

ВОПРОСЫ ГИДРОТЕХНИКИ

ВЫПУСК

31

ИЗДАТЕЛЬСТВО „ФАН“ УЗБЕКСКОЙ ССР

МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА СССР
СРЕДНЕАЗИАТСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ИРРИГАЦИИ им. В. Д. ЖУРИНА
„САНИИРИ“

ВОПРОСЫ ГИДРОТЕХНИКИ

ВЫПУСК 31

СТРОИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ,
ПОЧВО-ГРУНТЫ, ВОДОТОКИ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ФАН» УЗБЕКСКОЙ ССР
ТАШКЕНТ — 1967 г.

В сборнике излагаются результаты лабораторных и натурных исследований строительных свойств лессовых грунтов, улучшения этих свойств с помощью технологических режимов полива; дается анализ физико-технических свойств грунта, уложенного в плотину, освещается опыт исследования влияния техники полива на ирригационную эрозию почв; освещается вопрос регулирования качества воды водотоков города Ташкента.

Сборник предназначен для научных работников, инженеров строительных, проектных и эксплуатационных организаций, аспирантов, преподавателей и студентов вузов строительной и гидротехнической специальности.

Редакционная коллегия

З. Х. ХУСАН-ХОДЖАЕВ (отв. редактор), С. Г. ЗАПРОМЕТОВ, А. А. РАЧИНСКИЙ, Х. А. АСКАРОВ, А. М. МУХАМЕДОВ, У. Ю. ПУЛАТОВ, А. В. ЕФРЕМОВ, Б. Е. МИЛЬКИС, М. В. БУТЫРИН, Г. Г. ВАЛЕНТИНИ.

Х. А. АСКАРОВ, К. К. АДЫЛОВ

ИЗУЧЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ СЖАТИЮ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ ПОД БОЛЬШИМИ ДАВЛЕНИЯМИ (НА ПРИМЕРЕ ЯДРА ПЛОТИНЫ НУРЕКСКОЙ ГЭС)

Использование лессовых грунтов для строительства земляных сооружений теоретически обосновано. В результате практических работ накопился разносторонний экспериментальный материал, характеризующий физическое состояние грунтов в период возведения сооружений и поведение их в процессе эксплуатации.

В связи с начатым в Средней Азии грандиозным ирригационным и гидротехническим строительством и проектированием таких плотин, как Нурекская ГЭС высотой 290 м, Пачкамарское водохранилище и др., перед исследователями поставлен ряд вопросов, в частности о поведении лессовых грунтов под большими давлениями, достигающими на отдельных объектах до 50—60 кг/см².

В план лаборатории оснований и механики грунтов САНИИРИ на 1962—1963 гг. были включены испытания по изучению сопротивления сжатию лессового грунта, укладываемого в ядро плотины Нурекской ГЭС¹. Для этого необходимо было выяснить влияние начальной плотности на компрессию (осадку) образца грунта под большими давлениями, а также исходной влажности на сжимаемость грунта. Однако в ходе решения намеченных в программе задач мы определяли также оптимальную влажность, максимальную величину объемного веса при различных влажностях, критическую работу, величину набухания, изучали физико-технические свойства подопытных грунтов и т. д.

Известно, что сжимаемость грунта в теле плотины зависит от степени его плотности и влажности: чем ниже плотность и выше влажность, тем больше деформация грунта при одних и тех же действующих на него нагрузках. Поэтому существует тенденция к установлению такой плотности (объемного веса), при которой грунт не только не дает деформацию в виде осадки, но и не набухает. Выбор этой плотности зависит от величины нагрузки, действующей на грунт сооружения на данном слое, т. е. от веса вышележащей толщи.

Е. С. Песиков [6] справедливо указывает, что «методика расчета требуемой плотности грунта в теле земляных насыпных плотин, возводимых из лессовых грунтов, еще не разработана. Это приводит к тому, что плотность грунта в сооружении может быть задана излишней или недостаточной. Излишнее уплотнение удорожает сооружение, а недостаточное — влечет за собой всякого рода осложнения при эксплуатации, которые могут привести к аварии».

¹ Исследования лессовых грунтов для ядра плотины Нурекской ГЭС включены в план работы согласно письму Среднеазиатского отделения Гидропроекта за № 16—0 от 9 апреля 1962 г.

Для разработки методики расчета требуемой плотности лессового грунта в теле насыпной плотины, отражающей действительное поведение в сооружении, Е. С. Песиковым исследована сжимаемость уплотненного лессового грунта под нагрузкой до 8 кг/см^2 , что моделирует работу грунта в теле плотины высотой до 40 м.

Основная наша задача — изучить влияние увлажнения грунтов, уплотненных до различных объемных весов ($1,50; 1,60; 1,70; 1,80 \text{ т/м}^3$), с различными исходными влажностями ($14, 16, 18, 20\%$) под высокими давлениями на деформацию, определить характер сжимаемости лессовых грунтов под действием больших давлений, а также по результатам испытаний установить величину оптимальной влажности и оптимальной плотности грунтов для высоконапорных плотин, возводимых из лессовых грунтов.

Исследования должны послужить основанием для выбора метода производства работ по возведению плотины Нурекской ГЭС (послойную укатку или, как указывают отдельные исследователи [10], отсыпку грунта в воду).

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПОДОПЫТНЫХ ГРУНТОВ

Для карьерных грунтов (из Лангара) характерны следующие водно-физические свойства: естественная влажность — $1,01\%$; удельный вес — $2,68 \text{ т/м}^3$; предел раскатывания — 20% ; предел текучести — 28% ; число пластичности — 8% ; максимальная молекулярная влагоемкость — 18% .

Подопытные грунты, судя по числу пластичности, гранулометрическому составу и максимальной молекулярной влагоемкости, относятся к пылеватым суглинкам.

Химический состав водных и солянокислых вытяжек показывает, что подопытные грунты засолены слабо.

Метод подготовки образца перед уплотнением. Для придания грунту заданной плотности и влажности его просеивали через сито диаметром $0,2 \text{ мм}$ и увлажняли до заданной величины путем заливки определенным количеством воды. Грунт перемешивали и для равномерного распределения влаги помещали в эксикатор с водой на дне на 1 сутки. Затем проводили контрольное определение влажности и загружали его в уплотнительный стакан прибора для стандартного уплотнения ДорНИИ.

Порядок проведения уплотнения заключался в следующем: грунт в количестве 500 г насыпали в разъемный стакан копра и уплотняли до получения рассчитанной высоты образца, соответствующей заданной величине объемного веса. После уплотнения грунт извлекали из разъемного стакана и вырезали из него образец на компрессию с попутным контрольным определением полученного объемного веса и влажности. В случае расхождения уплотнение повторялось.

Приборы и аппаратура для исследований. Компрессионные приборы, имеющиеся в распоряжении лаборатории, допускали предельную нагрузку 8 кг/см^2 (система Гидропроекта). Поэтому для работы с большими давлениями на грунт многие узлы прибора были усилены.

УПЛОТНЯЕМОСТЬ И ОПТИМАЛЬНАЯ ВЛАЖНОСТЬ ИЗУЧЕННЫХ ГРУНТОВ

В земляных плотинах для достижения наибольшей прочности и водонепроницаемости, а также для предотвращения интенсивной осадки грунт должен быть достаточно уплотнен. Уплотняют его трамбованием, укаткой специальными катками и другими способами.

Максимальное уплотнение с наименьшей затратой работы достигается при оптимальной влажности, которая играет важную роль при предварительных исследованиях грунтов, при контроле качества уплотнения насыпей в процессе строительства.

Как указывают Е. Д. Рождественский [7] и др., абсолютная величина оптимальной влажности у разных грунтов различна; причем с возрастанием содержания в грунте глинистой фракции она увеличивается.

У подопытных грунтов оптимальная влажность при работе $25 \text{ кг} \cdot \text{м}$ равна 16% , а при $100 \text{ кг} \cdot \text{м}$ — 14% . При этих влажностях грунты во время испытания по стандартной методике, т. е. при работе 25 , а также $100 \text{ кг} \cdot \text{м}$, имеют объемный вес $1,77$ и $1,86 \text{ т/м}^3$ соответственно.

Полученный нами экспериментальный материал также свидетельствует о том, что грунт с высокой исходной влажностью приобретает высокую плотность при меньшем количестве работы, чем грунт с низкой исходной влажностью: у грунта с высокой влажностью разрушению микроагрегатов, следовательно и уплотнению, способствует содержащаяся в нем влага. При уменьшении количества влаги грунтовые агрегаты до определенного предела работы, воспринимая нагрузку на себя, будут сближаться, создавая макроструктуру грунта. После достаточного сближения и преодоления предела прочности, микроагрегаты начинают разрушаться с переходом структуры грунта из макро- в микроструктуру.

Маловлажные грунты уплотняются несколько позже, чем грунты с высоким содержанием влаги. Самая высокая плотность в процессе уплотнения подопытных грунтов получена при влажности 14% ($\delta_{\text{ск}} = 1,86 \text{ т/м}^3$; $G = 0,851$).

Оптимальная влажность уплотнения для грунтов с нарушенным сложением должна быть ниже, чем с ненарушенным, так как для нарушения естественной структуры при ударном уплотнении потребуется определенное количество воды.

СОПРОТИВЛЕНИЕ ГРУНТОВ СЖАТИЮ ПОД БОЛЬШИМИ ДАВЛЕНИЯМИ

По Н. Я. Денисову [4], упрочнению пород при уплотнении под увеличивающимся давлением во многом способствует влага, облегчающая скольжение частиц, их ориентировку и сближение.

По данным Н. Я. Денисова и Е. М. Сергеева [4, 9], в процессе искусственного уплотнения глинистых пород их прочность растет лишь до некоторого предела. Отдельные ученые [9] указывают на существование «оптимальной нагрузки уплотнения», уменьшающейся вместе с увеличением степени дисперсности.

Оптимальная нагрузка уплотнения при влажности, равной пределу пластичности, для покровного суглинка составляет 100 кг/см^2 , карбонатного — 60 , для кудиновской каолиновой глины — 30 , моренного суглинка — от 300 до 1000 кг/см^2 .

Следовательно, при уплотнении грунтов давлением до величины «оптимальной нагрузки уплотнения» прочность грунта растет, выше этой плотности падает.

Некоторые исследователи [12] отмечают возможность уменьшения прочности суглинков при уплотнении в теле земляных сооружений.

При уменьшении влажности одного из суглинков с 18 до 13% прочность пород при одинаковой плотности увеличивается (рис. 1). Кривые показывают, что зависимость прочности суглинков от их плотности при неизменной влажности имеет сложный характер [4]. Так, вначале вместе с увеличением плотности суглинков их прочность возрастает и при некоторой величине объемного веса достигает максимального значения. При дальнейшем уплотнении прочность уже не увеличивается, а уменьшается.

С ростом влажности плотность, соответствующая максимальной прочности суглинков, падает.

Для структурных деформаций глинистых пород, содержащих влагу и коллоиды, характерно упрочнение их при обычных в строительной практике размерах давления.

Поскольку процесс уплотнения протекает не мгновенно, а на протяжении некоторого отрезка времени, постольку и упрочнение завершается

не сразу, а вместе с окончанием процесса уплотнения. Способность глинистых пород упрочняться под воздействием давления — их положительная особенность, умелое использование которой во многом способствует успешному завершению строительства, особенно на слабых глинистых породах.

Как указывает Н. Я. Денисов, необходимое для возникновения структурных деформаций разрушение может быть следствием как увеличения давления, испытываемого грунтом с природной структурой, так и уменьшения цементационных связей.

Уменьшение действия цементационных связей в грунтах ненарушенного

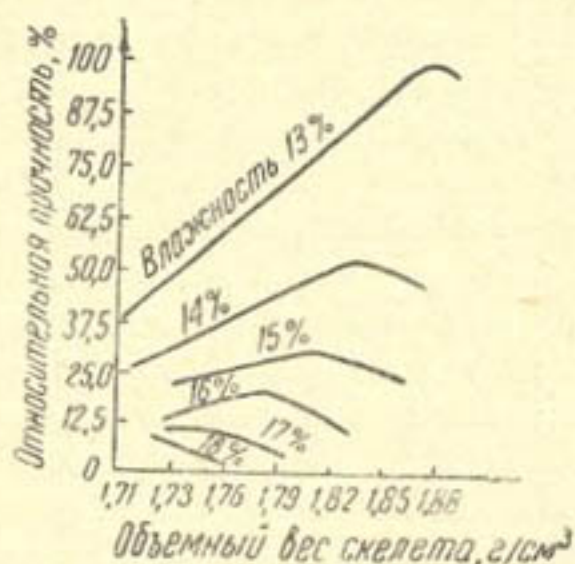


Рис. 1. Изменение прочности суглинков при изменении их плотности в процессе уплотнения при различной влажности.

сложения происходит при повышении влажности грунта вследствие расклинивающего эффекта тонких пленок воды.

В случае одновременного воздействия давления и воды грунт более уплотняется. Однако при воздействии земляных сооружений грунт как материал для укладки в тело сооружения значительно теряет природную структуру (при укатке, отсыпке в воду и т. п.) и превращается в грунт с условно-нарушенной структурой с частичным сохранением связей внутри микроагрегатов.

Основная деформация в грунтах с ненарушенной структурой (особенно в лессах) при увлажнении обуславливается расклинивающим эффектом водных пленок и падением цементационных связей между агрегатами и частицами.

Деформация грунта с условно-нарушенной структурой при увлажнении объясняется расклинивающим действием водно-коллоидных пленок и падением прочности микроагрегатов, сохранившихся еще после ударного и компрессионного обжатия.

Следовательно, у грунта с условно-нарушенной структурой деформация при увлажнении связана с дальнейшим ослаблением связей внутри микроагрегатов, а также расклинивающим действием водно-коллоидных пленок, способствующих более плотной упаковке грунтовых агрегатов (при уплотнении). Расклинивающее действие водно-коллоидных пленок проявляется при одновременном воздействии на грунт и воды, и нагрузки (статической или динамической). Поэтому, по нашему мнению, при возведении насыпных земляных сооружений следует учесть возникновение нежелательной деформации грунта при одновременном воздействии воды (при наполнении водохранилищ) и нагрузки (от собственного веса плотины).

Следовательно, во избежание деформации тела плотины при увлажнении она должна возводиться из грунта с достаточной водонасыщенностью при уплотнении (укатке). Необходимая степень водонасыщенности (G) грунта, при которой он не дает осадку при дополнительном увлаж-

нении, согласно нашим предварительным данным, колеблется в пределах 0,8—0,9 [3, 8].

Сооружение, возведенное из грунта с укаткой при указанной выше степени водонасыщенности, в результате увлажнения недоуплотняется, но осадка неизбежна, так как плотность грунта не всегда соответствует давлению в различных слоях сооружения.

Требования, предъявляемые к грунту для тела больших плотин. Известно, что осадка грунта в теле плотины зависит от степени его плотности, естественной влажности, а также от веса вышележащей толщи, свойств и состава грунтов. При проектировании плотин следует стремиться дать грунту такую плотность, чтобы он под весом вышележащих слоев, а также при увлажнении (в процессе подъема воды в верхнем бьефе водохранилища), не давал больших деформаций. Этим требованиям никак не может отвечать метод отсыпки грунта в воду при строительстве высоконапорных плотин типа Нурекской ГЭС, так как малая ($\delta_{ск} — 1,55 \text{ т/м}^3$) плотность грунта не обеспечивает сопротивления его высоким сжимающим и сдвигающим усилиям (50—60 кг/см^2). Поэтому единственно применимым способом в данном случае может быть укатка, позволяющая при оптимальной влажности получить высокую плотность грунта. Кроме того, грунт в теле плотины должен иметь достаточную устойчивость и минимальную фильтрационную способность.

Однако структурная прочность грунта — показатель устойчивости плотины — обеспечивается не одной высокой плотностью: при послойной укатке она в значительной степени зависит и от влажности, при которой производится укатка.

Грунт, укатанный при низкой степени водонасыщенности, несмотря на высокую плотность, может быть неводоустойчивым, деформируясь при увлажнении. Задача обеспечения устойчивого состояния грунта состоит в том, чтобы установить такие объемный вес и влажность его в теле плотины, при которых воздействие увлажнения и собственного веса не вызовет деформации в виде осадки, набухания, а также потери устойчивости.

Объем выполненных работ. Для решения поставленной цели проведены серии компрессионных опытов с различным исходным состоянием грунта (постоянная исходная влажность с различной плотностью и наоборот и др.). При этом использовали грунт, отобранный из карьера, предназначенного для ядра Нурекской плотины.

В 1962 г. проведено 130 испытаний. Однако при анализе полученного экспериментального материала возникла необходимость постановки более расширенных исследований грунтов на сжатие и просадочность. Дело в том, что плотина подобной высоты (290 м) у нас в СССР строится впервые. Это заставляет исследователей подойти к решению данного вопроса с большой ответственностью.

В 1963 г. мы провели еще 200 компрессионных опытов.

Методика. Испытания состояли из нескольких серий.

В первой серии опыты проведены по методу «двух кривых», т. е. первые образцы изучали с заданной исходной влажностью, а другие замачивали под различными давлениями на грунт: 1,0; 2,0; 4,0; 10,0; 20,0; 30,0; 40,0; 50,0 и 60,0 кг/см^2 .

Были приняты следующие ступени уплотняющих нагрузок: 0,0; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0; 11,0; 12,0; 16,0; 20,0; 24,0; 28,0; 30,0; 34,0; 36,0; 40,0; 42,0; 44,0; 48,0; 50,0; 52,0; 54,0; 56,0; 58,0; 60,0; 62,0 и 64,0 кг/см^2 .

Нагрузки прикладывали через 3 часа при условии окончания деформации, критерием которой служили изменения показания индикатора на 0,01 мм.

Опыты с увлажнением образцов грунта под различными давлениями дают представление об осадке тела плотины в момент заполнения водохранилища водой; а с исходной влажностью — об осадке грунта в теле плотины в период его возведения.

Во второй серии также принята методика «двух кривых», но в отличие от первой все вторые образцы замачивали при нагрузке $0,5 \text{ кг/см}^2$; первые испытывали на сжатие ступенями нагрузок с исходной (заданной) влажностью, соблюдая меры по сохранению этой влажности до конца компрессии. Цель этой серии — изучение характера сжатия образцов с заданной исходной влажностью и с полным водонасыщением грунта в начале компрессии.

В третьей серии определяли сопротивление сжатию с заданной исходной влажностью-плотностью грунта, подвергавшегося увлажнению водой при нагрузке $1,0 \text{ кг/см}^2$. Исходная плотность грунта $1,60 \text{ т/м}^3$; влажность — 16%.

Первые две серии испытаний проведены с грунтами различной исходной плотности ($1,50$; $1,60$; $1,70$ и $1,80 \text{ т/м}^3$) и влажности (14, 16, 18%).

В каждой серии количество опытов более 50—60.

Во всех сериях после каждого опыта определяли объемный вес и конечную влажность, а также подсчитывали изменения объемного веса скелета грунта и степень водонасыщенности для каждой ступени нагрузок.

На основании испытаний вычислены величины относительной просадочности (i_m) и модуль осадки (L мм/м) для каждой ступени нагрузок.

Мы не согласны с методикой инструкции ВОДГЕО 1944 г. [11], где плотность грунта задается по компрессионной кривой грунтовой пасты, а также по давлению от собственного веса вышележащего грунта.

Поведение грунтовой пасты в компрессионном опыте не моделирует работу грунта, используемого как материал для насыпной плотины. В этом случае грунт в значительной степени сохраняет структуру в агрегатах и мелких комках.

При механическом уплотнении грунта в процессе возведения земляной плотины происходит дальнейшее разрушение агрегатов грунта, сопровождающееся сближением грунтовых частиц, приводящим к их более плотному сложению. В таких случаях в зависимости от величины влажности при уплотнении образуется новая структура, сопротивляющаяся сжатию под весом вышележащих слоев грунтов в теле плотины.

Величина осадки (при одинаковых давлениях на грунт) у грунтовой пасты сравнительно выше, чем у грунтов с условно-нарушенной структурой¹. Это объясняется некоторым присутствием в последнем сцепления упрочнения в агрегатах [4].

ВЛИЯНИЕ НАЧАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ НА СЖИМАЕМОСТЬ ГРУНТА

О влиянии начальной плотности глинистых пород на интенсивность их сжатия в компрессионных опытах свидетельствуют материалы наших опытов, приводимые в виде графиков зависимости $E=f(P)$ (рис. 2,3).

Как видно из рисунков, при высоком давлении (до 60 кг/см^2) кривые уплотнения, начинавшиеся в различных точках от оси ординат, сближаются и почти сливаются. Следовательно, влияние начальной плотности на сжатие уменьшается вместе с увеличением давления.

¹ Условно-нарушенной структурой, по нашему мнению, обладает грунт с частичным сохранением структуры в агрегатах, иначе говоря, карьерный грунт, используемый на возведение насыпной плотины.

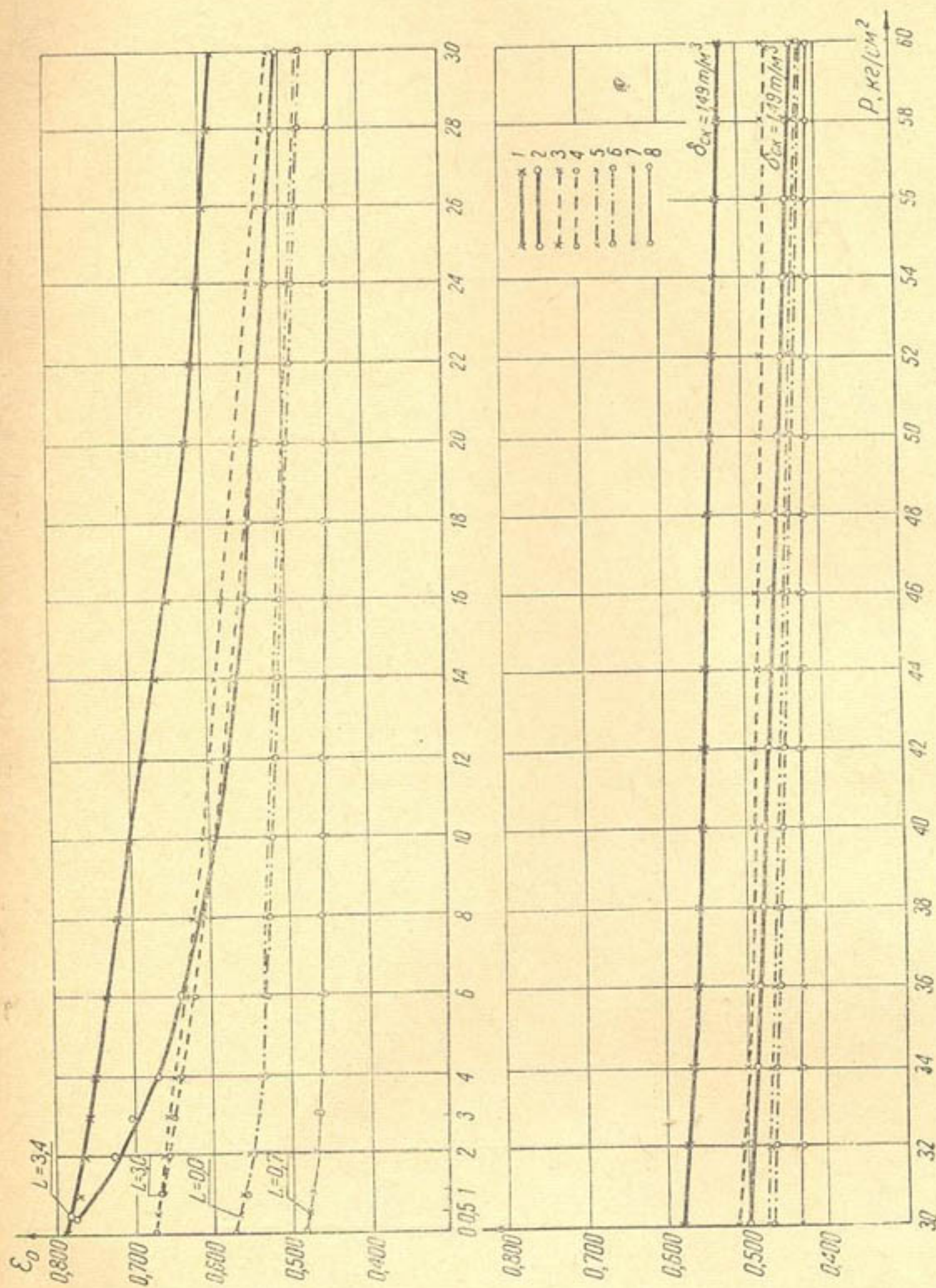


Рис. 2. Кривые сжатия грунтов с начальной влажностью 1% при различных исходных плотностях:

1 — $\delta_{ск} = 1.50 \text{ т/м}^3$ без замочки; 2 — то же с замочкой при $P = 0.5 \text{ кг/см}^2$; 3 — $\delta_{ск} = 1.60 \text{ т/м}^3$ без замочки; 4 — то же с замочкой при $P = 0.5 \text{ кг/см}^2$; 5 — $\delta_{ск} = 1.70 \text{ т/м}^3$ без замочки; 6 — то же с замочкой при $P = 0.5 \text{ кг/см}^2$; 7 — $\delta_{ск} = 1.80 \text{ т/м}^3$ без замочки; 8 — то же с замочкой при $P = 0.5 \text{ кг/см}^2$.

