1959.
4. В.П.Попов. Баланс влаги в почве и показатели степени сухости климата УССР. Научные записки Киевского государственного университета, вып. I, т.7., Киев, 1948.
5. Л.Р.Струзер, Н.П.Русин. Сравнение различных методов определения испарения с сельскохозяйственных полей. Тр. ГИ, вып.57, Л., Гидрометеоиздат, 1956.
6. Э.Рассел. Почвенные условия и рост растений. Перевод с английского. М., ИЛ, 1965.
7. Н.Р.Федоров. Итоги работ опытного поля за 1904-1922 гг. Базанчукская сельскохозяйственная опытная станция. Самара, 1923.
8. Н.С.Петинов, З.А.Синицына. Установление сроков полива озимой пшеницы по показателям сосущей силы листьев и осмотическому давлению. Сб. "Орошение сельскохозяйственных культур в Центрально-черноземной полосе РСФСР", вып.2. 1956.
9. Л.Н.Побережский. Зависимость суммарного испарения с богарных сероземов от показателя увлажнения. Доклады АН УзССР, 1968, № I.

Н.М. ИГНАТИКОВ

О ЛЕССОВЫХ ПОРОДАХ НА СЕВЕРЕ АФГАНИСТАНА

Настоящее краткое сообщение является первой попыткой систематизировать разрозненные материалы по лессовым породам Афганистана, накопленные в результате длительного периода инженерно-геологических исследований для обоснования проектов орошения земель. Эти породы имеют наибольшее распространение в пределах Верхнеамударьинской впадины у подножий северных склонов Гиндукуша и Паропамиза. К югу страна состоит из тектонически активной горной области с обновляющимся рельефом и собственно лессовые породы крайне ограничены по площади, они сохранились только в виде весьма маломощных элювиально-делювиальных и пролювиальных покровных образований.

По устройству поверхности земли север Афганистана можно разделить на две обширные области: горную и равнинную. Наиболее высокая часть горной области (высокогорья) характеризуется наличием островерхих хребтов с крутыми склонами, часто покрытых вечным снегом; они расчленены глубокими ущельями и долинами. Ориентировка основных хребтов высокогорья широтная или близкая к ней; высота их убывает с востока на запад. Так, на востоке вершины Гиндукуша достигают отметок 6560-6770 м, на юге хребет Кохи-Баба - 4290-5530 м, дальше к западу наивысшая отметка горы Фировкох 3400 м и на западе вершины хребта Банди-Туркестан имеют отметки 2830-3481 м. Склоны гор лишены древесной растительности, часто

оголены, изобилуют скалистыми обрывами, отчего имеют неприступный вид. Долины зарождающихся здесь рек узкие, загромождены обломками местных скальных пород, с редкими останцами более высоких террас, часто перепружены конусами осыпей со склонов; русла их непостоянны, перемещаются по всей ширине дна долины, богаты перападами, порогами, быстротоками, а часто и вовсе вода течет среди камней различных размеров без определенных русел.

Склоны основных хребтов, понижаясь к северу и будучи расчлененными густой речной сетью, образуют систему меридионально вытянутых гребней и хребтов, незаметно переходящих в среднегорье. Глубина расчленения здесь уменьшается до 350-400 м, формы рельефа более пологие, хотя и сохраняют скалистый облик, вершины гребней сглаженные. Абсолютные отметки поверхностей колеблются в пределах 1500-2700 м, редко более. На склонах гор вблизи высокогорий раскинулись арчевые леса, а ниже, где склоны покрыты мелкоземистыми грунтами и задернованы, часто встречаются фисташковые рощи. Долины рек здесь приобретают сформировавшийся вид: дно занято террасами, реки текут в определенных руслах, в которых, хотя и встречаются пороги, образующие водопады и быстротоки, выработался профиль равновесия. На поверхности террас располагаются населенные пункты, возделываются поля, сады и виноградники.

По мере продвижения на север глубина расчленения гор уменьшается, а ширина долин увеличивается; вершины приобретают более плавные очертания и ниже абсолютных отметок 1500-1700 м, в зоне низкогорий, часто превращаются в сглаженные увалы и холмы, разделенные между собой густой сетью суходолов и сав с глубиной вреза до 20-40 м. Недостаток влаги в низкогорьях делает их унылыми, полупустынными, и только долины крупных рек, да и то не всегда, представляют зеленые оазисы, пересекающие зону низкогорий сравнительно узкими полосами с юга на север.

Низкогорья сменяются всхолмленно-увалистыми и волнистыми предгорными равнинами, занимающими полосу шириной от нескольких сотен метров до десятков километров у подножий гор. Абсолютные отметки поверхности этих равнин уменьшаются с юга на север от 1200 до 300 м. Гипсометрически ниже их располагаются слабо-волнистые и плоские пролювиальные, песчаные и аллювиальные равнины. Они простираются на огромные расстояния от гор и предгорий

до рек Пяндж и Аму-Дарья, занимая в ширину до 80-90 км и в длину свыше 400 км. Однообразный равнинный характер их поверхности только изредка нарушается остатками древних земляных укреплений, грядово-бугристыми скоплениями навесных песков да невысокими останцами гор с относительным превышением от 5-6 до 150-200 м. На равнинных пространствах в вершинах сухих дельт внутренних рек и в молодых долинах Пянджа и Аму-Дарьи и их левобережных притоков Кокча и Кундуз сосредоточены основные оазисы северного Афганистана.