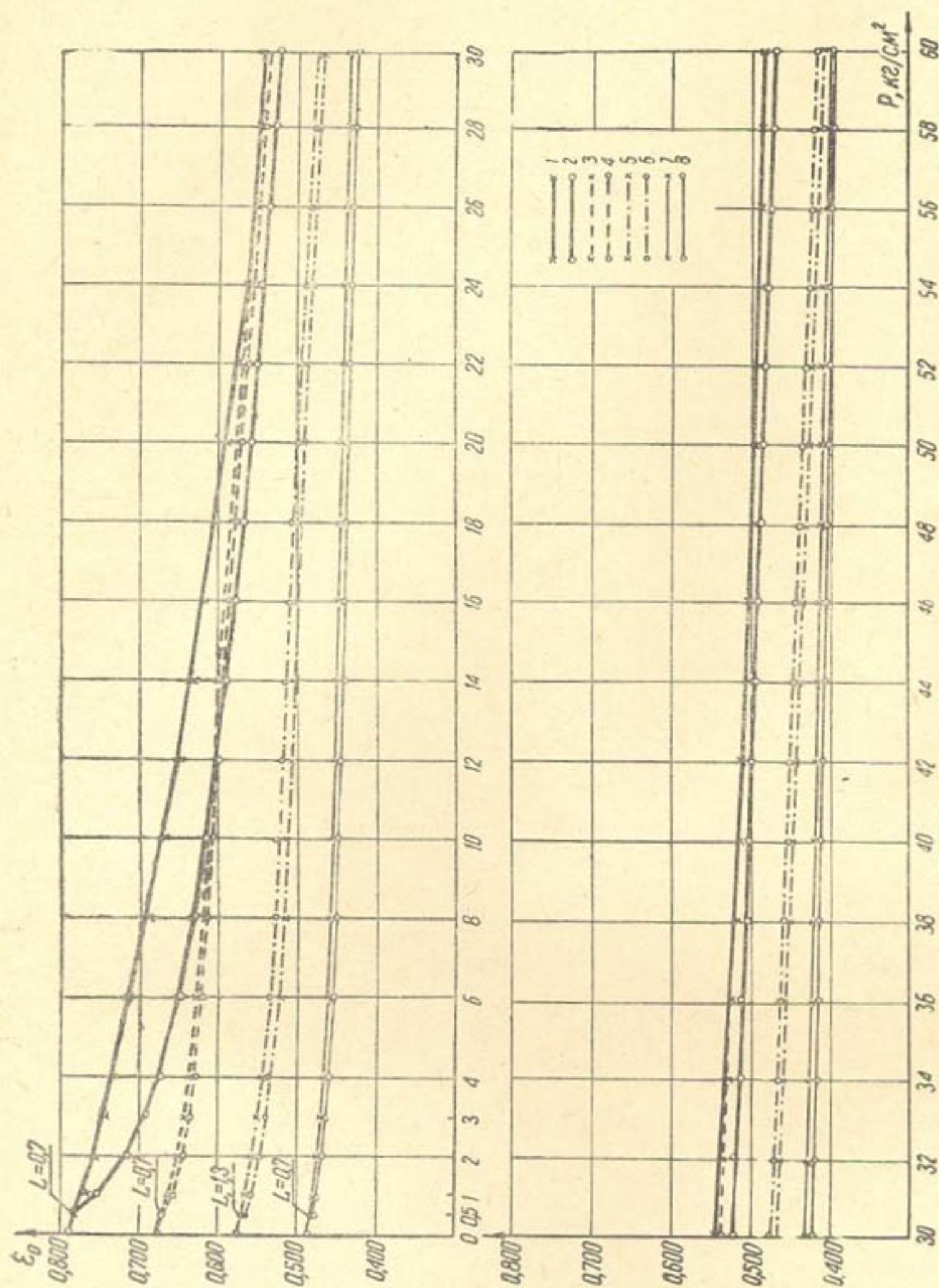


Рис. 3. Кривые сжатия грунтов с начальной влажностью 16% при различных исходных плотностях.

1 — $\delta_{\text{ск.}} = 1.50 \text{ т/м}^3$ без замочки; 2 — то же с замочкой при $P = 0.5 \text{ кг/см}^2$; 3 — $\delta_{\text{ск.}} = 1.60 \text{ т/м}^3$ без замочки; 4 — то же с замочкой при $P = 0.5 \text{ кг/см}^2$; 5 — $\delta_{\text{ск.}} = 1.70 \text{ т/м}^3$ без замочки; 6 — то же с замочкой при $P = 0.5 \text{ кг/см}^2$; 7 — $\delta_{\text{ск.}} = 1.80 \text{ т/м}^3$ без замочки; 8 — то же с замочкой при $P = 0.5 \text{ кг/см}^2$.

Приведенные графики (рис. 2, 3) показывают характер сжатия (осадки) грунтов с начальной плотностью $\delta_{ск} = 1,50; 1,60; 1,70; 1,80 \text{ т/м}^3$ при постоянной (одинаковой) исходной влажности.

Опыты проведены с замочкой грунта в начале компрессии (при $0,5 \text{ кг/см}^2$), а также без замочки. Разница ординат для исходной величины нагрузок между каждой парой кривых сжатия (с одинаковой исходной влажностью и плотностью) указывает на возможную деформацию грунта в результате увлажнения.

Величина деформации (просадки) подсчитывается по формуле

$$L = \frac{\epsilon_{н.зам.} - \epsilon_{зам.}}{1 - \epsilon_{н.зам.}} \cdot 1000 \text{ мм/м.}$$

По мере падения исходной плотности грунта при укладке его в тело плотины деформация, вызываемая увлажнением, возрастает.

В результате опытов установлена полная непригодность грунта как материала для высоконапорных плотин с $\delta_{ск} = 1,50—1,60 \text{ т/м}^3$, что соответствует объемному весу грунта при производстве работ методом отсыпки грунта в воду.

Из рис. 2, 3 видно, что кривые сжатия грунтов с заданной естественной влажностью и водонасыщенных, по мере возрастания исходной величины плотности (т. е. с падением ϵ), с увеличением давления стремятся к слиянию между собой. Это говорит о том, что при компрессии уплотненных до высокой плотности грунтов роль диспергации, связанной с увлажнением, незначительна.

Деформация грунтов при увлажнении. Для установления величины деформации при увлажнении проведены компрессионные испытания грунтов с замочкой их под различными давлениями.

В результате опытов (рис. 4) выяснено следующее: 1) наибольшая деформация при увлажнении грунта наблюдается для начальных ступеней нагрузки (до $20—30 \text{ кг/см}^2$) компрессионного опыта. По мере возрастания нагрузки деформация от действия увлажнения незначительна;

2) величина деформации при увлажнении, при одной и той же нагрузке на грунт, падает с увеличением влажности уплотнения (исходной влажности);

3) с возрастанием начальной плотности (объемного веса скелета) величина деформации при увлажнении становится незначительной;

4) у грунта с малой исходной влажностью, но с большой плотностью, влияние замачивания на деформируемость грунта для начального участка нагрузки небольшое, а с увеличением нагрузки возрастает;

5) с ростом одновременно и исходной влажности, и плотности величина деформации при увлажнении значительно падает. При высоких давлениях эта деформация приближается к нулю.

Как видно из рис. 4, деформация, связанная с увлажнением при постоянстве нагрузки на грунт, названная отдельными исследователями

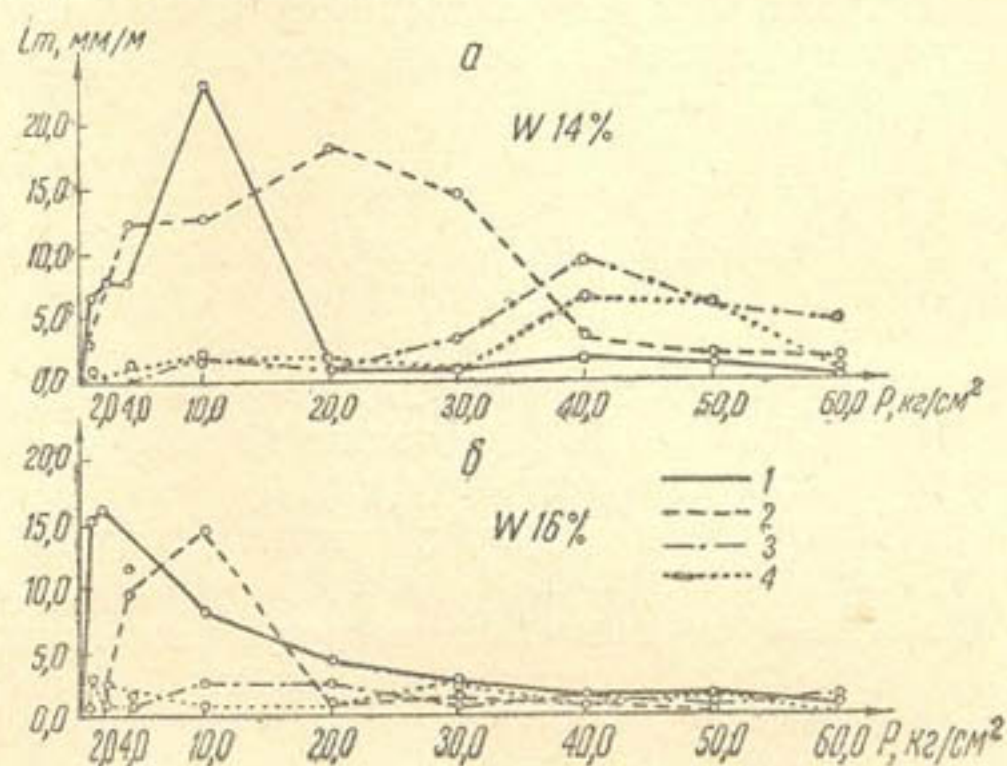


Рис. 4. Зависимость деформации при увлажнении грунта при различных давлениях; $\delta_{ск} = 1,50 \text{ т/м}^3; 1,60; 1,70; 1,80$.

«просадкой», имеет свой максимум (2,3% или $i_m = 23$ мм/м) для грунта с исходной плотностью $\delta_{ск.} = 1,50$ т/м³ при исходной влажности 14% в интервале нагрузок на грунт от 4 до 30 кг/см². В пределах этого же интервала нагрузок на графике а (рис. 4) грунт с плотностью 1,70 и 1,80 т/м³ имеет минимальную деформацию.

С увеличением нагрузки (в пределах 30—50 кг/см²) величина деформации грунта с $\delta_{ск.} = 1,70—1,80$ т/м³ несколько возрастает. Ее размер тем не менее не превышает 1% ($i_m = 10$ мм/м).

График б (рис. 4) указывает на тенденцию уменьшения величины деформации с ростом исходной влажности и плотности, а также с прибавлением нагрузки на грунт.

Чтобы свести до минимума величину деформации, грунт в тело плотины должен быть уложен с наибольшей исходной влажностью и плотностью. Так, в рассматриваемом нами случае грунт $w_{исх.} = 16\%$, $\delta_{ск.} = 1,80$ т/м³ и $w_{исх.} = 18\%$, $\delta_{ск.} = 1,70$ т/м³ имеет наименьшую деформацию.

Во время предварительного уплотнения на копре получить $\delta_{ск.} = 1,80$ т/м³ для влажности 18% не удалось. При этой влажности максимальная плотность равна 1,70 т/м³.

Для предотвращения или сведения до минимума деформации (просадки) грунтов тела плотины при наполнении водохранилища водой грунт должен иметь влажность выше оптимальной на 2—4% с соответствующим этой влажности максимумом плотности. При постройке высоконапорных плотин огромную роль играет величина осадки. Для ядра плотины Нурекской ГЭС давление на грунт имеет интервал нагрузки 0,0—60 кг/см². Следовательно, нижние слои плотины будут испытывать очень большие нагрузки от веса вышележащих слоев. Несомненно, они будут претерпевать большие осадки даже в процессе возведения плотины.

ВЛИЯНИЕ ИСХОДНОЙ ВЛАЖНОСТИ НА ОСАДКУ ГРУНТОВ (КОМПРЕССИЯ БЕЗ ЗАМОЧКИ)

Компрессионные опыты проведены с грунтами с исходной оптимальной влажностью 14%, а также 16 и 18% без дополнительного увлажнения в процессе опыта.

Давление на грунт в опытах доведено до 60 кг/см².

На графиках а, б (рис. 5) приведена зависимость модуля осадки (L мм/м) от величины нагрузки на грунт.

Обжатию подвергались грунты, предварительно уплотненные до объемного веса 1,50; 1,60; 1,70 и 1,80 т/м³. Под нагрузкой 4—60 кг/см² наименьшая величина модуля (рис. 5, а, б) получена для грунта с исходным объемным весом 1,80 т/м³, причем с увеличением исходной влажности модуль осадки растет.

Минимальной величине модуля осадки для грунта с исходной влажностью 18% соответствует плотность 1,70 т/м³.

Полученный экспериментальный материал свидетельствует о том, что для уменьшения осадки грунт, укладываемый в тело плотины, должен иметь исходную влажность 14%, т. е. оптимальную с уплотнением его до $\delta_{ск.} = 1,80$ т/м³. Этот грунт характеризуется модулем осадки (в интервале давлений 0,0—60,0 кг/см²) 0,0—50 мм/м, т. е. величина осадки составляет 0—5%, в среднем 2,5%. Для получения точной величины ожидаемых осадок, соответствующих грунту на различных слоях (под различными давлениями от веса вышележащих слоев) и с различной влажностью и плотностью, следует пользоваться графиками, приведен-

ными на рис. 5, из которых видно уменьшение модуля осадки с увеличением исходной плотности.

Однако рост исходной влажности приводит не к уменьшению осадки грунта, а наоборот, к увеличению.

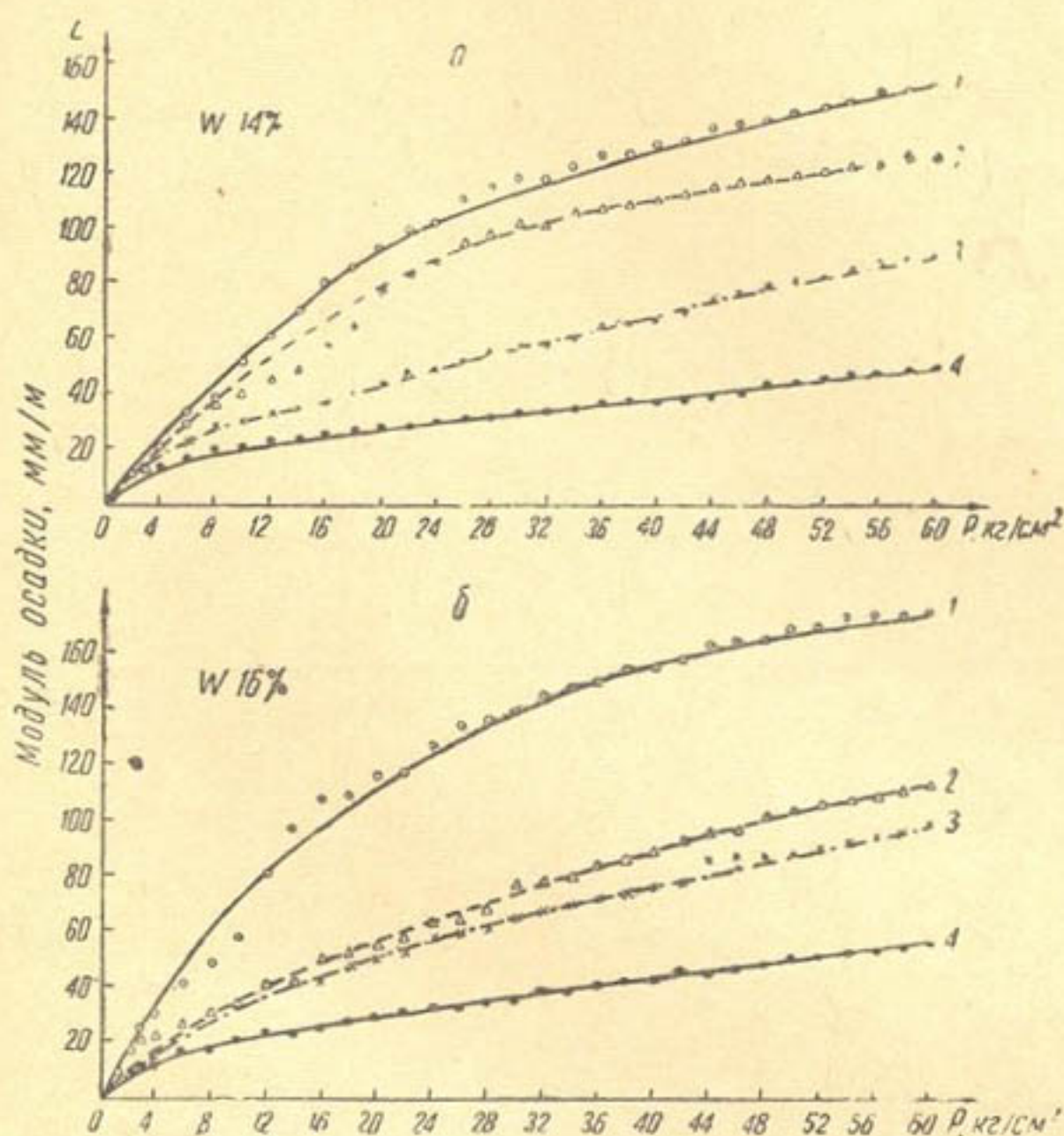


Рис. 5. Графики зависимости модуля осадка от величины вертикального давления и от исходной влажности и плотности (опыты проведены без дополнительного увлажнения); $\delta_{ск} = 1$ — $1,50 \text{ т/м}^3$; 2 — $1,60$; 3 — $1,70$; 4 — $1,80$.

Для выяснения процесса вытеснения воды из грунта под действием больших давлений в конце опыта определяли его влажность. Установлено, что под действием рассмотренных нами давлений (до 60 кг/см^2) уплотнение грунта сопровождалось без удаления влаги. Грунт с исходным объемным весом $1,50$ и $1,80 \text{ т/м}^3$, с исходной влажностью 14% , со степенью водонасыщенности (G) соответственно $0,5$ и $0,8$ в конце опыта при нагрузке 60 кг/см^2 характеризуется степенью водонасыщенности $G = 0,8$ — $0,9$. Конечные объемные веса достигли соответственно $1,78$ и $1,88 \text{ т/м}^3$.

Следовательно, наименьшей абсолютной величине осадки соответствует состояние подопытного лангарского суглинка с исходным объемным весом $1,80 \text{ т/м}^3$ и начальной влажностью 14% . Ближе к нему стоит грунт с $W_{исх} = 16\%$, $\delta_{ск} = 1,80 \text{ т/м}^3$; во всех остальных вариантах величина осадки больше.

Указанная выше закономерность справедлива строго для интервала нагрузок от $4,0$ до $60,0 \text{ кг/см}^2$.

Установить оптимальную величину исходной влажности и плотности для интервала давлений $0,0$ — $4,0 \text{ кг/см}^2$ несколько труднее, особенно для

графика б (рис. 5). Здесь на участке нагрузок $0,0—60,0 \text{ кг/см}^2$ грунт с исходным объемным весом $1,60 \text{ т/м}^3$ при некоторых нагрузках имеет меньшее значение модуля осадки, чем грунт с $\delta_{\text{ск}} = 1,70 \text{ т/м}^3$. Приведенный случай согласуется с результатами исследований Е. С. Песикова [6], проводившего опыты в этом интервале нагрузок.

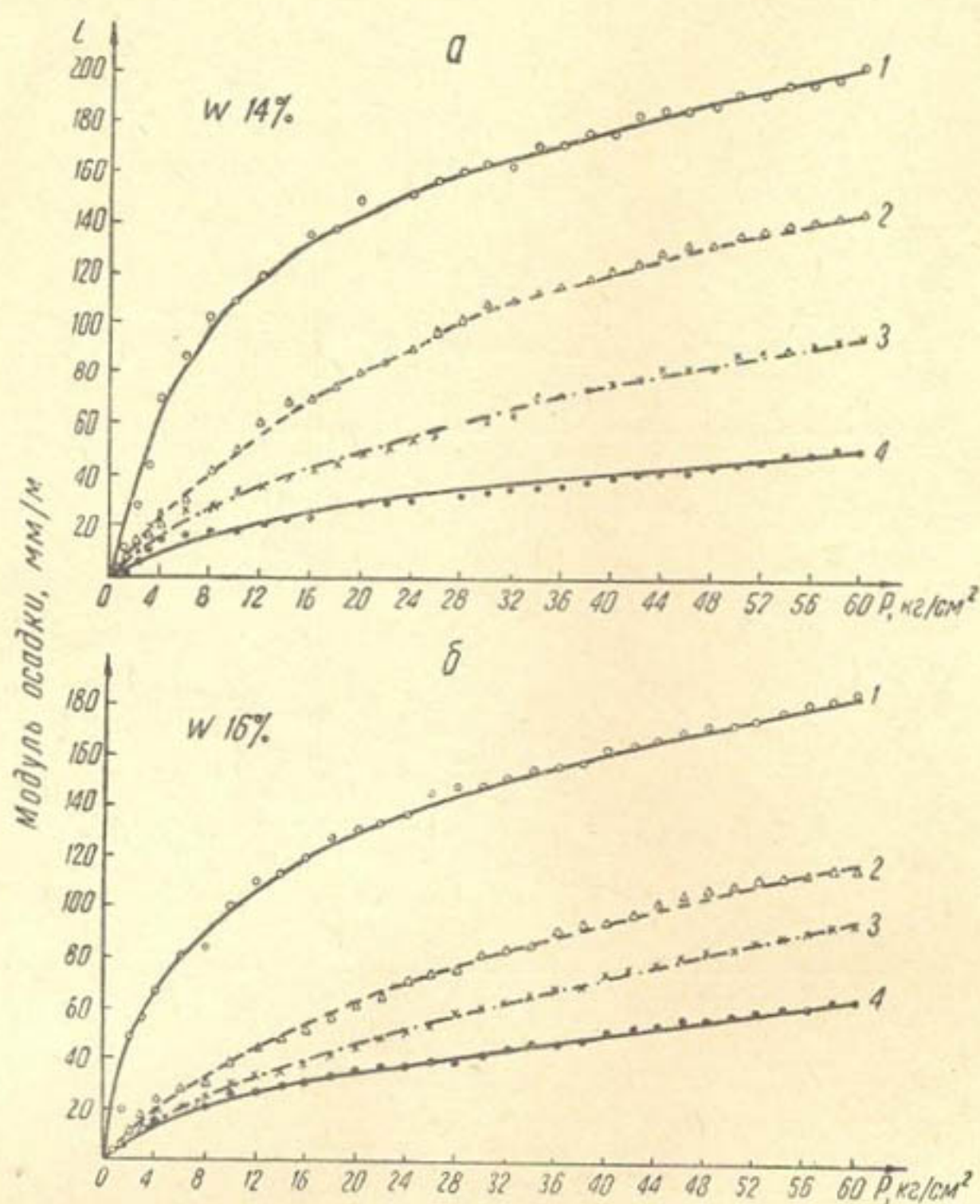


Рис. 6. Графики зависимости модуля осадки от величины вертикального давления и исходной влажности и плотности (опыты проведены с увлажнением при $P = 0,5 \text{ кг/см}^2$). Значения плотности ($\delta_{\text{ск}}$) те же, что и на рис. 5.