Однородные макропористые лессы и лессовидные суглинки и супеси, склонные к просадке, или с проявленной просадкой имеют широкое развитие на склонах низкогорий, покрывая более древние коренные и рыхлые породы; ими сложены обширные пространства всхолмленно-волнистых предгорий и плоских водораздельных равнин; они же часто являются покровом на высоких аллювиальных террасах (третьей и четвертой).

Всхолмленно-увалистые и волнистые преимущественно наклонные равнины составляют верхний ярус предгорных равнин и прослеживаются повсеместно у склонов гор и по бортам межгорных впадин; они интенсивно расчленены суходолами, реже оврагами с глубиной вреза до 40-60 м, иногда более. Ширина их на востоке измеряется 5-10 км, а на западе достигает 30-60 км. Сложены эти равнины с поверхности желтовато-серыми, часто с коричневатым оттенком супесями тяжелыми и суглинками легкими пылеватыми общей мощностью до 50-60 м. Грунты в верхней части макропористые, интенсивно поражены корами и ходами землероев, с неясно выраженными контактами между слоями; мощность слоев колеблется в пределах 5-20 м; грунты содержат гнезда и тонкие прослойки более тяжелых или более легких по гранулометрическому составу пород, а также вкрапленники известковистых солей и аморфного гипса; в нижней части разреза вблизи склонов гор встречается мелкий щебень местных скальных пород в виде отдельных включений и линз и в удалении от склонов гор — тонкие линзовидные прослойки коричневых глин и пылеватых песков.

В местах, где эти грунты подвергались эрозии, ниже их обнажаются переотлагающиеся толщи суглинков, глин и песков, часто с преобладанием песков, иногда перекрытых галечниками. На участках более глубокого размыва выходят на поверхность мергелистые

глины и алевролиты с прослоями песков или разногальчниковых конгломератов и пролювиальных брекчий, местами - мелкозернистые слежавшиеся пески, нередко переходящие в песчаники и мелкогальчниковые конгломераты - отложения шордарайской свиты, начало формирования которой относят к нижнечетвертичному, в конце - к среднечетвертичному времени (Q_{I-II}). Учитывая это, формирование покровных лессов можно условно отнести на конец среднечетвертичного времени (Q_{II}); генезис их, судя по наличию щебня и характерных гнезд разнородных грунтов, - делювиально-пролювиальный.

Плоские равнины междуречий и слабоволнистые предгорные равнины являются средним ярусом равнин, оконтуривающих горные области, и представляют собой сглаженные и затем расчлененные эрозией отложения конусов выноса временных водных потоков следующего, новочетвертичного времени (Q_{III}). Ширина полосы этих слабоволнистых равнин изменяется от 1-2 на востоке до 4-5 км на западе; плоские, слегка наклонные равнины развиты в восточной части и междуречьях Ханобад-Кокча и Кундуз-Пяндж, ширина их в последнем случае достигает 8-10 км при длине до 27 км. Сложены эти равнины в местах, где исходным материалом являлись лессы выше-лежащих всхолмленно-увалистых равнин, желто-серыми и светло-серыми легкими и тяжелыми супесями, а также легкими суглинками, в верхней части до 25-30 м макропористыми, общей мощностью от 40 до 100 м и более; мощность отдельных слоев преимущественно до 10 м, редко более. В грунтах местами наблюдается тонкая слоистость, по всему разрезу встречаются гнезда и тонкие линзовидные прослойки (от 1-2 мм до 2-3 см) более тяжелых или более легких по гранулометрическому составу пород, изредка отмечаются вкрапления аморфных солей. Наличие в грунтах характерных гнезд разнородных пород по всему разрезу указывает на их пролювиальное происхождение.

Поверхности верхних речных террас (третьей и четвертой) представляют плоские и слабоволнистые, иногда наклонные, вытянутые вдоль по долинам рек равнины, местами расчлененные суходолами, в зоне существующего орошения густо пересеченные каналами. Третья терраса хорошо сохранилась в долинах восточных рек Пяндж, Кокча и Кундуз, где ширина ее достигает 5-7, а

длина исчисляется 20-40 км; в долинах западных рек (Балх, Сери-Пуль и Кайсар) она прослеживается в виде мелких фрагментов у склонов выходящих геоморфологических элементов рельефа. Четвертая терраса в собственном смысле слова имеет развитие в долинах рек Кундуз и Ханабад; в долинах Пяндж и Кокчи сохранились только рудименты ее в виде выработанных и уровню террасы эрозионных поверхностей в теле предгорных равнин.

Сложены террасы с поверхности переслаивающимися желтовато-серыми, иногда коричневатыми тяжелыми супесями и легкими суглинками общей мощностью до 20-25 м на третьей и до 40-50 м на четвертой террасах; ниже залегают аллювиальные галечники и пески. Покровные грунты по своему облику относятся к лессовидным: пылеватые, макропористые, в верхней части до 3-5 м содержат гвезды более легких или более тяжелых по гранулометрическому составу пород (в супесях-суглинки, в суглинках - супеси); нижняя часть разреза характеризуется наличием прослоев таких же грунтов вплоть до песков и глин; редкие вкрапления аморфных солей отмечаются по всему разрезу, преимущественно в суглинках. По времени формирования отложения террас относятся к душанбинскому комплексу Н.П. Костенко ($Q_{III} dS^k$). Присутствие в верхней части разреза гвезд разнородных пород и наличие выдержанной слоистости внизу указывает на их аллювиально-пролювиальный генезис.

В естественном состоянии описанные породы обычно сухие или слабо влажные, так как распространены в безводных районах или в районах с глубоким залеганием уровня грунтовых вод; в обнажениях по внешнему облику однородны, молодые обнажения держат вертикальные стенки большой высоты с характерной столбчатой отдельностью, задернованные же склоны выношены и сглажены, имеют крутизну в $15-20^{\circ}$, местами более.

На нижних речных террасах и в верхних частях современных субэвразных долей часто также имеют развитие макропористые недоуплотненные грунты. В первом случае это преимущественно пылеватые суглинки и супеси, залегающие в виде небольших пропластков и линзовидных прослоев среди более плотных глинистых или песчано-галечниковых грунтов, во втором - весьма специфичные грунты

субаэральных дельт, представляющие тонкозернистыми глинистыми песками с содержанием фракций тонкого песка ($0,1-0,05$ мм) свыше 50% и глины ($< 0,005$ мм) до 10%. По мере удаления от предгорий эти грунты переходят в типичные алевриты, так как песчаная составляющая их уменьшается до грубой пыли ($0,05-0,01$ мм), увеличивается также содержание глинистых частиц до 15 и более процентов как в самих грунтах, так и за счет увеличения мощности более тяжелых по составу прослоев, вплоть до тяжелых суглинков и глин. Обычно эти прослои отличаются по окраске и значительно более плотны, нежели алевриты, что нарушает однородность сложения толщи.

В силу указанных причин (неоднородность состава и сложения) описанные грунты не могут быть отнесены в группу лессовых пород, хотя и несут в себе такие признаки последних, как пылеватость и макропористость.

Таким образом, среди лессовых пород северного Афганистана наиболее распространенными являются делювиально-пролювиальные лассы среднечетвертичного времени ($dp\ell Q_{III}$), а также пролювиальные и эллювиально-пролювиальные лессовидные породы верхнечетвертичного времени ($p\ell Q_{III}$ и $ap\ell Q_{III}$). Их распространение показано на карте.

Физико-механические свойства. Количество показателей физико-механических свойств для выделенных разновидностей лессовых пород весьма различно, так как это определилось не только целевым назначением работ, но и трудностями в испытании образцов, выразившимися, прежде всего, в отсутствии возможности проведения комплексных испытаний на месте. Однако сводные таблицы показывают, что почти каждая совокупность насчитывает не менее 10 вариантов, что во многих случаях позволило обработке вести математическими методами. Для тех характеристик, где распределение значений подчиняется нормальному закону, произведены подсчеты средних показателей и определено среднее квадратичное отклонение. К таким характеристикам свойств относятся: общее содержание карбонатных солей, удельный и объемный вес, пористость, пластичность, коэффициент фильтрации. Там же, где по причине сильной изменчивости вариант распределение не отвечает нормальному закону, определено средневзвешенное

ческое и указываются в скобках крайние значения (гранулометрический состав, химический состав водных вытяжек, компрессионные и срезы).

Подготовка образцов лессовых пород для определения гранулометрического состава производилась с обработкой их раствором соляной кислоты для отделения карбонатов, что позволило выделить элементарные частицы, слагающие эти породы. В бескарбонатной части делювиально-пролювиальных лессов содержание пылевых частиц превышает 60%, в пролювиальных лессовидных грунтах - 46%, а в аллювиально-пролювиальных - 54%, причем везде преобладает крупная пыль (фракция 0,05-0,01 мм, табл. I).

Таблица I

Гранулометрический состав лессовых пород
(бескарбонатные образцы)

Фракция, мм	Содержание, % по весу		
	$d_{pl} Q_{II}$	$p_{pl} Q_{III}$	$d_{pl} Q_{IV}$
I-0,25	0,3 (0-3,4)	0,5 (0-4,3)	1,0 (0-24,4)
0,25-0,10	1,1 (0,1-8,8)	2,6 (0,1-15,2)	1,8 (0-15,8)
0,10-0,05	6,2 (1,6-14,7)	24,2 (3,8-48,3)	10,5 (1,1-50,6)
0,05-0,01	40,9 (28,5-46,8)	37,1 (14,3-49,3)	38,3 (10,2-58,6)
0,01-0,005	20,5 (9,6-30,4)	9,0 (1,6-20,4)	16,2 (4,6-40,1)
< 0,005	8,5 (2,9-15,9)	6,1 (3,3-9,4)	9,7 (4,0-25,0)
Карбонаты	$21,8 \pm 2,3$	$21,6 \pm 6,2$	$20,6 \pm 3,6$

Глинистой фракции ($< 0,005$ мм) во всех трех случаях в среднем менее 10%, однако в суглинистых разностях нередко содержание ее достигает 15-25%. Характерной особенностью пролювиальных лессовидных пород является наличие значительного количества тонкозернистого песка (в среднем около 24, наибольшее до 48,3%) и малое количество глинистых частиц (среднее около 6, наибольшее 9,4%), что свидетельствует о более значительной силе временных потоков при формировании этих отложений, чем при формировании делювиально-пролювиальных и аллювиально-пролювиальных.

По степени неоднородности наиболее близки делювиально-пролювиальные лессы, у которых коэффициент неоднородности равен 5;

у лессовидных пород этот коэффициент увеличивается до 8.