Соображения Е. С. Песикова относительно рекомендуемой плотности лессового грунта в насыпных плотинах и дамбах, по-видимому, справедливы только для интервала низких нагрузок (до $4—6 \text{ кг/см}^2$). Выше указанного интервала рекомендация Е. С. Песикова требует в каждом конкретном случае уточнения.

Для интервала высоких нагрузок действует закономерность, описанная нами выше.

ОСАДКА ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ГРУНТОВ

При проектировании высоконапорных земляных и смешанных плотин следует учитывать поведение грунта после насыщения его водой под действием веса вышележащих слоев, достигающего большой величины.

Под влиянием высоких давлений водонасыщенный грунт может давать большую осадку. В лабораторных условиях компрессионные опыты по определению возможной величины осадки грунтов проводились для грунтов с исходной влажностью 14; 16; 18% с предварительным уплотнением их до 1,50; 1,60; 1,70 и 1,80 t/m^3 . Опыты этой серии проведены с замочкой в начале обжатия грунта, т. е. при нагрузке 0,5 $кг/см^2$.*

Результаты опытов (рис. 6, а, б) дают представление о зависимости модуля осадки (L мм/м) от величины давления на грунт (P $кг/см^2$).

Из сравнения результатов зависимости $L=f(P)$ приходим к следующим выводам:

1) по мере возрастания величины начальной плотности, при одних и тех же исходных влажностях, значение модуля осадки для одного и того же давления падает;

2) при постоянстве исходной плотности с увеличением начальной влажности величина модуля осадки остается почти одинаковой. Это объясняется тем, что все серии опытов на графиках а, б (рис. 6) приведены с замочкой грунта в начале испытания.

Так как грунты уже в начале опыта имели одинаковую степень водонасыщенности, сопротивление сжатию их также примерно одинаково.

О состоянии грунтов под давлением 60 $кг/см^2$ можно судить по таблице, где даются величины модуля осадки (L) метрового слоя, коэффициенты пористости (e) и степень водонасыщенности грунтов (G).

Исходная плотность грунта, t/m^3	W исх.—14%						W исх.—16%		
	без замочки			с замочкой			без замочки		
	E	G	Z, мм/м	E	G	Z, мм/м	E	G	Z, мм/м
1,5	0,52	0,74	151	0,43	0,88	202	0,47	1,00	175
1,6	0,46	0,78	125	0,43	0,93	144	0,48	1,00	114
1,7	0,43	0,82	90	0,43	0,94	95	0,42	1,00	100
1,8	0,4	0,88	50	0,41	0,95	51	0,40	1,00	58

Исходная плотность грунта, t/m^3	W исх.—16%			W исх.—18%					
	с замочкой			без замочки			с замочкой		
	E	G	Z, мм/м	E	G	Z, мм/м	E	G	Z, мм/м
1,5	0,46	1,00	183	0,46	1,00	182	0,45	1,00	190
1,6	0,48	1,00	117	0,45	1,00	133	0,44	1,00	141
1,7	0,42	1,00	95	0,43	1,00	88	0,40	1,00	109
1,8	0,39	1,00	65	—	—	—	—	—	—

По данным эксперимента, разница в величине модуля осадки грунтов без увлажнения и с увлажнением уменьшается как с ростом исходной влажности, так и исходной плотности (при постоянстве уплотняющей нагрузки).

Из данных графиков а и б (рис. 6), а также из таблицы видна минимальная осадка грунта с $W_{исх.} = 14\%$ и $\delta_{ск.исх.} = 1,80 t/m^3$.

Заметной разницы в модулях осадок неувлажненного ($L = 50$ мм/м) и увлажненного ($L = 51$ мм/м) образцов грунта не обнаружено.

* Замочка образца при нагрузке 0,5 $кг/см^2$ произведена для предотвращения набухания в грунте.

Такая закономерность в определенной степени справедлива и для грунтов с $W_{исх.} = 16 - 18\%$ с $\delta_{ск-исх.} = 1,70 - 1,80 \text{ т/м}^3$. Однако величина модуля осадки этих грунтов значительно выше, чем упомянутого выше грунта, т. е. с $W_{исх.} = 14\%$ и $\delta_{ск-исх.} = 1,80 \text{ т/м}^3$. На основании этой серии опытов оптимальным также можно считать грунт с $W_{исх.} = 14\%$ и $\delta_{ск-исх.} = 1,80 \text{ т/м}^3$.

Грунту с указанными выше оптимальной влажностью и плотностью согласно опытным данным (графики на рис. 5, а и 6, а) соответствует $L = 0,0 - 50,0 \text{ мм/м}$. Это свидетельствует о том, что каждому метру слоя соответствует осадка $0 - 5 \text{ см}$, в среднем $2,5 \text{ см}$. Но эта деформация происходит в процессе строительства плотины.

Деформация плотины при рекомендуемых показателях грунтов после наполнения водохранилища водой будет незначительной.

Однако грунты, слагающие тело плотины, в момент первой замочки (в начале наполнения водохранилища водой) будут претерпевать определенную деформацию в зависимости от величины вертикальной нагрузки (рис. 4).

График а на рис. 4 свидетельствует о том, что для выбранного грунта т. е. с $W_{исх.} = 14\%$, $\delta_{ск-исх.} = 1,80 \text{ т/м}^3$ в результате увлажнения средняя величина модуля осадки (или относительной просадочности i_m) равна $2,5 \text{ мм/м}$ или $0,25\%$, т. е. в 10 раз меньше, чем осадка в процессе возведения.

Рассматриваемый грунт (с оптимальной влажностью и плотностью), не будет давать осадки при эксплуатации, за исключением деформации, вызываемой выщелачиванием солей во время длительной фильтрации воды через тело плотины (этот вид деформации в данной работе не рассматривается). Однако наши (2) данные, а также материалы других исследователей, показали, что с увеличением давления на грунт этот вид деформации незначителен.

ВЫВОДЫ

Анализ полученных нами материалов по компрессионным испытаниям свидетельствует о том, что грунты с исходной влажностью 14% при их дополнительном увлажнении дают определенную деформацию в интервале исходной плотности $1,50$ и $1,60 \text{ т/м}^3$.

С ростом исходной плотности ($1,70; 1,80 \text{ т/м}^3$) влияние дополнительного увлажнения падает и почти приближается к нулю. Это объясняется высокой степенью водонасыщенности грунтов, достигнутой при уплотнении до замочки. Так, грунту с исходной влажностью 14% при объемных весах $1,70; 1,80 \text{ т/м}^3$ соответствует степень водонасыщенности (G) $0,66; 0,78$.

При одинаковых исходных влажностях и плотностях величина деформации при увлажнении грунта по мере увеличения нагрузки падает. В этом случае степень водонасыщенности увеличивается пропорционально росту уплотняющего грунт давления.

Установлено, что при одинаковых исходных влажностях и плотностях с повышением давления на грунт модуль осадки растет. Эта закономерность выявляется в резкой форме при низких исходных объемных весах грунта. По мере увеличения значения исходного объемного веса абсолютная величина осадки при одних и тех же обжимающих грунт давлениях падает.

Деформация в данном случае — результат главным образом механического разрушения и более плотной переупаковки грунтовых агрегатов (частиц) под действием высокого давления.

В результате опыта установлено, что грунт, уплотненный до объемного веса скелета $1,80 \text{ т/м}^3$ (при $W_{исх.} = 14 - 16\%$), отличается от других

грунтов низкими деформативными свойствами. Такой грунт мы рассматриваем как «оптимальный» и рекомендуем для возведения ядра высоконапорной плотины Нурекской ГЭС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аскар ов Х. А. О методах замочки просадочных лессовых грунтов под гидротехническими сооружениями, журн. Гидротехника и мелиорация, 1955, № 1.
2. Аскар ов Х. А. Строительные свойства лессовидных просадочных грунтов района Северного ташкентского канала, Автореферат канд. дисс., Ташкент, 1955.
3. Аскар ов Х. А. О критической влажности лессовидных просадочных грунтов, ДАН АН УзССР, 1954, № 7.
4. Денисов Н. Я. Строительные свойства глинистых пород и их использование в гидротехническом строительстве, М.—Л., Госэнергоиздат, 1956.
5. Лебедев А. Ф. Уплотнение грунтов при различной их влажности, М., Стройвоенмориздат, 1948.
6. Песиков Е. С. Рекомендуемая плотность лессовидного грунта в насыпных плотинах и дамбах, возводимых механическим уплотнением, «Вопросы гидротехники», вып. 8, Изд-во АН УзССР, 1962.
7. Рождественский Е. Д. Глинистые грунты как материал для землебитных зданий, Ташкент, Госиздат УзССР, 1959.
8. Рождественский Е. Д. О критической влажности грунта района строительства Нижне-Бозсуйской ГЭС № I при укладке его методом отсыпки грунта в воду. Бюллетень АН УзССР, г. Ташкент, 1945, № 7.
9. Сергеев Е. М. Понятие об оптимальной нагрузке уплотнения грунтов, «Вестник МГУ», 1949, № 10.
10. Фролов Н. Н. Отчет о лабораторных испытаниях на просадочность при больших давлениях лессового суглинка нарушенной структуры для ядра плотины Нурекской ГЭС, Сельскохозяйственная академия им. Тимирязева, НИИС, М., 1961.
11. Инструкция по проектированию, возведению и эксплуатации насыпных земляных плотин, Водгео, М.—Л., Стройиздат Наркомстроя, 1944.
12. Foster C. R. Reduction in Soil Strength with Increase in Density Proceeding of the American Society of Civil Engineers. Vol. 79. 1953. Separate No. 228.

Г. Л. УРМАНОВА

НЕКОТОРЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ЛЕССОВОГО ГРУНТА С ДОБАВКАМИ ДЖАРКУРГАНСКОЙ НЕФТИ ИЛИ ГУДРОНА

При использовании грунтов в строительстве нередко возникает необходимость технической мелиорации их — качественного изменения природных свойств, — в частности понижения фильтрационной способности лессовых грунтов, достаточно высокой в естественном сложении благодаря их структурным особенностям. Так, в литературе [1] отмечено, что до 75—80% потерь на фильтрацию в периодически действующих хозяйственных оросителях связано с наличием в лессовых грунтах макропор и только 20—25% потерь — с пористостью, обусловленной их гранулометрией.

В настоящее время ведутся поиски и испытания сравнительно дешевых, достаточно надежных антифильтрационных одежд для ирригационных каналов на базе местных материалов. В условиях Узбекистана целесообразно выявить возможность использования джаркурганской нефти или продуктов ее переработки в смеси с лессовым грунтом. Ряд работ [2, 3, 4] освещает некоторые свойства этой нефти и различных грунтосмесей с добавкой ее.

Опытами прошлых лет в лаборатории грунтоведения САНИИРИ (под руководством Е. Д. Рождественского) установлены оптимальные условия приготовления смесей из лессового грунта с добавкой нефтепродуктов [4], при этом за критерий пригодности смеси в соответствии с ее назначением принята величина коэффициента фильтрации. Для окончательного выбора в дальнейшем изучили строительные свойства указанных грунтосмесей с учетом факторов, воздействующих на антифильтрационные экраны в натуре (усадка, водостойкость и др.).

УСАДКА

Высыхание влажных грунтов сопровождается уменьшением их объема — усадкой. В определенных условиях усадка может вызвать трещинообразование. Глинистые грунты, разновидностью которых являются и лессовые, относятся к группе веществ [5], у которых усадка проявляется с начала удаления из них воды до достижения влажности (предела) усадки. При этой влажности грунт, находившийся в пластичном (полутвердом) состоянии, переходит в твердое и уже не меняет объема при испарении оставшейся в нем влаги.

Лессовые грунты, главным образом из-за гранулометрического и минералогического составов [6], характеризуются незначительной усадкой. Так, у отдельных авторов [6—8] наибольшая величина относительной линейной усадки равна 7—2% (опыты проведены в различных услови-

ях). Размеры усадки зависят от исходной влажности грунта, его плотности, наличия в нем солей и др.

Усадка, как всякий процесс, развивающийся во времени, обладает скоростью, на которую влияет каждый из перечисленных выше факторов, но основное значение при этом имеют условия сушки (относительная влажность, температура окружающего воздуха, перемещение его над сохнущим грунтом), а также объем грунта, подвергаемого сушке.

Усадка обычно характеризуется изменением размеров образца грунта в процессе сушки и, например линейная (U_L), выражается формулой $U_L = \frac{l_1 - l_2}{l_1} \cdot 100(\%)$, где l_1 — длина образца влажного грунта; l_2 — сухого. По данным некоторых авторов [6, 7], относительная объемная усадка определяется как $U_{об} = 3U_L$.

Для вычисления предела усадки «искусственно приготовленных образцов» (грунт с нарушенной структурой) Н. Я. Денисовым [9] предложена формула, исходящая из того, что объем испарившейся воды при сушке образца от исходной влажности w_0 до предела усадки w_y равен уменьшению объема образца; после некоторых преобразований эта фор-

мула имеет вид $w_y = w_0 - U_{об} \cdot \left(\frac{1 + \frac{w_0}{100}}{\delta_w} \right)$, где δ_w — объемный вес грунта при исходной влажности.

Данная формула, по Денисову, не применима к грунтам, в какой-то степени сохранившим структуру.

В результате формирования в грунте при сушке зон разной влажности, а затем неравномерно распределенных напряжений, в нем могут образовываться трещины. Взаимосвязь между величиной усадки и трещинообразованием не выявлена [6], но известно, что факторы, определяющие скорость усадки, влияют и на трещинообразование. Таким образом, возникновение трещин обусловлено не столько величиной усадки, сколько характером ее развития.

Наиболее четко взаимосвязь между сушкой и усадкой можно представить тогда, когда грунт нарушенной структуры содержит преимущественно связанную воду (вода водно-коллоидных пленок), при испарении которой грунтовые частицы сближаются между собой под воздействием сил молекулярного притяжения. Сближение возможно до тех пор, пока эти силы не уравниваются силами трения при соприкосновении частиц грунта. Кроме сил трения, усадке препятствуют структурные связи, возникающие в процессе сушки. В этих условиях уменьшение объема образца грунта менее объема испарившейся воды, и рассчитывать предел усадки, исходя из равенства этих объемов [9], по-видимому, неправильно, хотя сушке подвергается грунт с нарушенной структурой.

Рассмотрев вкратце сущность усадочных явлений в лессовых грунтах отметим, что изменения веса и объема проб черных вяжущих при сушке на воздухе в весенне-летний период не наблюдалось. Только в результате сушки при 105°C вес их уменьшается на 15—20% от первоначального, т. е. материалам, взятым как добавка к лессовому грунту, усадка не свойственна.

Возможны несколько путей воздействия примененных вяжущих на усадочные свойства лессового грунта: а) гидрофобизируя грунтовые частицы или их агрегаты, вяжущее может ограничить развитие водно-коллоидных пленок, а исходная влажность грунта — фактор, от которого существенно зависит величина усадки; б) вяжущее, заполняя поры, должно затруднять перемещение влаги в грунте, при этом смягчается

режим сушки; в) вяжущее способно придать хрупкому (при малых влажностях) лессовому грунту некоторую пластичность и, в результате этого, — сопротивляемость трещинообразованию.

Для выявления линейной усадки грунтосмесей и лессового грунта использовали две различные методики — А и Б. В основу обеих положен общий принцип: исходная влажность изучаемых материалов обуславливала их одинаковое физическое состояние к началу сушки, а также удобоукладываемость в формы.

А. Образцы в виде плиток изготавливали укладкой вручную в формочки (внутренние размеры: $12,5 \times 5,0 \times 1,0$ см) грунта или грунтосмеси, взятых при влажности нижнего предела текучести w_t . [10]; фиксируемая длина образца по диагоналям 10 см; ее измеряли металлической миллиметровой линейкой в процессе сушки и одновременно взвешивали образец. Ручная укладка не позволяет добиться достаточно высокой и одинаковой для различных грунтосмесей плотности образцов. Предельная ошибка определения U_L составила $\pm 17\%$.

Б. Цилиндрические образцы формовали механическим уплотнением на копре изучаемых материалов, взятых при влажности, близкой к пределу раскатывания: $w_p + (0,5 \div 1,0\%)$; размеры образцов: диаметр 5,0 см, высота $6,1 \div 5,4$ см, что соответствует $\delta_{ск} = 1,50 \div 1,70$ г/см³. Величину линейной усадки, по высоте образца, периодически фиксировали индикатором с точностью до 0,01 мм при одновременном контроле изменения влажности (по двум параллельным образцам)¹. Для наименьшего значения U_L , полученного по данной методике, возможная ошибка опыта — $\pm 10\%$.

Сушку образцов производили на воздухе при $t = 16 - 24^\circ\text{C}$. Повторность опытов трехкратная.

До определения относительной линейной усадки устанавливали значения характерных влажностей изучаемых материалов (табл. 1), которые закономерно уменьшаются с увеличением дозировки вяжущего в грунтосмеси.

Таблица 1

Материал	w_t , %	w_p , %	U_L , %	$\delta_{ск}$, г/см ³
Л. г.	27,9	18,0	5,0	1,60
Л. г. + 5% н.	26,7	15,5	5,1	1,47
Л. г. + 10% н.	24,9	14,0	5,2	1,41
Л. г. + 15% н.	22,8	11,5	5,0	1,34
Л. г. + 5% г.	27,2	—	5,0	1,45
Л. г. + 10% г.	26,0	—	5,4	1,40
Л. г. + 15% г.	24,3	—	5,1	1,29

Примечание. Здесь и в последующих таблицах л. г. — лессовый грунт; н. — нефть; г. — гудрон.

Вяжущее, частично дегидратируя грунт, как бы компенсирует некоторое количество воды, придающей грунту пластичные свойства. Нефть в этом отношении действует активнее, чем гудрон (значения w_t при добавках нефти ниже, чем при соответствующих дозировках гудрона), что объясняется большей вязкостью нефти в условиях опыта.

Данные определения U_L по методике А приведены во второй части

¹ Указанная методика применялась в практике работы лаборатории грунтоведения (И. М. Шейхет).

табл. 1, где дана также характеристика исходной плотности ($\delta_{ск}$) подвергнутых сушке образцов.

Из табл. 1 видно, что добавка в грунт нефти или гудрона не вызывает изменения величины его усадки; имеющиеся же отклонения не выходят за пределы ошибки опыта. Следует однако отметить, что представленные в таблице величины U_d грунтосмесей несколько завышены, так как при сушке образцы изгибались выпуклостью вниз (тем больше, чем выше дозировка вяжущего в грунтосмеси), длину же фиксированного отрезка по мере сушки измеряли длиной хорды, а не дуги, тем самым завышая фактическую величину усадки. С ростом дозировки вяжущего поправка на изгиб образца должна возрастать, а истинная величина U_d соответственно падать. В результаты рассматриваемых опытов указанная поправка не была введена, так как полученные величины U_d трудно сравнивать из-за различия $\delta_{ск}$ образцов.

Существенной разницы в продолжительности усадки грунта и грунтосмесей в условиях опыта не отмечено: она заканчивалась на вторые сутки с начала сушки (возможна разница в несколько часов, не зафиксированная из-за отсутствия замеров в ночное время).

Для подтверждения высказанного выше предположения о влиянии структурных связей на усадочную деформацию подсчитана величина предела усадки изученных образцов по приведенной выше формуле: для лессового грунта w_{y^p} равна 18,8%; для лессового грунта плюс 5—10—15% нефти — соответственно 17,0; 13,8; 11,5%; для лессового грунта плюс 5; 10; 15% гудрона — 17,1; 13,7; 13,5%.

Фактические величины $w_{y^ф}$ можно относительно точно определить по кривым усадки. Не приводя их для опытов по методике А отметим, что для рассматриваемых образцов $w_{y^ф} = 4—6\%$. Это значительно меньше полученных расчетом w_{y^p} , т. е. лессовый грунт и грунтосмеси, сформованные в образцы, в процессе сушки ведут себя как грунтовая система, в которой весьма существенна роль структурных связей, а вследствие этого равенства объемной усадки объему испарившейся воды не обнаружено.

Отдельные образцы из лессового грунта во время сушки трескались (трещины поперечные на всю толщину образца), хотя были предусмотрены меры, смягчающие трещинообразование: достаточно мягкий режим, возможность свободного отделения образца от стенок формы. Образцы из грунтосмесей при сушке не трескались, а, как указывалось выше, изгибались, — по-видимому, результат более быстрого высыхания поверхностного слоя, с одной стороны, и сохранения пластичных свойств у подсушенного образца, — с другой.

Методика Б применена к грунтомесям из лессового грунта с добавками нефти при варьировании плотности образцов. Величины U_d , % представлены в табл. 2.

Относительная линейная усадка образцов лессового грунта, сформованных при влажности w_p , значительно меньше (при $\delta_{ск} = 1,60 \text{ г/см}^3$, примерно, в 10 раз), чем у образцов, изготовленных при w_t , по методике А. Для грунтосмесей эту зависимость U_d от исходной влажности можно

численно охарактеризовать только для грунта с добавкой 5% нефти: при близких значениях $\delta_{ск}$ относительная линейная усадка с уменьшением влажности формования от w_t до w_p снизилась, примерно, в 20 раз. При

Таблица 2

Материал	$\delta_{ск}, \text{ г/см}^3$		
	1,50	1,60	1,70
Л. г.	0,33	0,45	0,91
Л. г. + 5% н.	0,24	0,36	0,88
Л. г. + 10% н.	0,17	0,58	—
Л. г. + 15% н.	0,18	—	—

более высоких дозировках нефти эта зависимость сохраняется, но цифровая оценка ее невозможна из-за несоответствия $\delta_{ск}$ образцов, сформованных при разных влажностях.

Выявлена четкая взаимосвязь линейной усадки с плотностью образцов (по $\delta_{ск}$): чем выше $\delta_{ск}$ тем более $U_{л.}$

Повышение добавки нефти до некоторого предела сопровождается снижением величины $U_{л.}$

При соблюдении одинаковых температурных условий и равных $\delta_{ск}$ образцов время усадочной деформации удлиняется с повышением содержания нефти в образце. Так, продолжительность усадки (в сутках) выглядит следующим образом:

$\delta_{ск}, \text{г/см}^3$	лессовый грунт	грунт+5% нефти	грунт+10% нефти	t воздуха, °C
1,60	4,9	5,4	5,7	16—18
1,70	4,2	5,2	—	24—25

Таблица 3

Продолжи- тельность сушки, сутки	$\delta_{ск}=1,50 \text{ г/см}^3; t=18-20^\circ$			$\delta_{ск}=1,60 \text{ г/см}^3; t=16-18^\circ$			$\delta_{ск}=1,70 \text{ г/см}^3; t=24-25^\circ$	
	Л. г., $w_{исх}=18,9\%$	Л. г.+5% н., $w_{исх}=14,0\%$	Л. г.+10% н., $w_{исх}=14,0\%$	Л. г., $w_{исх}=18,9\%$	Л. г.+5% н., $w_{исх}=14,8\%$	Л. г.+10% н., $w_{исх}=14,7\%$	Л. г., $w_{исх}=19,2\%$	Л. г.+5% н., $w_{исх}=16,7\%$
1	8,68	8,95	8,61	7,43	7,52	7,35	14,85	14,35
2	10,88	9,24	8,98	11,0	9,95	9,33	14,65	10,27
3	8,57	4,01	3,75	9,73	4,52	4,32	2,22	2,03
4	4,72	3,08	3,13	3,60	2,04	2,17	0,51	0,97
5	0,11	0,10	0,23	0,12	0,32	0,43	0,10	0,42
6	0,11	0,10	0,23	0,12	0,32	0,43	0,07	0,29
Всего	32,96	25,38	24,70	31,88	24,35	23,60	32,40	28,33

Это согласуется с изменением интенсивности испарения воды из грунта при смешении его с нефтью: с увеличением ее содержания испарение становится несколько равномернее на протяжении развития усадочной деформации, т. е. тоже как бы растягивается во времени. В табл. 3 приведены результаты нескольких опытов — уменьшение веса образцов (в г) по суткам. Для устранения влияния различий в исходной влажности дополнительно выбраны образцы с одинаковой исходной влажностью при разных дозировках нефти.