Воднорастворимые соединения представлены в основном: труднорастворимыми карбонатами щелочных земель, гипсом, который может быть отнесен к среднерастворимым солям, и легко-растворимыми сернокислыми и хлористыми солями щелочных и щелочно-земельных металлов. Содержание труднорастворимых карбонатов определено по общему количеству CO_2 в пересчете на известь (CaCO_3). Общее количество карбонатов кальция в лессовидных породах превышает 20% (табл. I), они находятся в виде многочисленных новообразований в форме аморфных вкраплений и землистых стяжений различной плотности размерами до 2-3 мм в поперечнике, поэтому породы обычно не имеют жестких цементационных связей или эти связи незначительны. Содержание гипса в среднем около 0,5%, причем отмечаются отдельные разновидности более тяжелых по гранулометрическому составу грунтов, где количество гипса превышает 1% (табл. 2). Гипс концентрируется, по-видимому, в тех же аморфных вкраплениях, реже встречаются мелкие кристаллы.

Количество легкорастворимых солей определено с помощью водной вытяжки, приготовленной при соотношении грунта к воде 1:10 с пятиминутным забалтыванием. Среднее значение сухого остатка колеблется в пределах 0,2-0,4%, что позволяет отнести их к слабозасоленным, по В.А. Приклонскому, хотя встречаются отдельные образцы как очень слабо, так и очень сильно засоленные. Тип засоления преимущественно сульфатный кальциево-натриевый; характерным является меньшее количество хлористого натрия в делювиально-пролювиальных лессах по сравнению с лессовидными суглинками.

Удельный вес лессовых пород характеризуется величиной $2,69 \pm 0,1 \text{ т/м}^3$. Объемный вес в естественном залегании изменяется в более широких пределах и увеличивается с глубиной. Так, для делювиально-пролювиальных лессов на глубине до 10 м среднее значение объемного веса в сухом состоянии (образцы высушены при $t = 105^\circ\text{C}$ в течение 8 часов) равно $1,34 \pm 0,2$, а на глубине свыше 10 м - $1,37 \pm 0,01$; для пролювиальных лессовидных супесей и суглинков соответственно $1,34 \pm 0,02$ и $1,40 \pm 0,01$ и для элювиально-пролювиальных лессовидных грунтов $1,40 \pm 0,01$ и $1,43 \pm 0,01$. Естественная влажность невысокая; до глубины 10 м

Таблица 2

Химический состав водных вытяжек и содержание гипса

Виды определе- ний	Содержание, в % к вэсу воздушно-сухого грунта		
	$d\rho\ell Q_{\Pi}$	$\rho\ell Q_{\Pi}$	$a\rho\ell Q_{\Pi}$
<u>Водная вытяжка</u>			
Сухой остаток	0,266(0,068-0,916)	0,358(0,100-0,704)	0,370(0,090-0,980)
HCO_3'	0,042(0,021-0,055)	0,036(0,021-0,065)	0,040(0,016-0,068)
CO_3''	0,004(0-0,007)	0,003(0-0,015)	0,002(0-0,015)
Cl'	0,012(0,008-0,022)	0,045(0,008-0,127)	0,032(0,005-0,142)
SO_4''	0,138(0,011-0,568)	0,163(0,066-0,397)	0,183(0,020-0,641)
Ca''	0,049(0,009-0,184)	0,037(0,006-0,121)	0,048(0,004-0,140)
Mg''	0,007(0-0,013)	0,008(0,001-0,031)	0,007(0-0,022)
$Na + K$ по разности	0,045(0,008-0,251)	0,064(0,015-0,124)	0,056(0,008-0,157)
Гипс	0,450(0,082-1,658)	0,570(0,118-1,327)	0,547(0,057-3,804)

она находится в пределах $4,8 \pm 1,2\%$, глубже 10 м - $5,3 \pm 1,4\%$. При этом некоторое увеличение влажности происходит в зимний период и уменьшение летом, особенно в верхней части разреза до 1-2 м.

Определение пределов пластичности проводилось с естественными образцами по общепринятой методике. Верхний предел пластичности для делювиально-пролювиальных лессов равен $28 \pm 1\%$, нижний $23 \pm 1\%$, число пластичности 5 ± 1 ; для пролювиальных лессовидных супесей и суглинков соответственно 30 ± 2 ; 24 ± 1 и 6 ± 2 ; для аллювиально-пролювиальных лессовидных грунтов 28 ± 3 ; 22 ± 2 и 6 ± 3 . Показатель консистенции, судя по этим данным, во всех случаях меньше нуля, грунты находятся в твердой консистенции. Оценка степени уплотненности грунтов, произведенная по характерным влажностям и естественному сложению, показывает, что состояние пород недоуплотненное, так как коэффициент пористости при естественном сложении всегда больше коэффициента пористости при влажности, равной верхнему пределу пластичности.

Способность грунта сохранять прочность при погружении в воду характеризуется скоростью размокания, которая для образцов размером $\Phi 3 \times 3$ см составляет от 8-10 сек. до 1,5 - 2 мин. По характеру и скорости размокания грунты относятся к неводостойким.

Водопроницаемость грунтов в полевых условиях изучалась экспресс-наливами продолжительностью около 8 часов в круги и на площадки до $2-4 \text{ м}^2$ на глубине до 5 м. Среднее значение коэффициента фильтрации (точнее инфильтрации) определилось величиной $1,1 \pm 0,4$ м/сутки.

Для выявления изменения этого значения во времени в связи с орошением на четырех участках в пределах распространения аллювиально-пролювиальных лессовидных супесей и суглинков были выполнены следующие опыты. Вначале с четырехкратной повторностью проводился экспресс-налив, затем через 1-2 недели на тех же площадках проводился с двукратной повторностью вторичный налив, а спустя 1,5-3 месяца налив был проведен в третий раз. В промежутках времени между наливами площадки закрывались грунтом для предохранения от пересушивания. Подсчеты средних значений коэффициента фильтрации по этим опытам показывают следующее: I

I, I $\pm 0,2$; II этап $-0,75 \pm 0,2$ и III этап $-0,42 \pm 0,2$. Следовательно, произошло уменьшение значения коэффициента фильтрации против первоначального примерно в 2,5 раза, что и было рекомендовано использовать при фильтрационных расчетах.

Определение сопротивления грунтов сжатию производилось компрессионным прибором на образцах ненарушенного сложения с естественной влажностью и при полном водонасыщении. Результаты этих испытаний приводятся в табл.3. Из этой таблицы видно, что грунты при естественной влажности относятся к среднесжимаемым (коэффициент компрессии выражается сотыми долями $\text{см}^2/\text{кг}$), причем основное уплотнение происходит в интервале нагрузок до $0,5 \text{ кг/см}^2$, когда идет обжатие образца, а при нагрузках свыше 2 кг/см^2 образцы слабосжимаемы. В водонасыщенном состоянии делювиально-пролювиальные и пролювиальные грунты, залегающие на глубине до 10м, относятся к сильносжимаемым, а глубже - к среднесжимаемым; аллювиально-пролювиальные грунты преимущественно среднесжимаемы.

Сопротивление сдвигу лессовых пород изучалось на монолитных образцах при естественной влажности и с полным водонасыщением. При естественной влажности около 6% наименьший угол внутреннего трения равен 24° , сила сцепления $0,15 \text{ кг/см}^2$. В водонасыщенном состоянии угол внутреннего трения снижается у пролювиальных и аллювиально-пролювиальных лессовидных пород до 23° , у делювиально-пролювиальных лессов - до 21° ; у пролювиальных лессовидных пород сцепление отсутствует, сила сцепления у лессов снижается до $0,04 \text{ кг/см}^2$, а у аллювиально-пролювиальных лессовидных пород - до $0,005 \text{ кг/см}^2$.

Приведенные данные о сопротивлении лессовых пород сжатию и сдвигу показывают, что эти грунты, обладая значительной природной прочностью при естественной влажности, теряют большую часть ее при водонасыщении.

По строительным свойствам лессовые породы относятся к просадочным грунтам. Поэтому при возведении на них сооружений необходимо предусматривать мероприятия по обеспечению устойчивости оснований, а при орошении следует иметь в виду возможность их доуплотнения под нагрузкой от собственного веса. В процессе изысканий явления просадочности отмечались во всех трех выделенных разновидностях лессовых пород. В делювиально-пролювиаль-

Результаты компрессионных испытаний лессовых пород

Грунт	Коэффициент пористости					
	Интервал опробован- ия, м	Нагрузка, кг/см ²	$dp_{\text{ср}}^{\text{пл}}$	$dp_{\text{ср}}^{\text{ш}}$	$ap_{\text{ср}}^{\text{ш}}$	
1	2	3	4	5	6	
Всплыва- ющей кости	До 10	0	1,044(0,883-1,187)	0,976(0,914-1,015)	0,968(0,811-1,000)	
		0,5	1,033(0,876-1,156)	0,956(0,877-1,001)	0,949(0,790-0,990)	
		1	1,027(0,871-1,157)	0,947(0,860-0,992)	0,943(0,784-0,986)	
		2	1,022(0,864-1,150)	0,939(0,847-0,982)	0,937(0,780-0,975)	
		3	1,017(0,859-1,142)	0,930(0,841-0,971)	0,928(0,776-0,968)	
		0	1,016(1,008-1,023)	0,956(0,849-1,000)	0,881(0,817-1,015)	
	10-20	0,5	0,992(0,969-1,015)	0,932(0,833-0,969)	0,861(0,790-1,009)	
		1	0,968(0,960-1,013)	0,923(0,828-0,956)	0,851(0,785-1,006)	
		2	0,981(0,952-1,011)	0,910(0,824-0,934)	0,842(0,770-0,995)	
		3	0,977(0,945-1,009)	0,905(0,820-0,928)	0,837(0,764-0,993)	
		4	0,972(0,937-1,007)	0,901(0,817-0,929)	(0,833)	
		6	0,961(0,926-0,997)	0,890(0,808-0,909)	(0,823)	
	Более 20	0	Нет сведений	Нет сведений	0,855(0,835-0,874)	
		0,5	то же	то же	0,842(0,815-0,868)	
		1	"	"	0,840(0,810-0,863)	
		2	"	"	0,830(0,802-0,857)	
		3	"	"	0,825(0,799-0,851)	

I	2	3	4	5	6
			То же	То же	(0,822)
			"	"	(0,813)
Водоносные	До 10	0	1,044(0,883-1,187)	0,978(0,914-1,028)	0,968(0,811-1,151)
		0,5	0,941(0,878-0,996)	0,911(0,852-0,969)	0,893(0,788-0,960)
		1	0,896(0,858-0,937)	0,858(0,775-0,936)	0,838(0,710-0,944)
		2	0,833(0,789-0,869)	0,797(0,703-0,869)	0,781(0,623-0,901)
		3	0,798(0,757-0,830)	0,770(0,670-0,838)	0,745(0,580-0,869)
	10-20	0	1,016(0,936-1,023)	0,956(0,849-1,016)	0,881(0,783-1,015)
		0,5	0,963(0,950-0,975)	0,918(0,810-1,007)	0,855(0,764-0,957)
		1	0,932(0,904-0,956)	0,899(0,795-0,998)	0,830(0,728-0,943)
		2	0,886(0,831-0,920)	0,869(0,774-0,973)	0,807(0,615-0,924)
		3	0,853(0,792-0,890)	0,846(0,746-0,950)	0,788(0,665-0,898)
		4	0,831(0,770-0,868)	0,825(0,728-0,928)	0,759(0,635-0,872)
		6	0,805(0,784-0,842)	0,793(0,686-0,909)	0,734(0,602-0,856)
Более 20		0	Нет сведений	Нет сведений	0,855(0,835-0,874)
		0,5	То же	То же	0,830(0,797-0,862)
		1	"	"	0,811(0,782-0,840)
		2	"	"	0,781(0,765-0,796)
		3	"	"	0,758(0,757-0,758)
		4	"	"	(0,738)
		6	"	"	(0,717)