Как видно из табл. 3, суммарное количество испарившейся из образцов влаги падает с повышением содержания нефти в них даже при раз-

ных значениях $w_{исх}$. В опытах основной серии это проявлялось еще резче, так как $w_{исх}$ образцов понижается с увеличением содержания нефти.

Подсчитанные по формуле величины w_y^p существенно отличались от значений w_y^* 18—12% против 2—4%, определенных по кривым усадки (рис. 1).

Образование трещин по окружности образца отмечено в

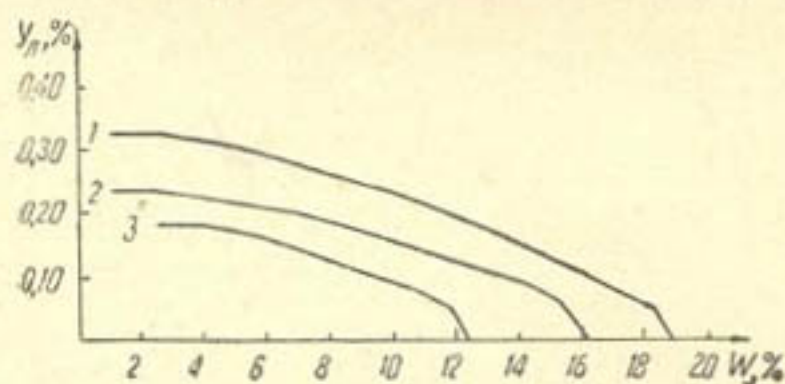


Рис. 1. Кривые усадки одной серии опытов ($\delta_{ск}=1,50 \text{ г/см}^3$) по методике Б: 1 — лессовый грунт; 2 — лессовый грунт + 5% нефти; 3 — лессовый грунт + 15% нефти.

опытах с наибольшими значениями $U_{л.}$ (лессовый грунт и грунтосмесь с 5%-ной добавкой нефти при $\delta_{ск}=1,70 \text{ г/см}^3$), проводившихся при несколько более высокой температуре воздуха (24—25° вместо 16—20°).

Главное достоинство методики А — возможность получить образцы для сушки довольно высокой влажности (w_T), которая обуславливает гораздо большее, чем при w_p , развитие водноколлоидных пленок в момент формования, формирование структур меньшей прочности и в результате большую усадочную деформацию. Слабые стороны этой методики — сравнительно малая точность определения U_d и невозможность варьирования плотностью образцов.

При рассмотрении развития усадки образцов в опытах по одной методике А (устранено различие исходных структур) также видна существенная роль исходной влажности. Например, при сушке от w_T до w численно равной пределу раскатывания (снижение влажности на 10—11%), усадка достигает 80% всей величины, а дальнейшая сушка до w_v (снижение влажности еще на 10—12%) обуславливает только 20% ее.

Методика Б, обладающая большей точностью определения U_d , является главным образом второй, наименее значимый этап.

Сказанное выше равносильно для грунтосмесей и лессового грунта. Поэтому их образцы при сушке следует рассматривать как грунт структурный, в котором изменение объема не соответствует объему испарившейся воды, а обусловлено в основном сформировавшимися к данному моменту структурными связями и для которого, по Денисову, предел усадки не может быть определен по формуле.

Рост усадочной деформации с повышением плотности образцов, проявившийся в лессовом грунте и грунтосмесях, закономерен. Первопричиной усадки являются силы взаимного притяжения грунтовых частиц (первичное сцепление, по Денисову); величина этих сил тем больше, чем ближе взаимно расположены частицы, т. е. чем выше плотность образца. Внесение в грунт нефти — 5—15% по весу — не нарушило отмеченной закономерности.

Неоднозначное влияние различных дозировок нефти на величину усадки лессового грунта в условиях равной плотности, по-видимому, объясняется следующим образом. Повышение дозировки обуславливало в опыте меньшую исходную влажность, но несколько ослабляло прочность образца; первое обстоятельство способствовало снижению усадочной деформации, оно ощутимее при малых дозировках и плотностях; второе — ослабляло этот эффект тем больше, чем выше дозировка нефти и плотность образца.

В целом величины относительной линейной усадки при сушке от w несущественные, поэтому и различия между ними представляют только теоретический интерес.

Добавка изученных вяжущих в лессовый грунт ослабляет трещинообразование благодаря ряду явлений: достигается необходимая удобоукладываемость материала при более низкой исходной влажности, что вызывает меньшую усадку; испарение из грунтосмесей происходит более равномерно и смягчает режим сушки; формирующиеся структурные связи пластичны и способствуют проявлению изгиба, а не разрыва материала.

При прочих равных условиях трещинообразование в грунтосмесях, как и в лессовом грунте, — функция режима сушки: меняя последний можно в значительной степени ослабить или предотвратить возникновение трещин.

ВОДОСТОЙКОСТЬ

Размокаемость — свойство глинистых грунтов при впитывании воды терять связность и превращаться в рыхлую массу с полной потерей несущей способности [11].

Еще М. М. Филатов [12] считал, что основа этого явления — способность высокодисперсных частиц поглощать воду, т. е. гидратироваться. Опыты Н. Я. Денисова [13] также доказали основную роль в размокаемости грунтов адсорбционных процессов, т. е. гидратации грунтовых частиц, а следовательно, и всех факторов, ее обуславливающих.

Определенное влияние на размокаемость должны оказать и структурные связи грунтового образца, обладающие большей или меньшей водостойкостью.

Испытанию на размокаемость были подвергнуты кубики размером $3 \times 3 \times 3$ см, вырезанные из образцов лессового грунта и грунтосмесей различных влажности и плотности.

Показатели размокаемости (табл. 4) выявляют крайне слабую водостойкость лессового грунта (время полного распада образцов измерялось минутами).

Таблица 4

Материал	Влажность уплотнения, %	Продолжительность наблюдения	Характер разрушения
$\delta_{ск} = 1,50 \text{ г/см}^3$			
Л. г.	19	4 мин.	Кубик разрушился полностью
Л. г. + 5% н.	14	Около 1 суток	То же
Л. г. + 5% н.	17	12 суток	На сетке осталась ~ 1/8 часть кубика
Л. г. + 10% н.	14	8 мес.	На сетке осталась ~ 1/3 часть кубика
Л. г. + 15% н.	12	8 мес.	Кубик сохранил форму и объем
$\delta_{ск} = 1,60 \text{ г/см}^3$			
Л. г.	10	4 мин.	Кубик разрушился полностью
Л. г.	14	2,5 "	То же
Л. г.	19	3 "	То же
Л. г. + 5% н.	15	3 суток	То же
Л. г. + 5% н.	18	3 "	На сетке осталось ~ 2/3 части кубика
Л. г. + 10% н.	10	Около 1 суток	Кубик полностью сохранил форму
Л. г. + 10% н.	14	8,5 мес.	Кубик сохранил форму и объем
$\delta_{ск} = 1,70 \text{ г/см}^3$			
Л. г.	20	24 мин.	Кубик разрушился полностью
Л. г. + 5% н.	17	7,5 мес.	Перекося граней кубика, появление трещин, но явное разрушение (распад) отсутствует

Внесение малой дозировки нефти (5%) при $\delta_{ск} = 1,50—1,60 \text{ г/см}^3$ повышает продолжительность распада до 1—12 суток (в зависимости от w уплотнения); при $\delta_{ск} = 1,70 \text{ г/см}^3$ распада не произошло и через 7,5 мес. Большие дозировки увеличивают водостойкость образцов еще резче, причем чем выше плотность грунтосмеси, тем меньшая добавка нефти делает ее неразмокаемой (в пределах указанных сроков наблюдения): для $\delta_{ск} = 1,50 \text{ г/см}^3$ дозировка 15%; для $\delta_{ск} = 1,60—1,70$; $\delta_{ск} = 1,70—5$. Уплотнение лессового грунта чрезвычайно мало изменяет его водостойкость.

Несколько опытов с образцами разной влажности уплотнения при 5%-ной дозировке нефти установили увеличение водостойкости с повышением w уплотнения.

Влияние добавок нефти на снижение размокаемости лессовых грунтов, по-видимому, объясняется гидрофобными свойствами нефти, которая

в смеси с грунтом снижает и его гидрофильность. В виде пленок на поверхности грунтовых частиц и агрегатов нефть затрудняет их гидратацию при погружении образца в воду; блокируя поры грунтовой смеси, она замедляет проникновение воды внутрь образца и выход из него воздуха; определенную роль в большей водостойкости грунтовых смесей играет вязкость нефти, повышающая связность грунта и затрудняющая его разрушение (распад).

Увеличение содержания нефти в грунтовых смесях и повышение их плотности усиливает эффект этого разнообразного воздействия.

Для выяснения устойчивости приобретенного при уплотнении коэффициента фильтрации k применена длительная фильтрация воды через образцы из грунтовых смесей.

Образцы в фильтрационных приборах были оставлены, примерно, на год под непрерывным фильтрационным током дистиллированной воды при напорном градиенте $I \approx 7$. Периодически раз в месяц определяли коэффициент фильтрации.

Динамика его выявлена для образцов из лессового грунта с добавками 5—15% нефти или гудрона, уплотненных при разных влажностях до разных значений $\delta_{ск}$.

Данные опытов с некоторыми образцами из нефтегрунта приведены на рис. 2.

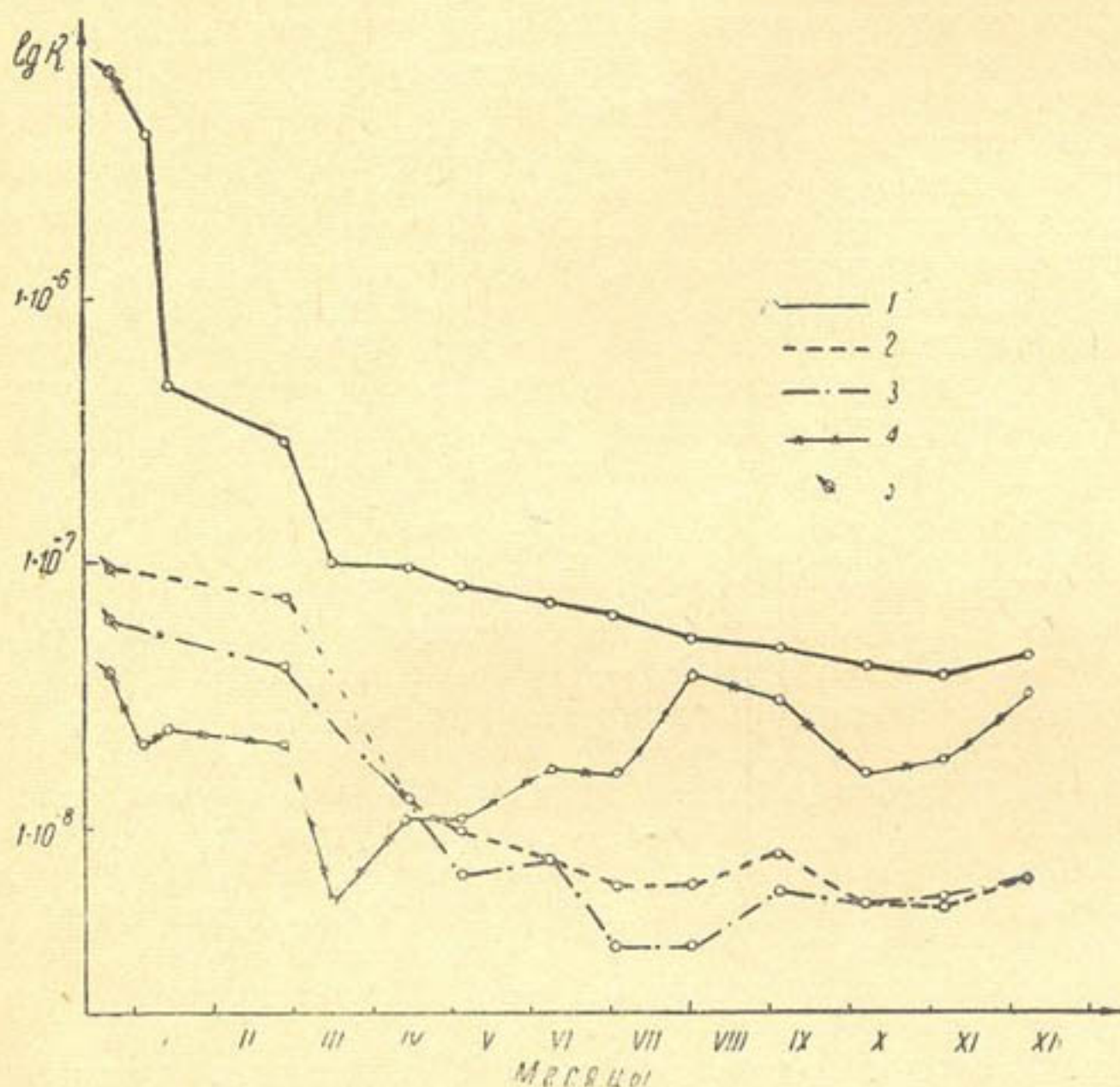


Рис. 2. Изменение коэффициента фильтрации во времени при длительной фильтрации воды через образцы из нефтегрунта:

1 — грунт + 5% нефти, $W_{упл.} = 18\%$; $\delta_{ск} = 1,50 \text{ г/см}^3$; 2 — грунт + 10% нефти, $W_{упл.} = 10\%$; $\delta_{ск} = 1,60 \text{ г/см}^3$; 3 — грунт + 10% нефти, $W_{упл.} = 14\%$; $\delta_{ск} = 1,60 \text{ г/см}^3$; 4 — грунт + 15% нефти, $W_{упл.} = 18\%$; $\delta_{ск} = 1,40 \text{ г/см}^3$; 5 — значения k до начала длительной фильтрации.

Для большинства образцов достаточно четко выявилась тенденция к убыванию во времени величины k ; а в самом неблагоприятном случае, при $\delta_{\text{ск}} = 1,40 \text{ г/см}^3$ она оставалась на первоначальном уровне.

Характер изменения коэффициента фильтрации скачкообразный, что, по-видимому, свойственно лессовым разностям. Подобный характер явления отмечался в лессовых грунтах ненарушенного [14] и нарушенного [6] сложения при длительной фильтрации под нагрузкой, где главной причиной его было нарушение солевых цементационных связей, приводящее к дезагрегации грунта и последовательной переупаковке частиц.

В наших опытах, вследствие слабой засоленности лессового грунта, выщелачивание солей может быть лишь одним из факторов, обуславливающих скачкообразный характер изменения величины k ; более существенное воздействие на структуру образца, нам кажется, может оказать сам фильтрационный поток в условиях значительных напорных градиентов. Очевидно, прохождение воды через дисперсную среду, какой является грунт, неизбежно сопровождается отрывом отдельных грунтовых частиц, перемещением их в пределах агрегатов образца и некоторой дезагрегацией грунта (результат размягчения глинистого цемента, растворения воднорастворимых солей). Все это приводит к изменению, конечно не плавному, структуры грунта, а значит и обусловленной ею водопроницаемости.

Введение вяжущего в лессовый грунт несколько сглаживает, но не предотвращает скачкообразного характера изменения величины k .

Тенденция к уменьшению во времени водопроницаемости грунтосмесей, отмеченная в большинстве опытов, — показатель того, что совокупность перечисленных выше и некоторых, не учитываемых нами, факторов воздействия фильтрационного тока не вызывает увеличения водопроницаемости образцов.

Это относится ко всем испытанным грунтосмесям независимо от их плотности, влажности уплотнения, рода вяжущего и его дозировки.

Отмеченный в отдельных опытах незначительный вынос вяжущего профильтровавшейся водой, по-видимому, обусловлен смывом его (всплыванием) с внешней поверхности образца; отсутствие повышения водопроницаемости грунтосмеси позволяет заключить, что процесс вымыва на глубокие слои не распространяется.

ВЫВОДЫ

Внесение в лессовый грунт джаркурганской нефти или гудрона в количестве 5—15% от веса сухого грунта уменьшает усадочную деформацию и связанные с ней явления — трещинообразование и др.

Действующие методики по определению усадки грунтов не позволяют моделировать процесс сушки образцов от полного водонасыщения до предела усадки, с которым приходится сталкиваться при анализе причин трещинообразования в грунтах в условиях ирригационного строительства; несмотря на многократно установленное влияние исходной влажности на усадочную деформацию, наиболее точные приемы замера усадки применимы только к образцам сравнительно низкой влажности, сушка которых выявляет лишь незначительную долю возможной усадки и ее последствий.

Размокаемость образцов грунтосмесей из лессового грунта с добавками нефти несравненно меньше, чем образцов без добавок.

В условиях воздействия на образцы грунтосмесей (лессовый грунт с добавками нефти или гудрона) длительной фильтрации при относительно высоких напорных градиентах водопроницаемость их не увеличилась; это позволяет говорить о достаточно устойчивом антифильтрационном эффекте указанных материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рачинский А. А. Состояние и перспективы работ по изучению потерь воды и повышению к. п. д. среднеазиатских оросительных систем, в кн. «Способы борьбы с потерями воды на фильтрацию из прудов, водоемов и оросительных каналов», М., Сельхозгиз, 1956.
 2. Ходжаев Г. Х. и др. Нефти Узбекистана, Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1958.
 3. Бурнаев Н. Л. Гравийно-нефтяные дорожные покрытия Узбекистана, Ташкент, Госиздат, 1961.
 4. Урманова Г. Л., Талабаев К. Т. К вопросу о возможности использования джаркурганской нефти и продуктов ее переработки для снижения водопроницаемости лессовых грунтов, ДАН УзССР, 1962, № 9.
 5. Лыков А. В. Теория сушки, М.—Л., 1950.
 6. Рождественский Е. Д. Физико-технические свойства лессовых грунтов Узбекистана, Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1960.
 7. Песиков Е. С. Исследование усадки уплотненных лессовых грунтов, Труды САНИИРИ, вып. 109, 1960.
 8. Шейхет И. М. Влияние изменения структуры лессовых грунтов в процессе уплотнения на их усадку, ДАН УзССР, 1961, № 3.
 9. Денисов Н. Я. Изучение объемной усадки грунтов, «Дорога и автомобиль», 1937, № 8.
 10. Васильев А. М. Основы современной методики и техники лабораторных определений физических свойств грунтов, М., 1953.
 11. Чаповский Е. Г. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов, М., 1958.
 12. Сергеев Е. М. Грунтоведение, М., Изд-во МГУ, 1959.
 13. Денисов Н. Я. Строительные свойства глинистых пород и их использование в гидротехническом строительстве, М., Госэнергоиздат, 1956.
 14. Рождественский Е. Д. и Урманова Г. Л. Поведение лессовых грунтов в условиях вымыва солей, Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1955, № 9.
-

Е. С. ПЕСИКОВ

О ПОКАЗАТЕЛЕ КОЛЛОИДНОЙ АКТИВНОСТИ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ УЗБЕКИСТАНА

За показатель коллоидной активности глинистых грунтов А. В. Скемpton [1] предложил принять отношение числа пластичности к процентному содержанию глинистой фракции, т. е.

$$\Pi = \frac{W_p}{\Gamma}.$$

По его мнению, к глинистой фракции грунта относятся частицы, размером менее 0,002 мм; по В. А. Приклонскому [3] и др., — 0,005 мм. Точку зрения Скемптона поддерживает Н. Я. Денисов [2].

Расчеты показывают, что при укладке частиц грунта, имеющих шаровидную форму, в правильную кубическую систему удельная поверхность грунта равна 0,63 и 1,57 м² при диаметре частиц соответственно 0,05 и 0,002 мм.

Удельная поверхность грунта обратно пропорциональна диаметру частиц, т. е. при уменьшении диаметра частиц в 2,5 раза (с 0,005 мм до 0,002 мм) удельная поверхность возрастает также в 2,5 раза — с 0,63 м² до 1,57 м². Но в грунте глинистые частицы полидисперсны, поэтому полученные величины — лишь наименьшие пределы возможной реальной удельной поверхности, причем они близки между собой. В связи с этим, мы присоединяемся к мнению В. А. Приклонского и др., полагая, что при определении показателя коллоидной активности за верхнюю границу глинистой фракции следует принимать величину 0,005 мм. Это облегчает обработку результатов опытов, так как при механическом анализе в отечественных грунтовых лабораториях обычно выделяют фракции размером 0,005—0,001 мм и менее 0,001 мм; меньше 0,002 мм в этих анализах, как правило, не выделяют.

По показателю коллоидной активности глинистые грунты Скемptonом разбиты на три группы: неактивные глины — $\Pi < 0,75$; нормальные — $0,75 < \Pi < 1,25$; активные — $\Pi > 1,25$.

Хотя лессовые грунты Узбекистана (лессовидные супеси и суглинки) и относятся к глинистым, они своеобразны. В зерновом составе таких грунтов преобладают пылеватые частицы, представленные главным образом кварцем. Глинистая фракция по объему небольшая: содержание ее колеблется главным образом в пределах 4—16%, а в минералогическом составе этой фракции преобладает относительно слабо гидрофильный минерал — каолинит [4]. Исследования [1, 3] показали, что если глинистая фракция грунта представлена каолинитом, то такой грунт относится к группе неактивных глин.

В солевом комплексе лессовых грунтов Узбекистана большой удельный вес занимают соли кальция, действующие коагулирующим обра-

зом на коллоидную часть глинистой фракции и создающие цементационные связи между отдельными частицами. Этим, по-видимому, и объясняется то, что по данным отдельных авторов [4], в большом количестве разностей лессовых грунтов Узбекистана значительная часть их коллоидной составляющей находится в свернутом, т. е. наименее активном, состоянии; отсюда показатель коллоидной активности грунтов может быть незначительным.

Вместе с тем, наличие в лессовых грунтах большого количества тонкодисперсного кварца должно оказывать большое влияние на различные свойства этих грунтов, в частности на их активность. Об этом свидетельствуют работы И. В. Гребенщикова [6], который установил, что тонкодисперсные природные и искусственные кремниевые соединения, в том числе кварц, энергично реагируют с водой, в результате чего на их поверхности образуется слой коллоидной кремниевой кислоты.

Коллоидная пленка набухает при дальнейшем увеличении влажности грунта и сжимается при его высыхании. Она может выполнить роль клея, скрепляющего между собой частицы грунта и, таким образом, повышающего его «активность». Одним из показателей такой «активности» лессовых грунтов может служить предел прочности при сжатии.

По результатам наших исследований [5], предел прочности при сжатии уплотненных в условиях оптимальной влажности и высушенных до воздушно-сухого состояния лессовых грунтов имеет достаточно высокие значения (таблица).

Характеристика различных образцов лессовых грунтов Узбекистана

Номер образца	Пределы пластичности, %		Число пластичности (W_p), %	Содержание глинистой фракции (Γ), %	$\Pi = \frac{W_p}{\Gamma}$	Предел прочности при сжатии, кг/см^2
	верхний	нижний				
1	25	18	7	21,6	0,325	
2	23	18	5	16,1	0,311	69
3	24	18	6	22,8	0,263	
4	29	23	6	14,0	0,428	53
5	28	23	5	14,7	0,340	
6	26	23	3	15,3	0,196	51
7	26	20	6	15,2	0,395	70
8	25	19	6	19,9	0,303	
9	32	21	11	28,5	0,386	64
10	24	21	3	16,0	0,187	54
11	24	20	4	17,2	0,232	
12	22	17	5	11,1	0,450	
13	23	19	4	17,0	0,235	65
14	22	18	4	13,0	0,266	32
15	23	20	3	15,0	0,200	
16	26	21	5	15,2	0,260	42
17	22	16	6	18,9	0,316	
18	21	16	5	20,1	0,248	76
19	22	18	4	14,6	0,277	59
20	20	17	3	15,5	0,193	
21	18	16	2	14,2	0,141	59
22	31	18	13	19,2	0,678	64
23	32	19	13	11,0	1,175	56
24	29	21	8	14,4	0,555	36
25	33	22	11	26,1	0,439	45
26	32	21	11	14,9	0,740	42
27	28	16	12	14,8	0,810	60
28	29	22	7	9,5	0,740	88
29	31	19	12	16,5	0,728	51
30	22	16	6	19,5	0,308	43
31	22	15	7	21,5	0,326	52
32	25	18	7	20,5	0,341	32

Из данных таблицы видно, что лишь в двух случаях из 32 величина показателя коллоидной активности $P > 0,75$; в остальных случаях $P < 0,75$.