ных лессах на склонах гор по днищам сухих ложбин, где в дождливое время возможно скопление воды, наблюдаются проваль-ные воронки и промоины. В бортах крупных логов в пределах всхолмленно-волнистых равнин в процесс просадки часто вовлека-ются значительные по площади участки с образованием двух-трех рядов просадочных ступеней, разделанных широкими трещинами, превышающими 0,3-0,5 м. На речных террасах в эллювиально-про-лювиальных и на плоских равнинах междуречий в пролювиальных лессовидных грунтах нередко блюдцеобразные понижения, образовав-шиеся в результате просадки.

Максимально-возможная величина просадки массива лессовых пород зависит в основном от степени недоуплотненности и мощнос-ти недоуплотненной толщи. Одним из способов определения степени недоуплотненности грунта является испытание ненарушенных образ-цов насыщением в компрессионных приборах. Конечную деформацию с достаточной для практических целей точностью по этим данным, следуя Д.Н.Круглову, можно определить по формуле:

$$S = \sum_i \frac{\epsilon_0 - \epsilon_i}{1 + \epsilon_0} h_i, \quad (I)$$

где ϵ_0 - коэффициент пористости образца естественной структу-ры до приложения к нему вертикального давления;
 ϵ_i - то же, соответствующий приложенному к грунту давлению в середине расчетного слоя от собственного веса от-дельно или совместно с весом сооружения при насыщении водой;

h_i - мощность принятого в расчетах сжимаемого слоя, м.

Мощность недоуплотненной толщи всех трех разновидностей лессовых пород варьирует в довольно значительных пределах. Так, эллювиально-пролювиальные лессы имеют недоуплотненную часть до 10-20 м на склонах гор и свыше 30 м в пределах всхолмленно-волнистых равнин; пролювиальные лессовидные супеси и суглинки недоуплотнены на глубине до 30-37 м, а эллювиально-пролювиаль-ные-местами даже свыше 40 м. Поэтому величина возможной просад-ки для одной и той же разновидности может значительно изменяться. Используя результаты компрессионных испытаний лессовых пород при полном водонасыщении, приведенные в табл.3, и зная мощность недоуплотненных пород, можно определить ориентировочное значение

возможной просадки этих грунтов в массиве от собственного веса при орошении.

В мелиоративном строительстве лессовые породы широко используются для возведения земляных плотин, дамб каналов, насыпей и перемычек. Естественно, что эти породы должны быть уложены в тело сооружения с такой плотностью, которая обеспечила бы их надлежащую прочность.

В этой связи и ввиду специфических свойств лессовых пород в водонасыщенном состоянии важным критерием прочности является верхний предел пластичности — текучесть. Известно, что при коэффициенте пористости уложенного грунта, большем, нежели коэффициент пористости, отвечающий влажности на пределе текучести, возникает опасность уменьшения прочности грунта вследствие перехода его в текучее состояние при насыщении водой. Коэффициент пористости, отвечающий такому состоянию, в среднем равен 0,75–0,80, а отвечающий объемный вес скелета 1,53–1,49 т/м³. Отсюда ясно, что эти грунты в сооружении должны иметь объемный вес скелета по крайней мере не ниже 1,55 т/м³. Достигается такая плотность либо непосредственной укладкой с трамбованием до нужного объемного веса, либо с трамбованием до исходного объемного веса и последующим самоуплотнением до нужного объемного веса. Наилучшие условия уплотнения наступают при оптимальной влажности, которая для этих грунтов равна 14–16%, примерно на 8% ниже предела раскатывания. Такая низкая оптимальная влажность объясняется сильной пылеватостью и невысокой глинистостью грунтов.

Для дальнейшего прогнозирования уплотнения грунтов в сооружении объединенные пробы с различным начальным весом (1,45; 1,55 и 1,65 т/м³) испытывались на компрессионных приборах при оптимальной влажности и с полным водонасыщением.

Результаты испытаний аллювиально-пролювиальных лессовидных тяжелых супесей нарушенного сложения, взятых из шурфа 102 в интервале глубин 0–5 м через 1 м, приводятся в табл. 4.

Для тех же условий работы грунта определено сопротивление сдвигу, причем оказалось, что среднее минимальное сцепление грунта с влажностью на границе раскатывания при начальном объемном весе 1,45 т/м³ равно 0,07 кг/см², а при объемных весах 1,55 и 1,65 т/м³ — 0,08 кг/см²; в водонасыщенном же состоянии —

соответственно 0,01 и 0,03 кг/см². Угол внутреннего трения у нарушенных образцов с увеличением объемного веса несколько возрастает и соответственно объемным весам равен 24, 28 и 29° для грунтов с влажностью на пределе раскатывания и 25, 26 и 28° для грунтов в водонасыщенном состоянии.

Таблица 4

Результаты компрессионных испытаний лессовидных супесей нарушенного сложения

Нагрузка, кг/см ²	Коэффициент пористости при начальных объемных весах					
	1,45		1,55		1,65	
	W = 14,9	W = 23,0	W = 14,9	W = 21,1	W = 14,0	W = 20,5
0,0	0,856	0,856	0,729	0,729	0,634	0,634
0,5	0,810	0,774	0,688	0,681	0,599	0,602
1,0	0,782	0,732	0,671	0,655	0,583	0,587
2,0	0,740	0,689	0,649	0,626	0,568	0,569
4,0	0,696	0,639	0,624	0,570	0,544	0,540
6,0	0,661	0,661	0,606	0,565	0,535	0,525
8,0	0,649	0,590	0,592	0,545	0,525	0,511

ЛИТЕРАТУРА

1. В.И.Братан, В.В.Печников и др. Геология и нефтегазоносность севера Афганистана. М., Изд-во "Недра", 1970.
2. Н.П. Васильковский. О некоторых генетических типах новейших континентальных отложений Средней Азии. М., Бюллетень Московского общества испытателей природы, 1951.
3. Н.Я.Денисов. О природе пресадочных явлений в лессовидных суглинках. М., Изд-во "Советская наука", 1964.
4. Н.Ш.Костенко. Местная стратиграфическая схема четвертичных отложений Таджикской депрессии. Доклады совещания по унификации стратиграфических схем Средней Азии. М., Госгеолтехиздат, 1958.

5. Д.Н.Круглов. О прогнозе просадочных деформаций лессовых оснований земляных плотин. Доклады Международного симпозиума по литологии и генезису лессовых пород. Ташкент, 1969.
6. М.П.Кузьминов. О сложных процессах деформации в лессовых грунтах. Сб. "Гидрогеология и инженерная геология аридной зоны СССР", вып.4, Ташкент, 1967.

АННОТАЦИИ СТАТЕЙ,
ПОМЕЩЕННЫХ В ТРУДАХ

ИНСТИТУТ "СРЕДАЗГИПРОВОДХЛОПОК"

Бенъяминович Э.М.

"Труды института "Средазгипроводхлопок", вып. I, 1971.

В статье освещается деятельность проектно-изыскательского и научно-исследовательского института "Средазгипроводхлопок" за 41 год его существования. Она отражает тот исторический путь, который прошла ирригация Средней Азии за восемь пятилеток. Кратко освещается также этап, предшествующий организации первого в Средней Азии проектно-изыскательского учреждения (1929 г.).

УДК 626.86:631.411.6

О РАСЧЕТЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ДРЕНАЖА
ЗАСОЛЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

(На примере новой зоны орошения Голодной степи)

Морозов А.Н., Павлов Г.Н.

"Труды института "Средазгипроводхлопок", вып. I, 1971.

Авторы приводят метод совместного расчета горизонтального дренажа и поливного режима на землях, подверженных засолению. Дается пример расчета дренажа для зоны нового орошения Голодной степи с использованием материалов натурных наблюдений.

Иллюстраций 8, библиографий 9.

УДК 626.826

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ
ПОТЕРЬ ИЗ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СЕТИ ГОЛОДНОЙ СТЕПИ

Горбачев Р.М.

"Труды института "Средазгипроводхлопок", вып. I, 1971.

Излагается методика определения фильтрационных потерь из каналов и лотковых оросителей. Приведены данные определения фильтрационных потерь из каналов различного порядка и с различной конструкцией облицовок в зоне нового орошения Голодной степи. На основании материалов натурных наблюдений подсчитаны к.п.д. по системе в целом и выявлены наиболее перспективные конструкции облицовок.

Таблиц 5, библиографий 9.

УДК 666.73

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОЙ СКВАЖНОСТИ
ДРЕНАЖНЫХ ТРУБ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Серебрянников Ф.В.

"Труды института "Средазгипроводхлопок", вып. I, 1971.

В статье изложен общий подход к определению рациональной скважности дренажных труб, описаны опытные работы в лабораторных условиях и приведены результаты исследований в виде графиков и формул, которыми рекомендуется пользоваться при определении числа круглых отверстий на 1 пог.м трубы и выборе оптимальной длины звена дренажной трубы.

Таблиц 2, иллюстраций 3, библиографий 6.

УДК 628.16.067:626.862

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ У
ВОДОПРИЕМНЫХ ОТВЕРСТИЙ НА ПРИТОК ВОДЫ В ДРЕНУ

Серебренников Ф.В.

"Труды института "Средазгипроводхлопок", вып. I, 1971.

На базе соответствующих теоретических формул расчетным путем показано, что реальные грунты не следует рассматривать как однородные изотропные, так как там самым недопустимо завышаются потери напора на преодоление сопротивления, вызванного наличием водоприемных отверстий. Утверждается, что при скважности трубчатой линии 0,3-0,7%, принятой в отечественной и зарубежной практике, приток в дренаж Q не отличается от максимально возможного в данных условиях Q_0 , т.е. всегда $Q \simeq Q_0$.

Иллюстраций 3, библиографий 17.

УДК 551.495

О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ РЕЖИМА УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ
ВОД НА НОВООРОШАЕМЫХ ЗЕМЛЯХ ЮГО-ЗАПАДНОГО МАССИВА
ГОЛОДНОЙ СТЕПИ

Нейман Б.Я.

"Труды института "Средазгипроводхлопок", вып. I, 1971.

На основе анализа фактических материалов многолетних наблюдений за грунтовыми водами выявлены разновидности ирригационного типа режима их уровня и отмечены особенности передвижения влаги в зоне аэрации.

Иллюстраций 4, библиографий 5.