Экспериментальные исследования подтвердили теоретические предпосылки о малом значении показателя коллоидной активности лессовых грунтов Узбекистана. По классификации Скемптона лессовые грунты Узбекистана относятся к неактивным глинистым грунтам. Тем не менее, они обладают высокой механической прочностью: предел прочности при сжатии — $32—88 \text{ кг/см}^2$. При этом более половины изученных образцов (61%) имеют предел прочности при сжатии более 50 кг/см^2 . По исследованиям Н. А. Попова [7] такой прочностью обладают тяжелые суглинки и даже глины. Для глин, по его мнению, диапазон изменения предела прочности — $56—90 \text{ кг/см}^2$ и более.

Образование коллоидных пленок кремниевой кислоты и наличие адсорбционных процессов на поверхности тонкодисперсного кварца, составляющего основную массу лессовых грунтов Узбекистана, ведут к значительному повышению активности этих грунтов. Следовательно, своеобразие вещественного состава обуславливает проявление лессовыми грунтами, уплотненными при оптимальной влажности и высушенными до воздушно-сухого состояния, высокой механической прочности.

Материалы опытов указывают на отсутствие какой-либо закономерной связи между значениями показателя коллоидной активности и пределом прочности при сжатии уплотненных лессовых грунтов.

Следовательно, активность лессовых грунтов Узбекистана нельзя характеризовать только по показателю коллоидной активности. Однако знание этого показателя полезно, так как его величина, как отмечал Скемптон, указывает и на минералогический состав глинистой фракции грунта. Так, с точки зрения Скемптона, имеющиеся в таблице значения показателя коллоидной активности 32 разновидностей отобранных в различных районах Узбекистана лессовых грунтов свидетельствуют о преобладании каолинита в их глинистой фракции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Skempton A. W. The colloidal activity of clays. Proceedings of the Third International Conference on Soil, Mechanics and Foundation Engineering. Vol. 1., 1953.
2. Денисов Н. Я. Строительные свойства глинистых пород и их использование в гидротехническом строительстве, М.—Л., Госэнергоиздат, 1956.
3. Приклонский В. А. Грунтоведение, Издание II, М., Госгеолтехиздат, 1949.
4. Рождественский Е. Д. Физико-технические свойства лессовых грунтов Узбекистана, Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1960.
5. Песиков Е. С. Лессовые грунты Голодной степи как материал для возведения землебитных зданий, Труды САНИИРИ, вып. 98, 1958.
6. Гребеншиков И. В. Химические реакции на поверхности силикатов и их значение для техники, М., Известия АН СССР, отдел техн. наук, 1937, № 1.
7. Попов Н. А. Грунтотматериалы в строительстве зданий, М., Стройиздат, 1944.

Х. А. АСКАРОВ, Х. Н. ХАМИДОВ

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПОДГОТОВКЕ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЯ ЗЕМЛЯНОЙ ПЛОТИНЫ ЧИМКУРГАНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Ранее в своей работе [3] мы приводили результаты лабораторных испытаний грунтов основания плотины Чимкурганского водохранилища, проведенных для изучения физико-технических свойств грунтов и определения ожидаемой величины их просадки.

Настоящая работа посвящена исследованиям, осуществленным нами в 1959—1961 гг. на строительстве указанной выше плотины, возведенной на сильно просадочных грунтах.

Главная цель экспериментов — разработка методов подготовки оснований земляных плотин на просадочных грунтах и проверка результатов лабораторных испытаний в натурных условиях.

Для подготовки оснований сооружений, строящихся на просадочных грунтах, применяют метод предварительной замочки. Но технология его еще не ясна. Поэтому в нашу задачу входило уточнение метода подготовки оснований, сложенных из слабых (просадочных) грунтов, а также проверка в натурных условиях правильности метода прогнозирования размера ожидаемой просадки, разработанного в САНИИРИ [2, 3, 5]. Кроме того, проведены некоторые опыты для решения специальных вопросов, в частности о наличии или отсутствии боковых сдвигов, трещинообразования в массиве просадочных грунтов в процессе просадки и др.

МЕТОД ПОДГОТОВКИ ОСНОВАНИЙ, СЛОЖЕННЫХ ИЗ СЛАБЫХ (ПРОСАДОЧНЫХ) ГРУНТОВ

Как отмечалось выше, подготовка оснований сооружений, сложенных из просадочных грунтов, ведется методом предварительной замочки, и технология ее зависит от следующих факторов:

- 1) сроки замочки оснований сооружений в зависимости от мощности и водопроницаемости просадочных грунтов;
- 2) определения верхней зоны толщи грунта, не подвергавшегося деформациям в процессе замочки;
- 3) установления площади основания плотины, которую необходимо подвергать замочке.

Мы установили, что грунты левого борта Чимкурганского водохранилища в районе ПК20+100 до глубины 19 м просадочные. Общая мощность их до уровня грунтовых вод на этом участке 31 м. В таких условиях основная просадка (первый этап развития просадки, вызываемый немедленным смачиванием просадочной толщи) проявлялась в течение 3 мес.

Грунты правого борта водохранилища (район ПК 58+00) оказались просадочными до глубины 10 м. Общая мощность до уровня грунтовых вод равна 20 м. Здесь основная просадка происходила в течение 2 мес.

Второй этап просадки, вызываемый выщелачиванием солей под воздействием фильтрационного потока через толщу просадочных грунтов, протекает очень медленно (процесс длительный); данные его мы здесь не приводим.

В результате систематических нивелировок поверхностных марок, установленных на различных точках замачиваемого участка, получены кривые зависимости $H=f(T)^*$, дающие возможность охарактеризовать динамику развития просадочных деформаций. Скорость проявления просадок в разных точках опытного участка оказалась различной, что объясняется плановым расположением (различные террасы) и другими условиями замочки. В условиях, эквивалентных состоянию Чимкуртанских грунтов (т. е. когда одинаковы или близки степень просадочности, мощность грунтов, глубина расположения уровня грунтовых вод и т. д.), продолжительность замочки около 2—3 мес. для правого и левого бортов соответственно.

Испытаниями в лаборатории установлено, что при предварительной замочке не вся мощность толщи просадочных грунтов Узбекистана дает просадку под собственным весом. Верхняя часть толщи до глубины 3—5 м перемещается вниз, мало нарушаясь в своей структуре, и является как бы пригрузкой для нижних горизонтов толщи [1]. Это объясняется малой величиной бытового (природного) давления для указанных глубин.

В результате полевых — натурных исследований, проверенных на строительстве Чимкуртанского водохранилища, величина вышеуказанной верхней недоуплотненной части на отдельных участках основания доходит до 7—8 м. Это иллюстрируется влажностью и плотностью грунтов после замочки, приводимыми для участка ПК 18 левого борта основания плотины (табл. 1).

Из данных табл. 1 видно, что грунты имели достаточную влажность для проведения просадки, однако практически это не наблюдалось.

Таблица 1

Глубина взятия об- разца, м	Естественная влажность грунта, %	Объемный вес скелета грунта, т/м ³	Степень водонасы- щенности, G
1	15,0	1,35	0,47
2	15,7	1,41	0,47
3	18,8	1,40	0,475
4	20,4	1,38	0,58
5	25,5	1,41	0,76
6	28,6	1,42	0,86
7	28,0	1,44	0,88
8	31,0	1,42	0,94
9	29,0	1,36	0,80

Примечание. Восьмой и девятый метры шурфа пройдены с откачкой воды фильтрационного бугра, не успевшего растечь после замочки.

В подобных случаях необходимы специальные мероприятия, с помощью которых можно качественно подготовить основания с учетом наличия верхней, не подвергавшейся деформации, части грунтовой толщи в процессе замочки: а) переработка верхней зоны слабых грунтов, не подвергавшихся деформации в процессе замочки (если мощность их не превышает 3—5 м); б) частичная переработка и ударное уплотнение оставшейся зоны (если мощность более 3—5 м); в) проектирование тела плотины гибким методом (т. е. отсыпкой грунта в воду или «намывом»), если мощность недоуплотненного слоя превышает 3—5 м.

Размеры площади основания сооружений, которую необходимо подвергнуть замочке, определяются в зависимости от характера разви-

* H — величина фактической просадки, см; T — период замочки, мес.

тия просадочной деформации, зоны увлажнения, просадочной толщи и трещинообразования.

Для уточнения характера распространения увлажнения в грунтовой толще при ее замочке мы использовали данные пьезометрических наблюдений, а также специально заложили шурфы на одном из характерных участков замочки.

Шурфы закладывали в створе, расположенном нормально по отношению к чекам (делянкам) замачиваемой территории (к оси плотины).

Через 45 дней после опорожнения делянок водой закладывали 2 шурфа против делянки 1 (ПК 18+25) на расстоянии 2 и 12 м от уреза воды в делянке.

Построив кривую депрессии, по полученным данным обнаружили, что увлажнение за пределом замочки характеризуется кривой, крутизна которой (в средней части) с поверхностью земли составляет 45° . Боковое перемещение зоны увлажнения при ширине замачиваемой территории 200 м равно 42 м (около 20% от ширины замачиваемой территории); а при ширине замочки 274 м и глубине залегания уровня грунтовых вод 20 м — 76 м, или 28% (рис. 1).

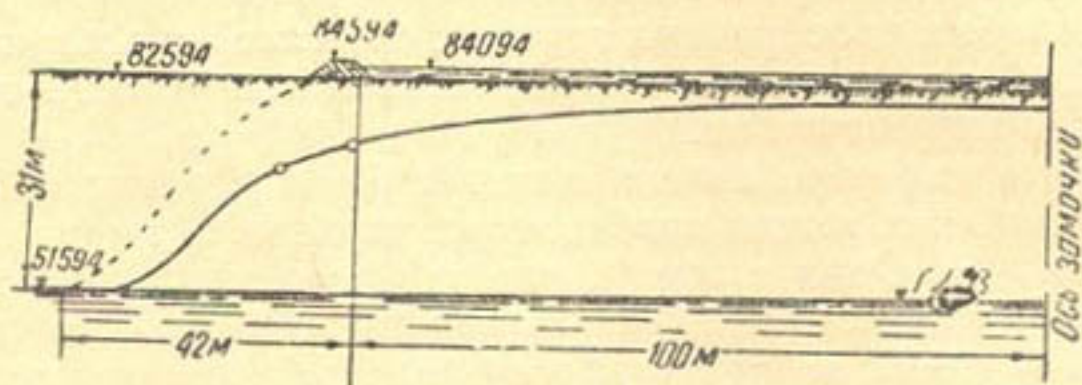


Рис. 1. Схема развития зоны увлажнения грунтов в результате замочки (при вычерчивании кривой депрессии использованы данные шурфов № 15 и 16).

Следовательно, в одном случае на расстоянии до 42 м, в другом 76 м от основания плотины в сторону верхнего и нижнего бьефов могут образоваться просадочные трещины, идущие вдоль и поперек плотины. Подобные трещины недопустимы на таком близком расстоянии от сооружения, так как могут вызвать его разрушение.

Для обеспечения надежности сооружений, возводимых на просадочных грунтах, необходимо принимать меры, по удалению просадочных трещин, проходящих в непосредственной близости от сооружения. Например, увеличив площадь замочки до 3-кратной ширины основания, можно добиться удаления просадочных трещин с 2 сторон (со стороны верхнего и нижнего бьефов) на расстояние, равное одной ширине сооружений по основанию.

ПРОВЕРКА ПРАВИЛЬНОСТИ МЕТОДИКИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Метод прогнозирования ожидаемых просадочных деформаций разработан Х. А. Аскаровым в 1951 г. в лаборатории грунтоведения Института сооружений АН УзССР [5]. С тех пор в лаборатории получены прогнозы для ряда крупных гидротехнических объектов: Северного ташкентского канала (1951—1953 гг.), Туябугузского (1956 г.), Южно-Сурханского (1957 г.) и Чимкурганского (1959—1961 гг.) водохранилищ. Применительно к строительству Чимкурганского водохранилища мы провели следующие работы: 1) оснащение опытного участка; 2) наблюдение за развитием фактической просадки (за марками); 3) сопоставление данных лабораторного прогнозирования с данными натурных исследований.

1. Лабораторией при сооружении Чимкурганского водохранилища в содружестве со строительной организацией выполнены опытно-производственные работы по подготовке основания плотины путем замочки на пикетах от 7+00 до 28+00 (левый борт) и от 56+00 до 59+00 (правый борт).

Для подготовки замачиваемой части основания плотины, на вышеуказанных пикетах выделены участки шириной, равной тройной ширине основания плотины. Территорию замочки разбивали на делянки при помощи валиков, приспособляя их к рельефу местности.

Максимальная высота валиков достигала 2,0 м, ширина поверху 4—5 м с одинарными откосами. Переход воды с одной делянки на другую осуществлялся трубчатыми водовыпусками из асбоцементных труб диаметром 450 мм.

Оснащение опытного участка заключалось в постановке различной наблюдательной аппаратуры.

Установка марок (реперов). Для фиксирования просадочных деформаций в результате замочки грунтов основания плотины установлено 164 марки: 142 — поверхностные, 10 — скрытые и 11 — глубинные. Назначение поверхностных марок — фиксирование деформации всей толщи слабых просадочных грунтов; скрытые используются с той же целью, но там, где ограничена сфера действия поверхностных марок, т. е. при опасности нарушения их.

Глубинные марки устанавливали для фиксирования деформаций на различных глубинах толщи просадочных грунтов. В плане они располагаются постворно. Один створ (в створе 5 марок) разбит между пикетами 18 и 19 на левом борту водохранилища; второй (в створе 6 марок) — на ПК 58+00, на правом борту водохранилища. Марки фиксировались на глубинах 2, 4, 6, 10, 15 и 20 м.

Для восстановления природной плотности грунтов, обратную засыпку шурфов-траншей производили небольшими (30—40 см) слоями, одновременно уплотняя ручной трамбовкой. Плотность обратной засыпки контролировали путем отбора образцов грунта на определение объемных весов и влажности. Эти данные сопоставляли с результатами, полученными в грунте естественного сложения, при рытье шурфов.

Скважины с известковым раствором закладывали для выяснения наличия бокового сдвига в массиве просадочных грунтов в процессе замочки. Эти скважины от обычных отличаются тем, что после бурения в них заливают смесь известкового раствора с опилками.

Плановое размещение описываемых скважин постворное. В створе четыре скважины: первая расположена на территории, подверженной замочке, остальные три — за ее пределами на расстоянии 5 м друг от друга перпендикулярно по отношению к оси плотины. Для периодического наблюдения за динамикой колебания уровня грунтовых вод и определения связи с инфильтрационными водами из делянок в районе ПК 58+00, на границе замочки основания плотины, мы установили створ пьезометров. В створе пять пьезометров: один — в пределах, остальные — за пределами замачиваемой территории.

Прежде чем попасть в пьезометр, вода, проходя через перфорированную часть, находящуюся на высоте 0,5 м от дна, очищается. Такая вода меньше способствует заилению пьезометра, а следовательно, увеличивает срок его службы.

2. Чтобы уловить динамику просадочного процесса грунтов исследуемого района, в подготовительном периоде мы установили специальные марки (см. предыдущий пункт).

Во время замочки проводили систематическую нивелировку реперов, так как изменение их положения по вертикали характеризовало динами-

ку развития просадочных деформаций. Деформация в начале развивается бурно, затем значительно уменьшается.

Опыты поставлены как на правом, так и на левом бортах водохранилища. Это объясняется тем, что грунты бортов имеют различную величину просадочности.

Замочка основания плотины произведена в продолжение 3 мес.; затем подача воды на делянки прекращена. Но это не говорит об окончании просадочной деформации: она продолжалась в течение последующих 3 мес., что объясняется фильтрационной консолидацией грунтов основания. Грунты основания в период замочки достигли высокой степени водонасыщенности, особенно в слоях, залегающих на глубине ниже 5 м. Однако полное насыщение не достигнуто, что еще раз подтвердило наши прежние исследования [6] «критической влажности», где мы указываем на то, что для проявления просадки лессовых грунтов степень влажности G должна достигать величины 0,7 от полной влагоемкости. С превышением указанной величины задерживается полное проявление просадки, которое возникает при удалении (рассасывании) излишней влаги из пор грунта. Именно это явление вызвало некоторую деформацию грунтов основания после прекращения подачи воды в делянки.

Лабораторными исследованиями выяснили, что изученная 19-метровая и залегающая ниже ее толща просадочные.

Для проверки достоверности полученных данных, а также выявления распределения просадочных деформаций по отдельным зонам толщи между пикетами 18+00—19+00 и 58+00—59+00 мы заложили глубинные марки (табл. 2; рис. 2).

3. Чтобы сопоставить данные лабораторного прогнозирования и натурных исследований, т. е. фактической просадки, рассмотрим более характерный участок — левый борт водохранилища. Величина ожидаемой просадки грунтов здесь, по данным лабораторного прогнозирования, для просадочной толщи мощностью 19 м равна 53 см [3].

Глубинная марка, установленная на глубине 2 м, просела на 71,80 см (табл. 2), а поверхностная, под № 82, самая близкая по плановому расположению к глубинной марке VI, — на 75,10 см.

Таблица 2

Номер марки	Глубина заложения основания марок, м	Общая просадка, см
Левый борт водохранилища		
VI	2	71,80
V	4	62,70
IV	6	52,80
III	10	30,60
II	15	9,10
Правый борт водохранилища		
VI	2	7,9
V	4	3,8
III	10	3,0
II	15	1,8
I	20	1,5

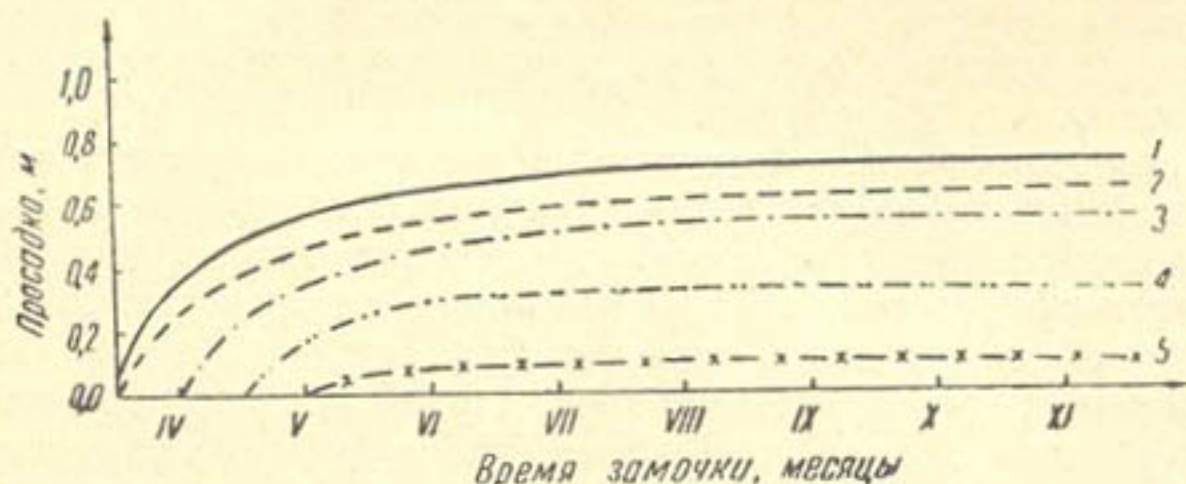


Рис. 2. Динамика просадки глубинных марок во времени:
1 — кривая марки, установленной на глубине 2 м;
2 — то же 4 м; 3 — 6 м; 4 — 10 м; 5 — 15 м

Средняя величина фактической просадки из 20 поверхностных марок, установленных в делянке № 1 (участок ПК 7+00—ПК 20+00), где помещаются и глубинные марки, равна 75,33 см. Следовательно, фактическая просадка грунтов участка плотины в районе ПК 18 до уровня грунтовых вод (мощностью 31 м) составляет 75 см.

Разница между фактической и ожидаемой просадкой (по лабораторному опыту), равная 22 см,— просадка неизученной толщи, залегающей ниже 19 м (до уровня грунтовых вод), которая тоже оказалась просадочной.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАЛИЧИЯ ИЛИ ОТСУТСТВИЯ БОКОВЫХ СДВИГОВ В ПРОЦЕССЕ ПРОТЕКАНИЯ ПРОСАДОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ

Ученые, занимающиеся исследованием просадочных грунтов, высказывают разные мнения о возможности существования боковых сдвигов в процессе просадки. В СНиП для прогноза просадок вводится коэффициент «*m*» [4], учитывающей условия работы основания. Величина «*m*» для слоев просадочных грунтов, залегающих ниже 1,5 наименьшего размера фундамента, равна 1,5.

На строительстве Чимкурганского водохранилища нами проведены специальные опыты по установлению наличия боковых сдвигов в процессе просадки грунтовой толщи при замочке под природным давлением с помощью скважин, залитых известковым раствором.

Вышеуказанная специальная аппаратура была установлена в массиве просадочного грунта до начала замочки.

По завершению 3-месячной замочки и стабилизации просадки скважины, залитые смесью известкового раствора с опилками, были вскрыты шурфованием. Положение скважины определяли по отношению к отвесу, опущенному по стенке шурфа. В результате вскрытий обнаружили, что при замочке просадочного массива просадка происходит главным образом в вертикальном направлении; отклонения незначительны, поэтому практически ими можно пренебречь.

На основании эксперимента сделали вывод, что при прогнозе просадочности лессовых толщ на большой площади под собственным весом следует применять формулу СНиП без коэффициента «*m*», т. е. в виде

$$S = \sum_{i=1}^n \delta_{пр,i} H_i.$$

ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЕ В МАССИВЕ ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТОВ В ПРОЦЕССЕ ПРОСАДКИ

Как известно, трещины, образующиеся в основаниях сооружений, которые строятся на просадочных грунтах, вызывают трудности во время возведения сооружений и их эксплуатации. Учитывая это, мы в своих исследованиях уделили особое внимание изучению динамики развития процесса трещинообразования.

Прочная структура и цементационные связи лессовых грунтов при естественной (низкой) влажности, под воздействием увлажнения и веса вышележащих слоев нарушаются. Происходит просадка, сопровождающаяся трещинообразованием и формированием террас в толще грунта, расположенной выше зоны увлажнения.

Структура грунтов ниже кривой депрессии нарушается намного больше, чем выше депрессии. Причем, это нарушение происходит не на одном уровне, что, в свою очередь, влечет за собой неравномерное перемещение верхних слоев (грунтов выше кривой депрессии) толщи.

В зависимости от расположения по отношению к сооружению следует различать два вида просадочных трещин: продольные, образу-

щиеся вдоль замачиваемых территорий или параллельно оси плотины, и поперечные, возникающие перпендикулярно к оси плотины.

Верхние слои после их разделения на части трещинообразованием производят сложное движение: перемещаются вниз и одновременно слегка наклоняются в сторону замочки.

Величина перемещения равна ширине трещин поверху. Если ширина трещин небольшая, то и наклон поверхности террасы мало заметен.

Просадочные трещины возникли несколькими рядами вокруг замачиваемой территории. Между ними образовались просадочные террасы, высота которых на валиках составила от 30—40 до 50—60 см, а вне валиков не превышала 15—25 см.

ВЫВОДЫ

В условиях изученного объекта срок замочки основания плотины равен 2—3 мес. соответственно для правого и левого бортов канала.

Верхняя часть толщи просадочных грунтов до 3—5, иногда до 7—8 м из-за незначительного бытового давления и устойчивой цементационной связи после замочки не подвергается значительной деформации. Деформируется та часть, которая расположена ниже указанных глубин.

Выявленные размеры просадочных деформаций потребовали проведения специальных мероприятий перед возведением тела плотины по подготовке ее основания. Наиболее целесообразны предварительная замочка при тщательном наблюдении за развитием просадочных деформаций, а также возведение плотины «мокрым» способом (отсыпкой грунта в воду).

При замочке просадочного массива просадка происходит в вертикальном направлении.

Необходимо принимать специальные меры для предотвращения образования просадочных трещин в основании плотины. В крайнем случае, просадочные трещины нужно удалить на значительное расстояние, чтобы обеспечить нормальную работу строящегося сооружения. При замочке тройной ширины плотины по основанию в нашем объекте появилась возможность удалить трещины на расстояние, равное одной ширине основания плотины как в сторону нижнего, так и верхнего бьефов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аскар ов Х. А. О строительных свойствах грунтов района Туябугузского водохранилища, ДАН УзССР, 1958, № 11.
2. Аскар ов Х. А. О просадочности грунтов района Центральной части Голодной степи, в кн. Материалы по производительным силам Узбекистана, вып. 15, Ташкент, Изд-во, АН УзССР, 1960.
3. Аскар ов Х. А. Хамидов Х. Н. Просадочные свойства грунтов основания Чимкурганской плотины, «Вопросы гидротехники», вып. 18, Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1964.
4. СНиП Часть II, раздел Б, Глава 2. Основания и фундаменты зданий и сооружений на просадочных грунтах, Нормы проектирования, 1962.
5. Аскар ов Х. А. О глубине залегания просадочных лессовидных грунтов и методах оценки их просадочности, ДАН УзССР, Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1955, № 8.
6. Аскар ов Х. А. О методах замочки просадочных грунтов под гидротехнические сооружения, «Гидротехника и мелиорация», 1955, № 1.
7. Аскар ов Х. А. О соответствии лабораторного прогноза просадочности лессовых грунтов с натурными, «Вопросы гидротехники», Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1962, вып. 8.

Х. А. АСКАРОВ, К. К. АДЫЛОВ, Р. А. АБДУЛЛАЕВ

ИЗУЧЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ СДВИГУ ЛЕССОВЫХ ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТОВ ПРИ ИХ РАЗЛИЧНЫХ ВЛАЖНОСТЯХ

Известно сравнительно высокое сопротивление лессовых грунтов сдвигу при естественной влажности и потеря этой устойчивости в условиях повышения влажности, что является одной из причин их просадочности. Последняя объясняется главным образом потерей связности (сил сцепления) лессовых грунтов, вызываемой увлажнением.

Сказанное хорошо объясняется водно-коллоидной теорией, созданной советскими учеными (П. А. Дерягиным, Н. Я. Денисовым, И. В. Гребенщиковым и др.).

Увеличение влажности в лессовом (тем более в просадочном) грунте сопровождается падением общей прочности, следовательно, сопротивляемости сдвигу. Потеря прочности объясняется одновременным размягчением и растворением цементационных связей между частицами и агрегатами, а также ослаблением трения между частицами (гидратные оболочки, обволакивая частицы, разъединяют их, и контакт между минеральными частицами теряется).

Однако в изменении сил внутреннего трения и сцепления немало важное значение, одновременно со степенью водонасыщенности грунта, имеет величина давления, под действием которого грунт находится.

При прочих равных условиях, потеря общей связности у грунта, не испытывающего на себе давления, больше, чем у грунта, находящегося под давлением.

В просадочном процессе происходят сложные явления, связанные с взаимодействием грунта с водой и изменением напряженного состояния массива в зоне увлажнения.

Исследованиями многих ученых, а также нашими работами за прошлые годы [3] вопрос о сопротивляемости лессового просадочного грунта сжатию достаточно освещен. Однако изучению сопротивляемости лессового просадочного грунта сдвигу (срезу) в зависимости от влажности не было уделено достаточного внимания.

По нашему мнению, в просадочности лессового грунта немаловажное значение имеет падение сопротивляемости грунта сдвигающим усилиям вследствие увеличения в нем влажности. В 1963 г. мы изучали сопротивление лессового просадочного грунта сдвигу в зависимости от влажности.

Опыты проводили с образцами лессовых просадочных грунтов из некоторых районов Узбекистана.

Экспериментальная часть. Важной особенностью глинистых грунтов является зависимость сопротивления их сдвигу не только от приложенной нагрузки, но и от влажности. Сопротивление грунта сдвигу зависит от состояния плотности-влажности грунта, при котором происходит срез.

Поэтому формула сопротивления грунта сдвигу, по Н. Н. Маслову [2], выглядит так:

$$S_{pw} = P \operatorname{tg} \varphi_w + C_w.$$

С изменением влажности грунта сопротивляемость сдвигу при постоянстве нагрузки в момент среза изменяется.

Методика. Опыты на сдвиг ставили на грунтах с не проявленной и проявленной просадкой.

Однако наиболее распространенная методика проведения опыта на сдвиг по основной ветви (с предварительным уплотнением грунта под различными давлениями с увлажнением во время уплотнения) превратила просадочный грунт в непросадочный (с проявленной просадкой).

Несмотря на это мы провели большое количество испытаний на срез для установления зависимости сопротивления грунта сдвигу от влажности-плотности в момент среза (1-ая серия опытов).

Учитывая, что вышеуказанные опыты не моделируют сопротивления лессового просадочного грунта сдвигу в момент просадки, в том же году мы провели исследования по иной методике (2-ая серия опытов). Грунты ненарушенной структуры вырезали из монолита просадочного лессового грунта и переносили в прибор на сдвиг, минуя уплотнение в приборе предварительного уплотнения.

Грунт срезали при нагрузках, соответствующих природным и на несколько ступеней выше их. Так, для грунта, взятого с глубины 4,0 м, произведен срез образцов под давлением 0,7 (природное); 2,0; 3,0; 4,0 и 5,0 кг/см².

Как правило, первой ступенью нагрузки для среза в наших опытах была принята природная (бытовая), соответствующая глубине взятия образца.

Цель данной серии опытов — определение сопротивления грунта сдвигающему усилию (τ) в состоянии природной плотности, т. е. под природным давлением ($P_{пр}$). Испытания на срез по принятой методике дали представление о поведении грунта сдвигающему усилию по мере возрастания плотности (с увеличением вертикальной нагрузки на грунт).

Помимо нагрузки, как отмечено выше, на сопротивляемость грунта сдвигу влияет и влажность. Поэтому опыты на срез мы проводили с грунтами с различной исходной влажностью. Для этого грунты в монолитах, перед испытанием на срез, доувлажняли через слой песка в ванне. При этом вскрывали дно монолита и сажали его на песок. В верхней части монолита сделали несколько отверстий для выхода воздуха при доувлажнении.

Влажность грунта до заданной величины проверяли путем определения веса монолита на весах. По достижении расчетного веса, соответствующего заданной влажности, монолит снимали с влажного песка и для равномерного распределения влажности внутри монолита выдерживали несколько дней с прикрытием оголенных его поверхностей. Эти операции были необходимы во избежание явлений набухания грунта в момент доувлажнения и равномерного распределения влаги в монолите. Затем проверяли окончательную влажность исследуемого монолита и вырезали образцы для испытания на срез.

Для первой серии использовали грунт № 1*, а для второй — грунт № 2**.

* Грунт из района Чимкурганского водохранилища; в процессе предварительного уплотнения с замочкой он утратил просадочную способность и превратился в непросадочный под собственным весом.

** Просадочный лессовый грунт из района Северо-ташкентского канала, утративший просадочную способность.

Первая серия опытов. Общее количество опытов на срез около ста. Физико-техническая характеристика испытуемых грунтов следующая: естественная влажность в среднем равна 1—3%; объемный вес

скелета (до опыта) — 1,34—1,42 т/м³; удельный вес — 2,68 т/м³. С остальными показателями грунта можно ознакомиться в нашей работе [4].

Опыты на срез произведены под давлением 0,5; 1,0; 2,0 и 3,0 кг/см². Грунт перед срезом уплотняли на приборе предварительного уплотнения под вышеуказанными давлениями и насыщали водой. Следовательно, грунт до среза имел различную, соответствующую нормальному давлению, влажность.

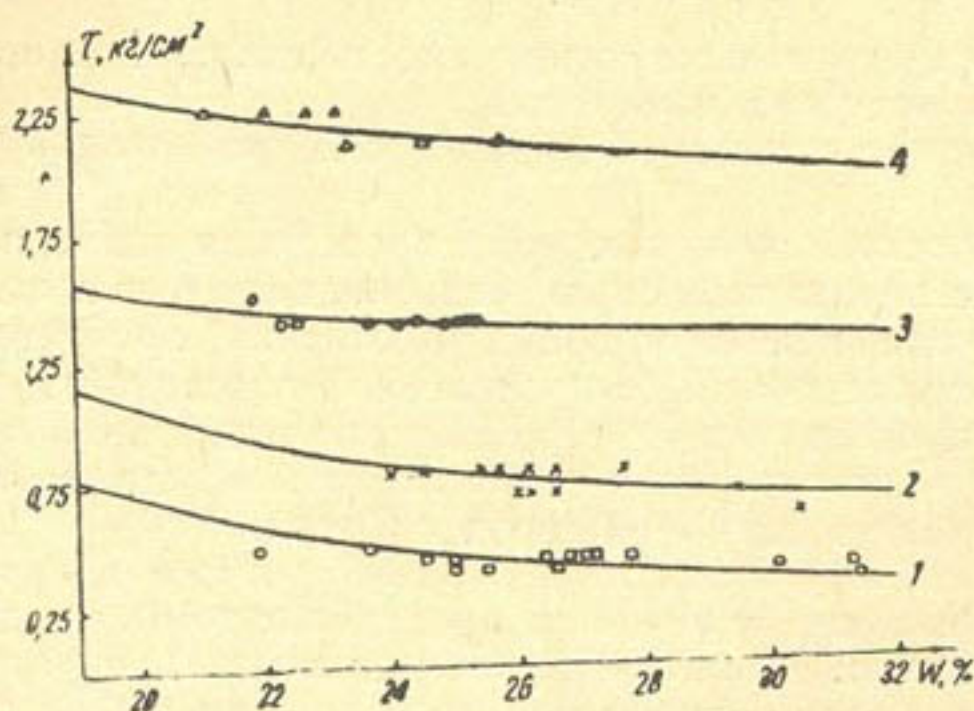


Рис. 1. График зависимости сопротивления грунтов сдвигу от влажности при различных нормальных давлениях. Р равно:

1 — 0,5; 2 — 1,0; 3 — 2,0; 4 — 3,0.

Каждому нормальному давлению соответствует своя точка (рис. 1). По мере возрастания нормального давления общее сопротивление грунта сдвигу повышается.

При одном и том же давлении с увеличением величины влажности в момент среза сопротивление грунта сдвигу падает. Это согласуется с природой потери прочности лессовых грунтов при возрастании влажности.

График зависимости сопротивления грунта сдвигу от давления $\tau = f(\sigma)$ (рис. 2) также свидетельствует о возрастании τ с увеличением σ .

Пучок линий (рис. 2) отражает состояние грунта при различных влажностях среза, т. е. от 22 до 28%.

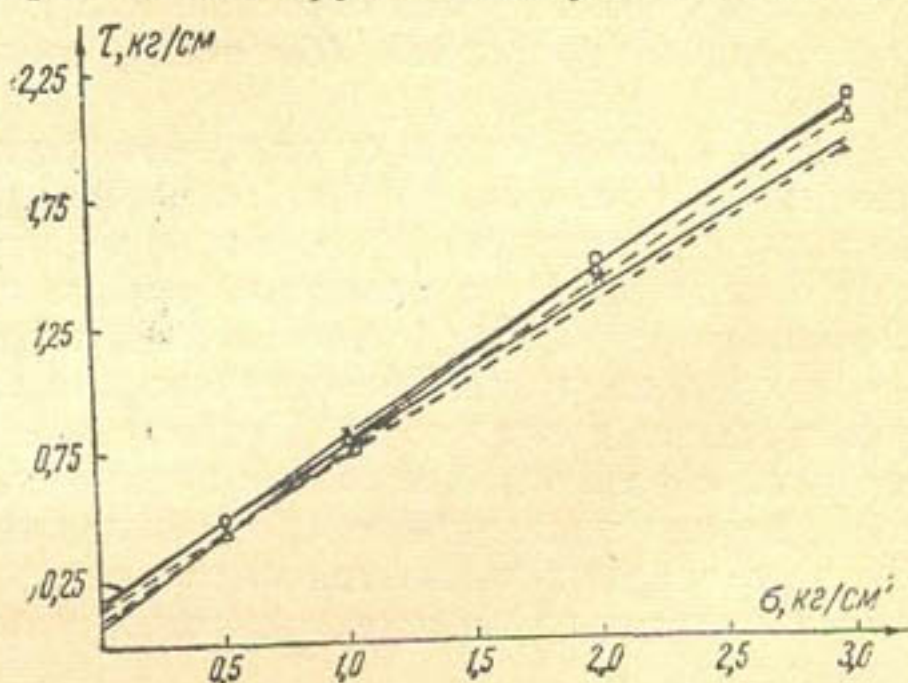


Рис. 2. График зависимости сопротивления грунтов на сдвиг от нормального давления ($W = 22 - 28\%$).

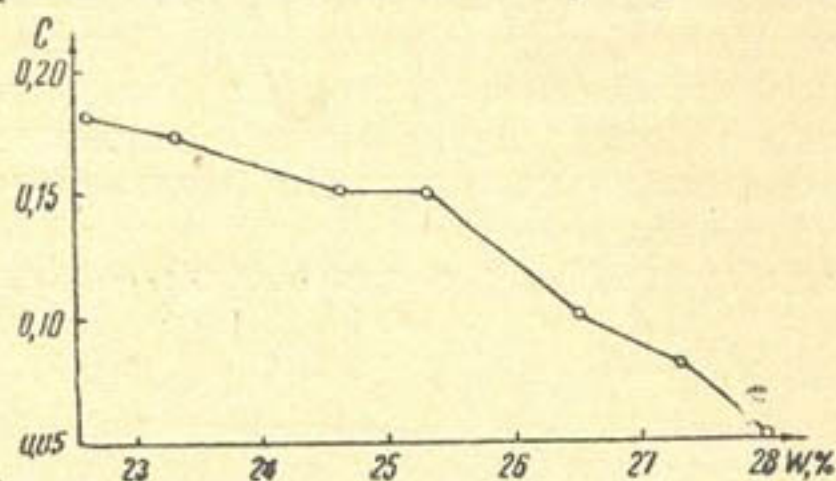


Рис. 3. График зависимости сил сцепления от влажности грунта.

Применяя метод обработки, предложенный Н. Н. Масловым (графо-аналитический метод) на основании графиков на рис. 1, 2 можно построить график (рис. 3), дающий представление об изменении сцепления подопытного грунта при различных влажностях ($C_w = f(w)$). Силы сцепления грунта с повышением его влажности падают.

Ниже приводим зависимость сил сцепления и угла внутреннего трения от влажности.

$W, \%$	$tg\varphi$	φ°	$C, \text{кг/см}^2$
22	0,688	$34^\circ 30'$	0,18
23	0,657	$33^\circ 20'$	0,17
24	0,648	$32^\circ 55'$	0,15
25	0,648	$32^\circ 55'$	0,12
26	0,617	$31^\circ 40'$	0,10
27	0,600	$30^\circ 58'$	0,08
28	0,581	$30^\circ 05'$	0,05

В интервале влажности 22—28% подопытному грунту соответствует значение сил сцепления 0,05—0,18 кг/см^2 . Следовательно, подопытные грунты при консистенции пластичности характеризуются весьма незначительным сцеплением. Этим, в свою очередь, объясняются потери прочности лессового просадочного грунта при увлажнении (просадка).

Силы сцепления с уменьшением величины нагрузки и увеличением влажности падают и наоборот.

Как отмечено выше, опыты на сдвиг мы проводили при разных нагрузках, с целью обеспечения разных условий сдвига по плотности-влажности.

Коэффициент сопротивления сдвигу ($tg\psi$) или угол сдвига (ψ) впервые предложены Н. Н. Масловым и Л. И. Никольским [2] и является обобщенным показателем сопротивления сдвигу без расчленения его на силы трения и сцепления.

Характеристика сопротивляемости грунта сдвигу через коэффициент сдвига ($tg\psi$) находит поддержку и с нашей стороны, так как расчленение τ на $tg\psi$ и C весьма условно. В основу характеристики прочности и устойчивости грунта следует положить данные коэффициента сдвига грунтов в зависимости от плотности-влажности.

Вторая серия опытов. Основная цель — определение падения сопротивления лессовых грунтов сдвигу при увлажнении, т. е. в момент проявления просадки.

Физико-техническая характеристика подопытных грунтов описана в прежних наших работах [3].

Срез производили из грунтов, имеющих различную влажность: 5; 10; 15; 20 и 25%. При этом были приняты следующие значения для нормального давления (σ): 0,7 (природное) 2,0; 3,0; 4,0; 5,0 кг/см^2 .

Данные опытов изображены в виде графиков (рис. 4, 5, 6). О характере изменения сопротивления грунта сдвигу от влажности при постоянстве нагрузки ($\sigma = \text{const}$) можно судить по рис. 4, из которого видно, что увеличение влажности лессового просадочного грунта № 2 приводит к снижению его сопротивляемости сдвигающим усилиям. Сказанное хорошо объясняет природу просадочности лессовых грунтов.

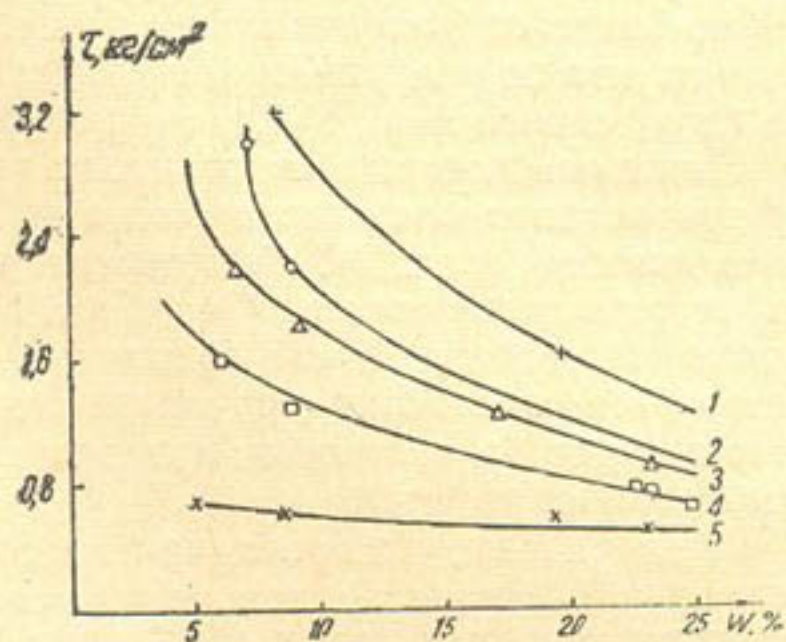


Рис. 4. График изменения сопротивления грунта сдвигу от влажности при постоянстве вертикальной нагрузки

($\sigma = \text{const}$). P равно: 1 — 5,0; 2 — 4,0; 3 — 3,0; 4 — 2,0; 5 — 0,7.

Из рис. 5 видно возрастание сопротивления грунта сдвигу (τ) в зависимости от увеличения нормального давления (σ), действующего в момент сдвига при одном и том же значении плотности-влажности.

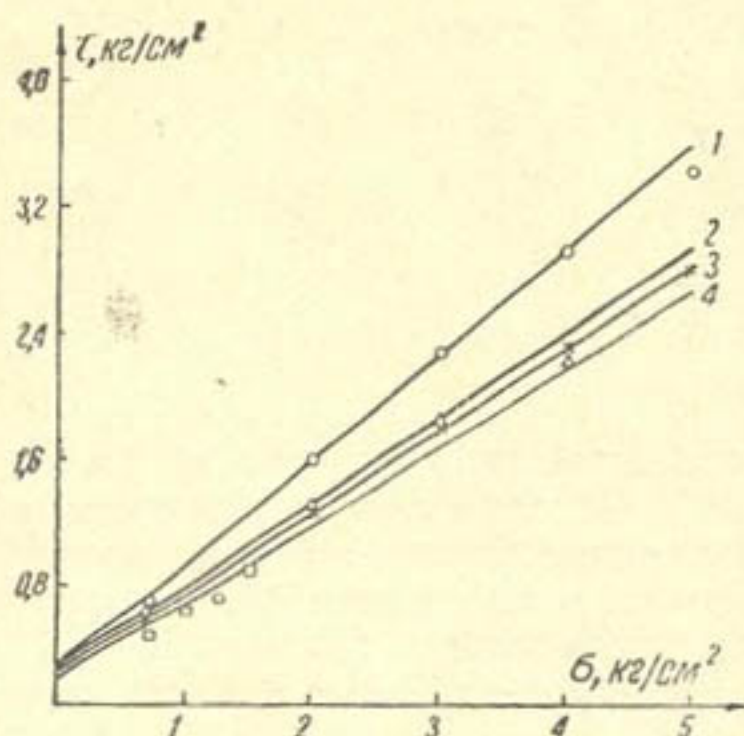


Рис. 5. График зависимости сопротивления лессового грунта от нагрузки для различного состояния влажности грунта сдвигу. W равно:

1 — 5%; 2 — 10%; 3 — 20%; 4 — 25%.

стичь величины, равной нулю. Это приведет к резкому возрастанию просадочности лессовых грунтов.

Некоторые исследователи [2] предлагают оценивать прочностные показатели грунта по величинам коэффициента ($\text{tg}\psi$) сдвига или по углу сдвига (ψ).

Наши опыты показывают, что по мере возрастания влажности угол сдвига уменьшается (рис. 6). Следовательно, грунт теряет прочность. Подобное положение соответствует современным воззрениям о падении прочности связных грунтов, в частности просадочности лессовых грунтов.

Мы считаем, что просадка в лессовых грунтах в основном — результат ослабления связности при увлажнении. Эта связность обуславливается первичным сцеплением и сцеплением упрочнения, по Н. Я. Денисову [1].

В данном случае повышение τ для одного и того же значения плотности-влажности обусловлено возрастанием сил внутреннего трения при постоянстве сил сцепления. Значение τ падает с повышением влажности грунта. При этом одновременно уменьшаются значения силы внутреннего трения и сцепления.

Полученный экспериментальный материал свидетельствует о том, что лессовые просадочные грунты (2) для рассмотренного нами интервала влажности 5—25% характеризуются соответственно C от 0,24 до 0,12 кг/см^2 , ϕ от $35^\circ 30'$ до $26^\circ 30'$.

Опытами установлено резкое падение сил сцепления за пределом влажности 20%. Надо полагать, что при влажности выше 25% значение C резко уменьшится и может достигнуть величины, равной нулю.

Это приведет к резкому возрастанию

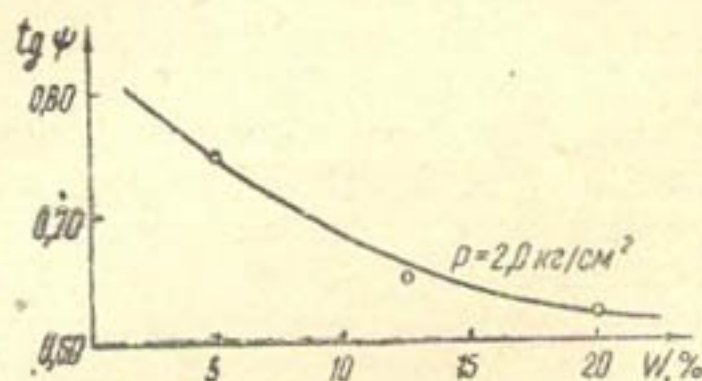


Рис. 6. График зависимости угла сдвига от влажности ($P = 2,0 \text{ кг/см}^2$).