УДК 551.49 (255)

О ПОСТАНОВКЕ ОПЫТНЫХ КУСТОВЫХ ОТКАЧЕК ДЛЯ
ОЦЕНКИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА
ОРОШАЕМЫХ МАССИВАХ

Пенковский И.С., Соффер А.И.

"Труды института "Среднеазиатского водохозяйства", вып. I, 1971.

В статье рассматриваются вопросы постановки опытных фильтровальных работ на орошаемых массивах в условиях слоистых гидрогеологических систем. В зависимости от задач, которые необходимо решать гидрогеологическими расчетами, предлагается водоносную толщу расчленять на два этапа, из которых первый охватывает зону влияния систематического дренажа по глубине, а второй - всю остальную часть водоносного горизонта до регионального водоупора. Приводятся примеры оптимальных схем опытных кустов в одноплостовой и двухплостовой системах в выделенном первом этапе и дается методика расчетов гидрогеологических параметров по данным опытных откачек на этих кустах.

Иллюстраций 5, библиографий 6.

УДК 631.117:628.365 (084.2)

РАЙОНИРОВАНИЕ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ ПО ТИПОВЫМ
ФИЛЬТРАЦИОННЫМ СХЕМАМ

Соффер А.И., Соффер С.И.

"Труды института "Среднеазиатского водохозяйства", вып. I, 1971.

Работа посвящена обоснованию надежности критериев районирования орошаемых земель по типовым фильтрационным схемам для целей мелиорации. В качестве ведущего признака такого районирования предлагается детальный анализ строения водоносного комплекса по особенностям геоморфолого-литологического строения в ограниченном диапазоне мощностей (главным образом основного водоносного пласта и покровного слоя). На примере анализа детальной разведки участка в совхозе № 4 Голодной степи и других показывается преимущество применения статистических методов и методики обработки результатов разведочных работ.

Таблиц 2, иллюстраций 2, вклеек I, библиографий 4.

УДК 551.573

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
СУММАРНОГО ИСПАРЕНИЯ

Побережский Л.Н.

"Труды института "Средвзгипроводхлопок", вып. I, 1971.

Рассматриваются погрешности применения различных методов определения суммарного испарения в условиях орошаемой территории. Отдается предпочтение методам водного и теплового балансов, выбор одного из которых диктуется конкретными условиями района исследований.

Иллюстраций 2, библиографий 12.

УДК 551.573:631.586 (575.1)

РЕЖИМ ИСПАРЕНИЯ В БОГАРНОЙ ЗОНЕ УЗБЕКИСТАНА

Осипов Э.Р., Побережский Л.Н.

"Труды института "Средвзгипроводхлопок", вып. I, 1971.

Произведен расчет суммарного испарения по четырем пунктам богарной зоны. Результаты расчета увязаны с показателем увлажнения, равным сумме атмосферных осадков и продуктивных влагозапасов зоны аэрации.

Таблиц 2, иллюстраций 2, библиографий 9.

УДК 552.524 (581)

О ЛЕССОВЫХ ПОРОДАХ НА СЕВЕРЕ АФГАНИСТАНА

Игнатилов Н.М.

"Труды института "Средвзгипроводхлопок", вып. I, 1971.

В работе на основе обобщения и систематизации материалов инженерно-геологических изысканий впервые выделены основные генетические типы лессовых пород одного из наименее изученных регионов Средней Азии - правобережной части бассейна реки Аму-Дарья в пределах Афганистана. Довольно детально описаны условия их распространения, приведена карта основных районов развития лессов и лессовидных пород. Дается развернутая характеристика физико-механических свойств выделенных типов пород применительно к целям водохозяйственного строительства, которое получает большое развитие в дружественной нам соседней стране.

Таблиц 4, иллюстраций I, библиографий 6.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
В.М.Бенъяминович. Институт "Средвзгипроводхлопок".	5
А.Н.Морозов, Г.Н.Павлов. О расчете горизонтального дренажа засоленных земель.	14
Р.М.Горбачев. Некоторые результаты изучения фильтрационных потерь из оросительной сети Голодной степи.	34
Ф.В.Серебрянников. Результаты определения рациональной скважности дренажных труб в лабораторных условиях	49
Ф.В.Серебрянников. Оценка влияния фильтрационных деформаций у водоприемных отверстий на приток воды в дренаж.	60
Б.Я.Нейман. О некоторых особенностях режима уровня грунтовых вод на новоорошаемых землях Юго-западного массива Голодной степи.	71
И.С.Памковский, А.М.Сойфер. О постановке опытных кутовых откачек для оценки гидрогеологических параметров на орошаемых массивах.	84
А.М.Сойфер, С.Я.Сойфер. Районирование орошаемых земель по типовым фильтрационным схемам.	98
Л.Н.Побережский. Анализ основных методов определения суммарного испарения.	109
Э.Р.Осипов, Л.Н.Побережский. Режим испарения в богарной зоне Узбекистана.	123
Н.М.Игнатиюв. О лессовых породах на севере Афганистана.	133
Аннотации статей, помещенных в трудах	151

Т Р У Д Ы
института "Средазгипроводхлопок"
Выпуск I

Редакторы Ц.И.Медовар, Е.Н.Мякушенко

Подписано к печати 22/IV-1971г. Бумажка типографская № 1.
Формат 60 х 90 1/16. Печ. л. 10,0. Уч. - изд. л. 8,82 +
+1 вкл. Тираж 700 экз. Цена 75 коп.
Р.05321. Заказ 2131.

Оффсетная мастерская института "Средазгипроводхлопок".
Ташкент, II, Навои, 44.