ЛИТЕРАТУРА

1. Денисов Н. Я. О природе деформаций глинистых пород, М., Издание Мин. речного флота СССР, 1951.
2. Маслов Н. Н. Условия устойчивости склонов и откосов в гидроэнергетическом строительстве, М.—Л., Госэнергоиздат, 1955.
3. Аскарлов Х. А. Строительные свойства лессовидных просадочных грунтов района Северо-ташкентского канала, Автореферат канд. дисс. Ташкент, 1955.
4. Аскарлов Х. А., Хамидов Х. Н. Просадочность грунтов основания плотины Чимкурганского водохранилища, «Вопросы гидротехники», Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1963, вып. 18.

В. Б. ГУССАК, М. Д. ЧЕЛЮКАНОВ, С. Ю. ЮЛЬЧИЕВ,
Н. Ф. МАТЮНИН, Б. Ф. КАМБАРОВ, Т. С. МУХАМЕДОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНИКИ ПОЛИВА НА ИРРИГАЦИОННУЮ ЭРОЗИЮ

Проблема почвоохранной техники полива за последние годы привлекает все больше внимания советских и зарубежных исследователей и практиков [1, 4, 7, 10, 17, 22, 33, 38, 41, 42].

Это связано с тем, что во многих странах мира приходится орошать земли с неблагоприятным рельефом; кроме того, с внедрением в широких масштабах механизации полива и всех сельскохозяйственных работ иногда усиливалась ирригационная эрозия [5, 6, 13, 18, 19, 21, 30, 35]. Ирригаторы и почвоведы Средней Азии и Закавказья [2, 15, 16, 24, 25, 28, 36] уже давно занимаются этими вопросами, но почвоохранная техника полива разработана еще недостаточно.

Среднеазиатские институты почвоведения и водных проблем и гидротехники на базе станций по новой технике орошения СаНИИРИ и в ближайших колхозах поставили совместную задачу: 1) подобрать способ полива; 2) установить элементы техники, не вызывающие эрозию или сводящие ее к допустимому минимуму, а также способствующие уменьшению затрат труда поливальщиков; 3) изучить влияние выработанных способов и техники полива, а также эрозии на почву и растение (хлопчатник); 4) исследовать гидравлику ирригационного смыва; 5) выработать приемы борьбы с эрозией.

Оба института проводили работы по указанным вопросам [27, 29, 32]; в данной статье освещаются результаты исследований 1963 г., по пунктам 2—5 (по пункту 1 см. статью Н. А. Пересыпкина и Н. Ф. Матюнина в этом сборнике).

Объекты исследований. Наблюдения проводились на орошаемом типичном сероземе, суглинистом, сформированном на мощном лессовом покрове ташкентского возраста.

В 1961 г. участок под опытами подвергся капитальной планировке под общий уклон с объемом срезки, местами достигающим до 2500 м³ и длиной 400 м. Глубина срезов и насыпей достигала нескольких десятков сантиметров.

Таким образом, на поверхности опытного участка местами обнажались нижние горизонты почвенного профиля, а местами исходная почва была погребена под насыпями из этих же горизонтов. Пришлось пренебречь пестротой почвенного фона, чтобы создать участок с единообразным уклоном для исследования полива по длинным (до 500 м) бороздам. За год до проведения опытов (в 1962 г.) на участке с уравнительным посевом хлопчатника; урожай составил около 30 ц/га.

Варианты опыта стремились расположить на срезах и насыпях так, чтобы они оказались по возможности сопоставимыми.

Механический состав почв типичный: преобладает крупная пылеиловатой фракции (по гексаметафосфатному методу) — 10—15%; песчаной фракции более 0,1 мм — доли процента. На срезках выступает более высокомикрoагрегированная порода, что характерно для нижних горизонтов серозема на лессе. Объемный вес пахотного горизонта 1,0—1,15 г/см³, а нижних — 1,3—1,5, т. е. результаты планировки в этом отношении уже снивелированы. Влагоемкость поля (сверху вниз) 24—20%, в среднем для однометрового слоя 21%, что также типично для серозема.

Содержание гумуса и валового азота отражает влияние планировок: в погребенных горизонтах гумуса до 0,8%, а на срезках и насыпях 0,2—0,4. Таким образом, различия в общем невелики, потому что планировке подверглась почва, по-видимому, уже значительно смытая. Среднее содержание валового азота 0,060%, фосфорной кислоты 0,150.

Некоторое количество легкорастворимых солей (до 0,4—0,7% плотного остатка) и гипса на насыпях содержится в подпахотном горизонте, а на срезках — в пахотном и по всему профилю (солей до 0,8%, гипса — 2,6%, хлора не более 0,007%). Столь своеобразный солевой профиль для орошаемого серозема не типичен, но встречается в районе Янгиюля [9]. Это связано здесь с молодыми тектоническими движениями и эрозией, приблизившими к поверхности гипсоносные и засоленные третичные породы. Последние видны в обнажениях по Бозсу.

Исходный рельеф территории станции — типичный для приташкентских чухей: широко-волнистый, волнисто-холмистый с энергией рельефа 10—12 м, длиной склонов 50—150 м, крутизной до 8—10%, с выпукловогнутой формой. Грунтовые воды расположены глубоко, в почвообразовании роли не играют, но в нижней части участка наблюдается верховодка. Ширина опытного участка 210 м, длина 530. Участок расположен у «хвостовой части» канала Верхний Джун, в правобережье р. Чирчик, в 35 км к юго-западу от Ташкента, в области водораздела Бозсу — Келес.

Программа, методика и техника опытов. На продольном уклоне 0,017 (в последующие годы опыты будут повторены на более крутых уклонах) заложили варианты размеров струй в борозды длиной 500 м: 0,2; 0,3 и 0,4 л/сек с учетом по отрезкам борозд 100, 200, 300, 400 и 500 м. На отрезках в 100 м, при трех расходах, испытывали полимер К-4 из расчета 500 кг/га действующего начала (полиакрилонитрил, гидролизированный по способу ташкентских химиков), как один из приемов снижения ирригационной эрозии. Пятилетние опыты СредазНИИПа и других организаций показали его перспективность (11, 12, 14). В каждом варианте 25 борозд — 12 поливаемых и 13 сухих (полив через борозду). Площадь каждого варианта по расходу (расстояние между рядами 60 см) — $25 \times 0,6 \times 500 = 0,75$ га, или вся учетная площадь занимает 2,25 га, остальное — защиты.

Поливные борозды нарезали тракторным окучником на глубину 16—18 см.

Поступление, сброс воды и размер струи в борозду учитывали водосливами Томсона с вырезом в 45°, установленными по длине поливных борозд хлопчатника на расстояниях 100, 200, 300, 400 и 500 м от головной части (рис. 1).

По этим же створам определяли мутность (твердый сток), влажность почвы до и после поливов растения, равномерность увлажнения почвы вдоль борозды, а также рост, развитие и урожайность хлопчатника.

Образцы смытой почвы брали в бутылки емкостью 0,5 л и выявляли мутность пробы фильтрованием, последующей сушкой в термостате и взвешиванием.

В смытой почве определяли азот, фосфорную кислоту, гумус, механический и агрегатный состав.

Пробы мутности воды в процессе одного полива хлопчатника брали 5 раз: первую через 5 мин. после добегания струи до соответствующего створа, т. е. до 100, 200, 300, 400 и 500 м от полосы; вторую — через

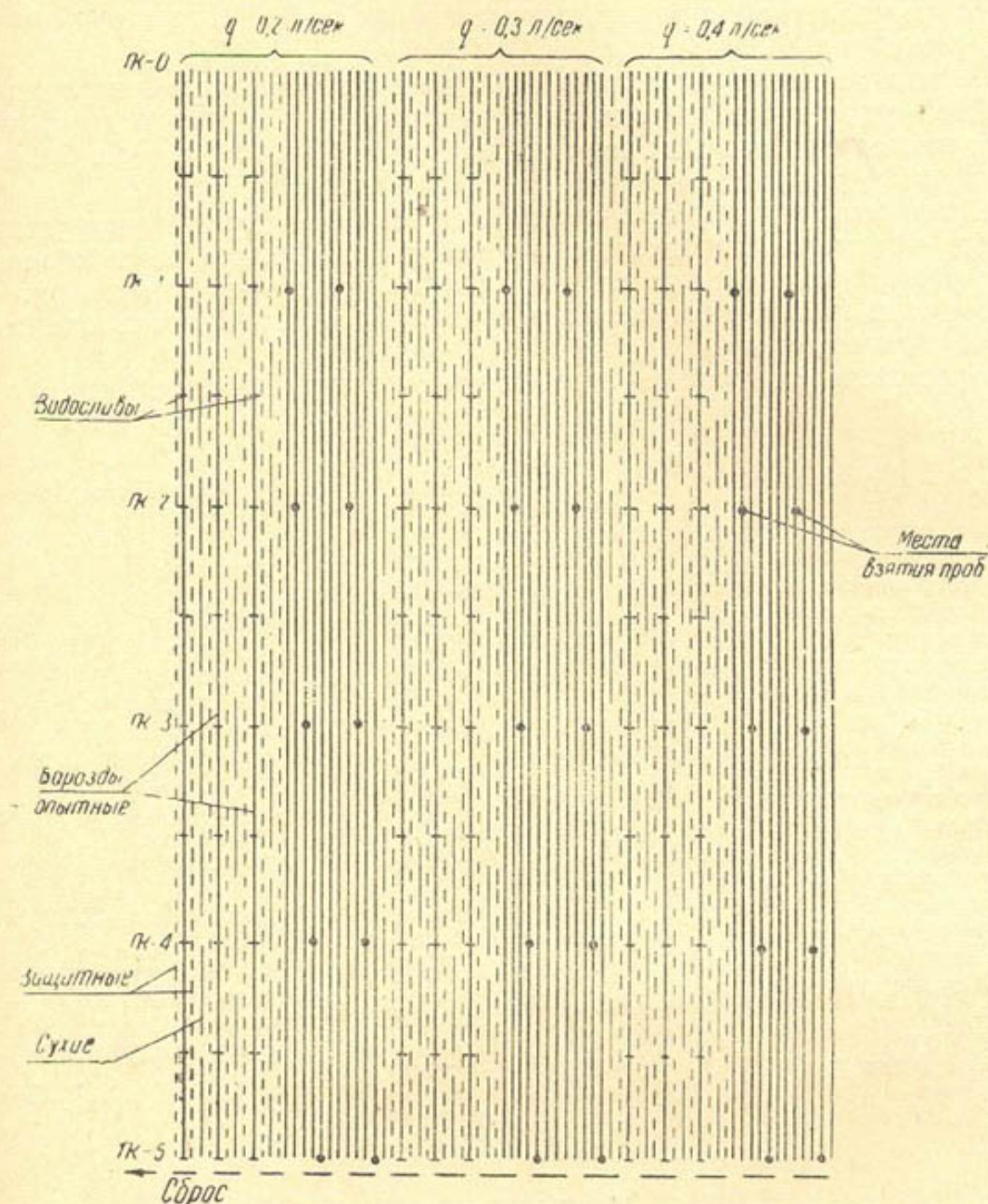


Рис. 1. Схема опыта с поливом по длинным бороздам.

30 мин.; третью — через час; четвертую — через 8 час. и пятую — через 24 часа после взятия первой пробы.

В такие же промежутки времени брали пробы из ок-арыка для получения исходной мутности.

Размывающее действие струи измеряли также микроинвентурками борозд и подсчетом объема промоин.

Для гидравлической характеристики струи, скорости метили красителем, живое сечение нивелировали, шероховатость находили из известных соотношений; испарение с водной поверхности в борозде — путем запуска струи на балансный участок борозды, покрытый полиэтиленовой пленкой и учета входного и сбросного расходов.

Погодные условия и агротехника. Посев хлопчатника НИСТО проведен 18 апреля 1963 г. Всходы появились в начале первой декады мая.

Весна была благоприятной: температура воздуха значительно выше средней многолетней: в первой декаде апреля на $0,9^{\circ}\text{C}$, во второй на 4,6 и в третьей на 0,8.

Летние температуры отличались от многолетних незначительно.

Осадков во второй декаде апреля выпало в 6 раз меньше по сравнению с многолетними в этот период, поэтому с 22 по 26 апреля был дан подпитывающий полив.

Осень была исключительно сухой: за весь сентябрь и первую декаду октября не выпало ни одного миллиметра осадков, что способствовало более раннему созреванию хлопка; сбор был закончен 20 октября.

В целом 1963 г. для роста и развития хлопчатника был одним из весьма благоприятных.

Проведены следующие агротехнические мероприятия.

<i>Мероприятие</i>	<i>Дата</i>	<i>Способ проведения</i>
Сев хлопчатника, сорт 108-ф по схема $60 \times 50 \times 2-3$	18.IV	гнездовой
Подпитывающий полив (до всходов)	22—26.IV	
Культивация продольная	15.V	трактором
Посадка хлопчатника	16.V	вручную
Мотыжение в рядках	1.VI	кетменное
Культивация продольная	4.VI	трактором
Мотыжение в рядках	14.VI	кетменное
Внесение удобрений с нарезкой посевных борозд	19.VI	удобрителями НКЕУ-2,4
Первый вегетационный полив	22.V	через борозду
Культивация продольная	1.VII	трактором
Мотыжение	9—12.VII	кетменное
Внесение удобрений с нарезкой поливных борозд	15.VII	удобрителем ОУН
Внесение препарата К-4	15.VII	" " " " " " "
Второй полив	16.VII	в каждое междурядье
Культивация продольная	25.VII	трактором
Чекалка	31.VII	ручная
Третий полив	8.VIII	через междурядье
Четвертый полив	2.IX	" " " " " " "
Делефолиация	14.IX	дождевым агрегатом
Сбор урожая	27.IX	

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТОВ И НАБЛЮДЕНИЙ

Влияние техники полива на почву и ирригационную эрозию. Планировками достигнут единообразный уклон участка, отличающийся особенностями: от варианта с $0,2 \text{ л/сек}$ к варианту $0,4 \text{ л/сек}$ уклон постепенно уменьшается с 0,018 до 0,016 (табл. 1). На каждой делянке имеются в средней части небольшие понижения; так, на контрольных с $0,2 \text{ л/сек}$ наименьший уклон в створе 100—200 м, в варианте с $0,3 \text{ л/сек}$ понижение между створами 300—400 м и в варианте с $0,4 \text{ л/сек}$ падение уклона на двух отрезках — 0—100 и 300—400. В первых двух вариантах расхода очень велик уклон в голове борозды — 0,04.

Таблица 1

Уклоны на опытном участке с длинными бороздами к концу вегетации
хлопчатника в 1963 г.

Створы	Варианты опыта со струями					
	0, 2 л/сек				0,3 л/сек	
	сухая борозда	с К-4 (на отрезке 0—100)	контроль	контроль	сухая борозда	с К-4 (на отрезке 0—100)
0—20	0,0295	0,0257	0,0377	0,0299	0,0346	0,0312
0—100	0,0183	0,0183	0,0191	0,0175	0,0187	0,0168
100—200	0,0168	0,0155	0,0163	0,0158	0,0166	0,0164
200—300	0,0171	0,0165	0,0170	0,0173	0,0174	0,0177
300—400	0,0216	0,0210	0,0206	0,0199	0,0160	0,0158
400—500	0,0173	0,0185	0,0185	0,0200	0,0187	0,0179
0—500	0,0180	0,0180	0,0183	0,0181	0,0173	0,0169
Среднее	0,018				0,017	

Створы	Варианты опыта со струями					
	0,3 л/сек		0,4 л/сек			
	контроль	контроль	сухая борозда	с К-4 (на отрезке 0—100)	контроль	контроль
0—20	0,0304	0,0280	0,0216	0,0202	0,0175	0,0185
0—100	0,0162	0,0165	0,0151	0,0153	0,0135	0,0140
100—200	0,0170	0,0170	0,0171	0,0171	0,0172	0,0164
200—300	0,0178	0,0166	0,0177	0,0175	0,0182	0,0179
300—400	0,0154	0,0170	0,0134	0,0134	0,0131	0,0136
400—500	0,0166	0,0167	0,0160	0,0164	0,0164	0,0161
0—500	0,0166	0,0163	0,0166	0,0166	0,0159	0,0160
Среднее	0,017		0,016			

Все это, а также насыпи и срезки, должно способствовать правильному распределению влаги вдоль борозды и процессах эрозии. Вместе с тем, уклоны на отрезках 0—100 м в вариантах с К-4 и контрольных примерно одинаковы. В отношении поливных норм мы установили следующее:

а) по всем створам (или при всех длинах борозд) оросительные и поливные нормы при переходе от расхода 0,2 л/сек к 0,4 л/сек растут (табл. 2). Так, средняя оросительная норма, при длине борозды 0—300 м и расходе 0,2 л/сек—3400 м³/га, а при расходе 0,4 л/сек—4800 м³/га. Эта закономерность нарушается в варианте с размером струи 0,3 л/сек, где средняя оросительная норма составила 3600 м³/га, т. е. даже мень-

Таблица 2

Поливные нормы и сброс при различной величине струи и длине борозд

Размер струи в борозду, л/сек	Уклон	Полив	Время подачи воды, часы	Расстояние от головы поливной борозды, м					Средняя поливная норма, м ³ /га	Сброс, %
				0—100	100—200	200—300	300—400	400—500		
0,2	0,018	1	64	830	830	1060	—	—	906*	30,4
		2	40	740	1200	1030	—	—	990	20,1
		3	54	830	850	1200	—	—	960	9,7
		4	53	1150	900	1100	—	—	1050	10,5
Итого				3550	3780	4390	—	—	3906	—

Размер струи в бо- розду, л/сек	Уклон	Полив	Время подачи воды, часы	Расстояние от головы поливной борозды, м					Средняя по- ливная норма, м³/га	Сброс, %
				0—100	100—200	200—300	300—400	400—500		
0,3	0,017	1	64	820	820	820	1200	890	820/910	18,7
		2	40	990	960	1060	1200	750	1003/992	14,6
		3	54	950	980	1000	990	800	977/942	5,6
		4	53	720	850	730	930	1100	767/866	17,1
Итого				3480	3610	3610	4320	3540	3567/3712	—
0,4	0,016	1	64	1060	1410	1320	1170	860	1263/1164	26,3
		2	40	1150	1090	1500	1500	1170	1247/1282	19,7
		3	54	1560	1200	1100	1050	1000	1267/1182	12,2
		4	53	850	1240	1060	1000	1000	1050/1030	9,2
Итого				4620	4940	4980	4720	4030	4827/4658	—

* Числитель на 300 м, знаменатель на 500 м.

ше, чем при расходе 0,2 л/сек, что, видимо, объясняется влиянием планировки;

б) с увеличением порядкового номера полива, есть тенденция к сокращению поливной нормы, особенно на 4-м поливе;

в) сброс при длине борозды 500 м с прибавлением расхода увеличивается, а с возрастанием порядкового номера полива резко уменьшается; с сокращением длины борозды, видимо, увеличивается;

г) при расходе 0,2 л/сек борозду не длиннее 300 м можно поливать за 40—64 часа; при 0,3—0,4 л/сек за то же время — до 500 м, т. е. производительность труда увеличивается почти вдвое;

д) по указанным выше причинам равномерность увлажнения почвы вдоль борозды установить трудно. Высокая поливная норма на отрезке 300—400 м в варианте 0,3 л/сек — результат падения здесь уклона, но в других вариантах на понижениях уклона соответствующего повышения нормы не наблюдалось. Последний отрезок в 400—500 м (длина борозды 500 м) при обоих вариантах расхода увлажнился слабее: оросительная норма по сравнению с предыдущим отрезком (300—400 м) снизилась на 780 и 690 м³/га в условиях соответствующих расходов;

е) в двух вариантах из трех отмечается снижение поливной нормы в 4—5 поливах;

ж) с удлинением поливной борозды с 300 до 500 м при расходе 0,3 л/сек оросительная норма слегка возросла, а при 0,4 л/сек — несколько уменьшилась, т. е. влияния на оросительную норму не отмечено;

з) время подачи воды (если исключить второй полив через борозду) с увеличением порядкового номера полива сократилось, что для 4-го полива, видимо, связано с уменьшением нормы. Фактическая схема полива 1—2—1.

Некоторые из изложенных закономерностей подтверждают прежние наблюдения (б, в, г, ж), а некоторые им противоречат. Это связано с влиянием планировок, но возможны и дефекты в учетах. Требуется повторение опыта.

Как правило, все поливы проводились во время — при 70% полевой влагоемкости, т. е. при 13—14% влажности (табл. 3).

Влажность серозема (вес %) в слое 0—100 см в опыте с длинными бороздами

Номер полива	Расход, л/сек	До полива в створах						После полива в створах					
		100 м	200 м	300 м	400 м	500 м	среднее	100 м	200 м	300 м	400 м	500 м	среднее
I	0,2	14	15	14	15	17	15	19	18	20	—	—	19
	0,3	15	16	15	14	18	16	18	20	18	21	20	19
	0,4	15	15	17	16	19	17	20	16	20	18	25	20
II	0,2	14	14	13	13	19	14	21	20	19	—	—	20
	0,3	13	13	12	14	16	14	19	18	17	18	20	18
	0,4	13	15	12	15	22	15	19	19	19	17	19	19
IV	0,2	15	14	15	—	—	15	20	19	21	—	—	20
	0,3	13	13	12	13	13	13	13	18	16	18	23	18
	0,4	13	14	10	12	12	12	16	16	15	18	19	17

Достаточная равномерность увлажнения достигалась при всех поливах и расходах в борозду, даже при длине ее в 500 м (рис. 2).

Повышенная влажность в створе 500 м обусловлена выклиниванием верховодки.

Между данными по нормам полива и влажностью нет полного соответствия, что связано с отмеченными выше причинами.

С увеличением расхода в борозду мутность, хотя и не вполне закономерно, растет (табл. 4). Так, при первом поливе через 30 мин. после начала мутность на отрезке 0—100 м при расходе 0,2 л/сек была 9 г/л; при 0,3 л/сек — 14 г/л и при 0,4 л/сек — 22 г/л; для отрезка 100—200 м соответственно 1 г/л, 11, 38 и т. д.

В четвертом поливе мутность резко снизилась в связи с прекращением междурядных обработок. При первом поливе наибольшая мутность наблюдалась в верхней части борозды, что обусловлено большими уклонами; при втором максимум мутности переместился вниз по борозде до створа 400 м, ниже которого она уменьшилась; в створе 0—100 м в это время она была минимальной. Высокая мутность стока во второй полив в варианте расхода 0,4 л/сек в створе 300—400 м (22—46 г/л) соответствует во времени самому низкому уклону (0,0131—0,0136): здесь мутность возрастает за счет вышележащего более крутого участка борозды с уклоном 0,0175—0,0182 (табл. 1).

Мутность — величина сильно пульсирующая, но почти во всех случаях после 8 час. она резко снижается. Эта закономерность подтверждается и более ранними наблюдениями [8, 18].

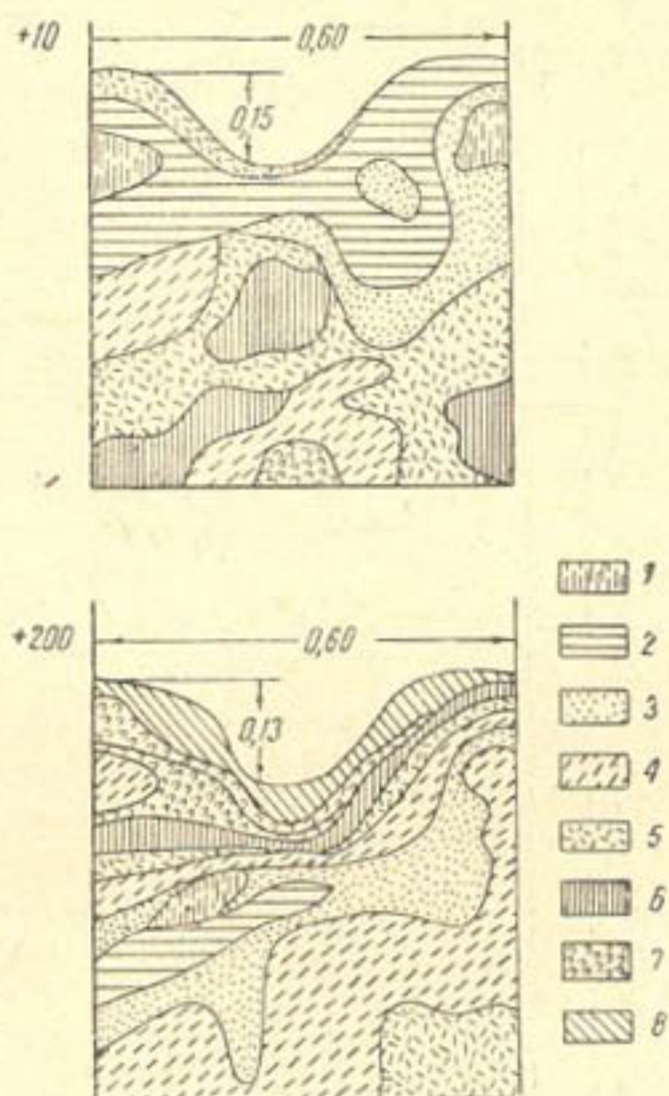


Рис. 2. Изоплеты влажности в процентах от веса сухой почвы по створам длинных борозд на 12 час. после начала полива:

1 — 19; 2 — 20; 3 — 21; 4 — 22; 5 — 23; 6 — 24; 7 — 25; 8 — 26.

Таблица 4

Мутность поливной струи в полевом опыте в зависимости от времени взятия пробы, длины борозды и расхода, г/л

Вариант	Время изятия пробы через	I полив					II полив					IV полив								
		из ок-арька	Расстояние от головы поливной борозды, м				из ок-арька	Расстояние от головы поливной борозды, м				из ок-арька	Расстояние от головы поливной борозды, м							
			0—100	100—200	200—300	300—400		400—500	0—100	100—200	200—300		300—400	400—500						
0,2 л/сек	5 мин.	3,8	11,2	0,8	5,5	—	—	4,3	9,4	9,8	14,5	—	—	1,3	8,6	7,7	—	—	—	—
	30 "	3,0	8,9	1,4	5,0	—	—	2,1	4,5	20,0	22,4	—	—	1,0	10,2	3,3	—	—	—	—
	1 час	2,4	13,7	8,7	7,1	—	—	2,2	4,5	20,2	—	—	—	0,7	6,5	2,7	—	—	—	—
	8 "	4,5	18,1	6,5	3,7	—	—	0,7	8,4	3,2	—	—	—	0,2	0,7	1,5	0,6	—	—	—
	24 "	1,2	2,5	1,7	2,3	—	—	0,4	8,8	3,9	—	—	—	0,2	0,2	0,2	1,1	—	—	—
	Среднее	3,0	10,9	6,9	4,7	—	—	1,9	7,1	11,4	—	—	—	0,7	5,2	3,1	—	—	—	—
0,3 л/сек	5 мин.	3,8	7,7	6,9	36,7	8,1	1,4	4,8	6,2	13,0	20,8	37,4	5,8	1,3	5,3	14,9	14,4	9,0	9,4	9,4
	30 "	3,0	13,5	11,0	5,0	7,1	1,4	2,1	8,3	16,4	20,1	37,2	16,5	1,0	6,3	13,8	14,4	12,9	7,7	7,7
	1 час	2,4	4,2	8,0	5,2	18,3	2,2	2,2	7,8	15,5	19,5	42,3	13,8	0,7	8,4	10,8	6,2	12,7	5,2	5,2
	8 "	4,5	6,6	12,9	4,8	2,6	2,0	0,7	6,6	2,1	33,2	29,5	20,0	0,2	1,7	8,7	8,2	17,9	9,9	9,9
	24 "	1,2	6,3	6,0	5,0	4,6	1,9	0,4	9,2	22,5	25,9	19,0	15,3	0,2	1,2	1,0	1,5	4,9	5,1	5,1
	Среднее	8,0	7,7	9,0	11,3	8,2	2,0	1,9	7,6	13,9	23,0	33,1	14,3	0,7	4,6	9,8	8,9	11,5	7,5	7,5
0,4 л/сек	5 мин.	3,8	18,5	9,8	27,3	2,7	7,1	4,3	11,2	21,4	25,9	46,2	5,0	1,8	4,3	8,5	2,5	6,4	5,8	5,8
	30 "	3,0	21,6	37,6	14,5	9,0	6,8	2,1	9,4	25,2	25,5	40,5	19,5	1,0	10,4	7,8	4,8	6,3	5,1	5,1
	1 час	2,4	18,2	3,4	4,7	1,9	5,7	2,2	16,4	30,7	31,2	42,0	19,6	0,7	3,8	18,9	5,2	4,9	5,8	5,8
	8 "	4,5	10,1	9,0	40,8	4,0	2,4	0,7	6,6	30,9	22,1	23,0	5,3	0,2	5,3	2,1	4,1	2,7	10,2	10,2
	24 "	1,2	7,1	7,0	5,4	1,9	1,5	0,4	5,3	5,4	22,1	21,5	4,1	0,2	3,2	2,1	2,5	2,8	4,7	4,7
	Среднее	3,0	15,1	13,6	18,5	3,9	4,7	1,9	9,8	22,7	25,3	33,3	10,7	0,7	5,4	7,7	3,8	5,8	6,3	6,3

Средняя мутность воды в ок-арыке (выводной борозде) 3 г/л, максимум зарегистрированной мутности брутто 46 г/л, или нетто 43 г/л. Такая высокая мутность, свидетельствует о большой размываемости сероземов.

При первом поливе происходит перераспределение смытой почвы в пределах 0—200, 0—300 м.

Допустим, что при расходе 0,4 л/сек (интервалы 30 мин.) из ок-арыка поступило 3 г/л наносов, на отрезке 0—100 м зарегистрирована мутность 22 г/л, значит 19 г/л—результат местной эрозии; на отрезке 100—200 м мутность стала 38 г/л, или 35 г/л нетто, прирост на этом отрезке составил 16 г/л, но на следующем отрезке в 200—300 м мутность резко уменьшилась до 12 (нетто 15—3) г/л, значит, здесь произошло отложение; то же наблюдалось и на последующих отрезках.

При втором поливе область смены эрозии отложением, при обоих расходах, смещается на отрезок 400—500 м, но еще и здесь мутность в конце отрезка в несколько раз выше, чем у воды, поступающей из ок-арыка. Таким образом, даже при длине борозды в 500 м будет происходить заметный смыв при расходах 0,3 или 0,4 л/сек.

Влияние длины борозды на эрозию при 0,2 л/сек—простирается на 200—300 м; далее эрозия на сероземе исчезает; при расходах 0,3 и 0,4 л/сек на отрезке длиной 0—100 м мутность минимальная, от 100 до 400 м она возрастает и лишь на отрезке 400—500 м снова резко падает.

При третьем поливе величины мутности низкие и очень пестрые; отмеченные закономерности почти не проявляются.

В составе смытой почвы (IV полив) оказалось 0,49—1,09% гумуса, 0,044—0,095% валового азота, 0,125—0,168% валовой фосфорной кислоты, 7—10% карбонатов, 0,058—0,080% валового гипса и 0,060—0,126% плотного остатка без закономерных отличий по вариантам расхода и длине борозды.

Более отчетливая картина зависимости ирригационного смыва от техники полива получена при учете объема промоин (табл. 5), хотя она не во всем согласуется с данными мутности.

Таблица 5

Ирригационный* смыв почвы (т/га) в полевом опыте в зависимости от длины борозды и размера поливной струи

Вариант	Уклон	Полив**	Расстояние от головы поливной борозды, м					Среднее, м		
			0-100***	100-200	200-300	300-400	400-500	0-300	0-400	0-500
0,2 л/сек	0,018	I—II	57	22	6	—	—	28	—	—
		III—IV	130	23	16	—	—	56	—	—
		Среднее за 1 полив	47	11	6	—	—	21	—	—
0,3 л/сек	0,017	I—II	72	50	23	19	5	48	41	34
		III—IV	135	110	81	35	28	109	90	78
		Среднее за 1 полив	51	40	26	14	8	39	33	28
0,4 л/сек	0,016	I—II	218	83	83	45	20	94	82	70
		III—IV	172	146	136	69	31	151	131	111
		Среднее за 1 полив	97	57	55	28	12	70	59	50

Примечание. *Из предположения, что промоины в каждом междурядии на 1 га длиной 100 м.

**После I и II полива проведены междурядные обработки хлопчатника, а после III, IV обработок не было.

*** Повторность 10-кратная на каждом створе поливной борозды.

Рост смыва с увеличением расхода в борозду наблюдается при всех поливах и на всех створах, причем он растет быстрее, чем расход. При расходе 0,2 л/сек на отрезке борозды 0—300 м смыв (условный) составил 21 т/га за 1 полив, а при увеличении расхода вдвое он вырос до 70 т/га, т. е. более чем втрое. При большей длине борозды смыв с увеличением расхода растет медленнее.

Во всех случаях наибольший смыв отмечается в голове борозды, он уменьшается по мере продвижения вниз, но чем больше расход, тем дальше область высокого смыва. Так, смыв на отрезках 0—100 и 100—200 м (III—IV поливы) при расходе 0,2 л/сек составлял 130 и 23 т/га (уменьшение в 6 раз); при 0,3 л/сек — 135 и 110 т/га (уменьшение в 1,3 раза); при 0,4 л/сек — 172 и 146 т/га (снижение в 1,2 раза); даже на отрезке 200—300 м смыв равнялся 136 т/га. Нечто подобное наблюдалось и по мутности.

Заметное возрастание эрозии для тех порядковых номеров поливов, где обработка прекращалась, представляется неожиданным. В отношении четвертого полива эти данные противоречат тому, что было получено по учету мутности; раскрытию этого противоречия следует посвятить специальные опыты. С удлинением борозды смыв (в среднем) уменьшается: при расходе 0,3 л/сек для 0—300 м он равен 39 т/га, для 0—400 м — 33 т/га и для 0—500 м — 28 т/га; при расходе 0,4 л/сек эти цифры различаются еще резче — 70; 59 и 50 т/га соответственно.

Таким образом, удлинение борозды, если это не связано с доведением струи до размывающих скоростей, способствует уменьшению выноса почвы за пределы данного участка, т. е. в сбросные воды.

Среднегодовая величина ирригационного смыва для серозема в 150 т/га (эта цифра скорее минимальная, что подкрепляется экспериментальными данными нашими и других исследователей Средней Азии), свидетельствует о больших потерях: азота 30 кг/га, фосфорной кислоты 75 кг/га и гумуса до 0,5 т/га. Хотя серозем в лессе обладает неисчерпаемым потенциальным плодородием и «умеренный смыв», по Г. Конке и А. Бертрану [31], даже повышает ценность таких земель, надо уметь определять величину «умеренного смыва».

В условиях пояса сероземов Средней Азии подобные работы нам неизвестны.

Департамент Земледелия США дает для разных условий предельные цифры — 2—11 т/га в год. Для наших условий можно, по некоторым соображениям, принять в среднем 10 т/га.

Таким образом, чтобы в сброс уходило почвы меньше указанной нормы, при изучавшейся технике полива, на уклонах 0,017 при расходе 0,2 л/сек, надо длину борозды доводить до 300 м или снижать расход, а в варианте с 0,3 л/сек удлинять борозду до 500 м. Однако и в том и в другом случае будет происходить интенсивная передвижка почвы («самопланировка») из головы борозды к ее середине, а потом к хвостовой части, что нежелательно, так как создается резкая пестрота поля, обуславливающая неравномерность поспевания почвы и созревания хлопчатника. Это затрудняет проведение сельскохозяйственных работ.

Влияние техники полива и эрозии на хлопчатник. Наблюдения и учеты за ходом хлопчатника показали, что с увеличением длины поливной борозды темпы цветения падают (табл. 6). На 100 м отрезка поливных борозд при расходах 0,2, 0,3 и 0,4 л/сек было 60, 70 и 72% цветущих растений, тогда как на 300-метровом соответственно 20, 46 и 26%. В варианте с 0,3 л/сек на отрезках поливных борозд в 400 и 500 м цветущих растений было всего 19 и 14%.

В последующих учетах хода цветения эта разница сглаживается, но различия все же остаются; с увеличением расхода на данном отрезке борозды, как правило, темп цветения усиливается (табл. 6).

Таблица 6

Темпы цветения хлопчатника в полевом опыте 1963 г., %

Вариант	Дата учета	Расстояние от головы поливной борозды, м					Разница по сравнению с данными по 0—100 м			
		0—100	100—200	200—300	300—400	400—500	200	300	400	500
0,2 л/сек	10.VII	60	68	20	—	—	12	40	—	—
	22.VII	94	86	66	—	—	8	28	—	—
	25.VII	100	90	74	—	—	10	26	—	—
	10.VII	70	52	46	19	14	18	24	51	56
0,3 л/сек	22.VII	92	76	82	70	84	16	10	22	8
	25.VII	94	94	92	80	86	0	2	14	8
	10.VII	72	60	26	48	34	12	46	24	38
0,4 л/сек	22.VII	86	88	68	84	60	—2	18	2	26
	25.VII	90	92	88	96	76	—2	2	6	14

Примечание. Повторность 10-кратная; 250 растений.

Закономерность, установленная для цветения хлопчатника, в зависимости от длины поливной борозды и струи воды, подаваемой в мае, подтверждается и данными по росту, развитию и созреванию коробочек хлопчатника, а также по урожаю (табл. 7).

Таблица 7

Урожай хлопка-сырца в полевом опыте 1963 г., ц/га

Вариант	Площадь под вариантом, га	Урожай ц/га*	Расстояние от головы поливной борозды, м					Разница по сравнению с данными по 0—100 м			
			0—100	100—200	200—300	300—400	400—500	200	300	400	500
0,2 л/сек	0,75	Общий	28,8	30,5	28,6	—	—	—1,7	0,2	—	—
		В том числе доморозный	25,1	24,2	21,5	—	—	0,9	3,6	—	—
0,3 л/сек	0,75	Общий	27,6	30,1	29,0	21,1**	25,4	—2,5	—1,4	6,5	2,2
		В том числе доморозный	24,2	23,0	23,4	19,8	22,6	1,8	0,8	4,3	1,6
0,4 л/сек	0,75	Общий	27,7	29,7	28,2	27,5	26,3	—2,0	—0,5	0,2	1,4
		В том числе доморозный	24,6	23,4	23,2	22,4	19,5	1,2	1,4	2,2	5,1

* Урожай собран по всей длине поливных борозд.

** Цифра неточная

Наивысший урожай хлопка-сырца получен на отрезке поливных борозд в 100—200 м во всех вариантах опыта.

При струе воды 0,2 л/сек в поливную борозду урожай составил 30,5 ц/га; при 0,3 л/сек — 30,1 ц/га и при 0,4 л/сек — 29,7 ц/га, т. е. величина расхода значения не имела.

Из табл. 7 также видно, что урожай хлопка-сырца по длине поливных борозд иногда несколько снижается: при струе воды 0,2 л/сек — после 200 м; при 0,3 л/сек с 300 м; а при 0,4 л/сек — с 400 м соответственно

на 0,2—6,5 и 1,4 ц/га. В целом урожай по опытному участку высокий, и это особенно важно, так как он получен на 3-й год после капитальных планировок.

Роль полимера К-4 в технике полива, эрозии и культуре хлопчатника. Препарат вносился допосевно, во второй декаде апреля (табл. 8). Перед вторым поливом 15 июля, т. е. через 3 месяца после внесения, определяли водопрочность структур. Оказалось, что в горизонте 0—5 см при внесении К-4 содержание агрегатов возросло с 8 до 15% в контроле и с 25 до 49% в варианте.

Таблица 8

Результаты агрегатного анализа серозема по методу Павлова в полевом опыте с применением „К-4“ (1963 г.)

Вариант	Глубина, см	До второго полива (15.VII)						После второго полива (22.VII)					
		Контроль			К-4			Контроль			К-4		
		более 0,25	1—0,25	сумма более 0,25	более 0,25	1—0,25	сумма более 0,25	более 0,25	1—0,25	сумма более 0,25	более 0,25	1—0,25	сумма более 0,25
0,2 л/сек	0—5	2	12	14	40	5	45	0	3	3	7	12	19
	5—20	1	2	3	1	1	2	0	1	1	1	2	3
	20—40	1	1	2	14	1	15	0	1	1	1	1	2
	0—5	1	7	8	19	6	25	2	2	4	18	9	27
	5—20	0	1	1	2	2	4	0	1	1	1	1	2
0,3 л/сек	20—40	1	1	2	0	1	1	0	0	0	0	1	1
	0—5	1	14	15	42	7	49	4	4	8	34	3	37
0,4 л/сек	5—20	1	2	3	3	2	5	2	1	3	1	2	3
	20—40	1	1	2	2	1	3	2	0	2	1	1	2

Интересно, что под влиянием К-4 сформировались агрегаты крупнее 1 мм: в контроле их было 1—2%, а после внесения полимера — 19—42%. Это подтверждает данные, полученные ранее [11, 12]. Такая перестройка структурного состава даже тонкого слоя почвы должна была сказаться на других, особенно водных, свойствах серозема. За 3 мес. препарат не проник глубже того слоя, куда его вносили. По результатам агрегатного анализа, ниже 5 см между контролем и вариантом различий нет.

Варианты расхода поливной струи в борозду после одного полива не вызвали закономерного изменения структуры почвы. Так, наивысший выход водопрочной структуры получен в варианте с 0,4 л/сек — 49%, а минимальный в варианте с 0,3 л/сек — 25%. Видимо, сказывается неравномерность внесения и, возможно, недостаточность числа точек для получения смешанного образца.

После второго полива агрегаты более 0,25 мм в контроле достигли 8—15% (обычно в это время года они находятся на уровне 5—8%); в вариантах с К-4 также произошло некоторое разрушение структуры, особенно сильное при расходе 0,2 л/сек, что, возможно, связано с планировками. Но все же в вариантах с К-4 осталось агрегатов в 5—6 раз больше, чем в контролях.

К-4 способствовал значительному повышению водопроницаемости почвы. По методу С. Н. Рыжова, в контрольных бороздах за 5 час. впиталось 74,1 л, а с К-4 — 92,0 л.

В результате поливные нормы под влиянием полимера увеличились, по-видимому, за счет сокращения сброса на 6—33% (табл. 9).

Таблица 9

Поливные нормы при различной струе с применением препарата К-4, м³/га

Вариант	Уклон	Полив	Время подачи воды, часы	Длина борозды 100 м		Разница	
				контроль	К-4	м ²	%
0,2 л/сек	0,018	1	64	Не учитывались			
		2	40	740	860	120	16,2
		3	54	830	1106	276	32,5
		4	53	1150	1440	290	25,2
Итого				2720	3406	686	28,9
0,3 л/сек	0,017	1	64	Не учитывались			
		2	40	990	1200	210	21,2
		3	54	950	1220	270	28,4
		4	53	720	830	110	15,3
Итого				2660	3250	590	18,2
0,4 л/сек	0,016	1	64	Не учитывались			
		2	40	1150	1450	300	26,1
		3	54	1560	1650	90	5,8
		4	53	850	970	120	14,1
Итого				3560	4070	510	14,0

Чем меньше расход в борозду, тем эффективнее влияние препарата на впитывание: при 0,2 л/сек увеличение составило 29%, при 0,3 л/сек — 18 и при 0,4 л/сек — 14%. Видимо, это связано с разрушающим и заиляющим действием повышенных скоростей в борозде, хотя первое не установлено агрегатным анализом. При четвертом поливе роль К-4 в повышении впитывания ослабевает.

Возрастание поглощения воды почвой после ее оструктурирования в известной мере подтверждается результатами наблюдения над влажностью. Так, в варианте с 0,4 л/сек после четвертого полива влажность в слое 0—100 см в контроле составила 16,0%, а с К-4—18,7%, т. е. увеличилась на 2,7%, тогда как поливная норма в контроле в этот же срок — 850 м³/га, а с К-4—970 м³/га, прибавка — 14%. В других случаях это соответствие несколько нарушается.

Специальными наблюдениями над влажностью почвы в течение суток установлено, что в жаркие часы дня структурный слой, подсохнув быстрее, чем на контроле, сохраняет в подструктурном слое несколько больше влаги. В ночные часы в результате конденсации в нем накапливалось на 2% влаги больше, чем в контроле. Предыдущими исследованиями выявлено то же.

Влияние К-4 на ирригационный смыв проявилось в заметном снижении твердого стока (табл. 10).

Например, в варианте с 0,2 л/сек при II, III и IV поливах мутность в три срока за 24-часовой период полива с К-4 в среднем составила 1,5, 0,8 и 0,2 г/л, а в контроле — 7,1, 4,4 и 5,2 г/л. При расходе 0,4 л/сек с К-4—5, 2, 1 и 1 г/л, а в контроле соответственно 9,8, 15,4 и 5,4 г/л.

С внесением 500 кг/га препарата К-4 в поливные борозды ирригационный смыв почвы при расходе 0,2 л/сек уменьшается в 7 раз, а при 0,4 л/сек — в 3 раза по сравнению с контролем.

Под влиянием полимера мутность настолько снижается, что максимальная ее величина (за вычетом мутности из ок-арыка) достигает

Мутность поливной струи в зависимости от времени взятия образца, размера поливной струи и от действия препарата К-4, г/л

Вариант	Длина поливной борозды, м	Время взятия пробы	II полив			III полив			IV полив		
			ок. арык	конт. роль	К-4	ок. арык	конт. роль	К-4	ок. арык	конт. роль	К-4
0,2 л/сек	100	5 мин.	4,3	9,4	2,5	1,2	10,5	2,3	1,3	8,6	1,0
		30 "	2,1	4,5	3,1	0,5	4,7	1,1	1,0	10,2	—
		1 час	2,2	4,5	1,4	0,5	5,4	0,2	0,7	6,5	0,1
		8 "	0,7	8,4	0,3	0,2	2,4	0,1	0,2	0,7	0
		24 "	0,4	8,8	0,4	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0
		среднее	1,9	7,1	1,5	0,5	4,4	0,8	0,7	5,2	0,2
0,3 л/сек	100	5 мин.	4,3	6,2	4,5	1,2	21,8	10,8	1,3	5,3	5,7
		30 "	2,1	8,3	3,1	0,5	12,5	1,8	1,0	6,3	8,5
		1 час	2,2	7,8	15,7	0,5	13,0	2,2	0,7	8,4	3,3
		8 "	0,7	6,6	1,0	0,2	8,8	1,2	0,2	1,7	0,6
		24 "	0,4	9,2	1,2	0,1	1,8	0,1	0,2	1,2	0,2
		среднее	1,9	7,5	5,1	0,5	11,6	3,2	0,7	4,6	3,6
0,4 л/сек	100	5 мин.	4,3	11,2	8,9	1,2	14,1	2,0	1,3	4,3	1,2
		30 "	2,1	9,4	7,0	0,5	15,2	2,6	1,0	10,4	0,3
		1 час	2,2	16,4	5,4	0,5	28,3	2,6	0,7	3,8	1,1
		8 "	0,7	6,6	2,1	0,2	15,3	2,2	0,2	5,3	2,0
		24 "	0,4	5,3	1,7	0,1	4,3	1,2	0,2	3,2	0,4
		среднее	1,9	9,8	5,0	0,5	15,4	2,1	0,7	5,4	1,0

13 г/л, но большая часть показаний равна нескольким граммам на литр. На контролях максимум мутности достиг 28 г/л. При четвертом поливе мутность в бороздах и с К-4, и в контрольных ниже, чем в предыдущие поливы. Подтвердились и некоторые другие закономерности, отмеченные в табл. 6.

По подсчету объема промоин в среднем за один полив из трех (II, III и IV) условный смыв при расходе воды 0,2 л/сек в контроле составил 55, а с К-4—0; при 0,3 л/сек—55 и 9; при 0,4 л/сек—93 и 11.

Полимерный препарат К-4 при струе 0,2 л/сек предотвратил эрозию, а при струе 0,3 и 0,4 л/сек снизил смыв почвы в 6—9 раз, по сравнению с контролем.

Между вариантами с К-4 и их контролем по темпам цветения особых различий не наблюдалось.

Вначале в варианте с К-4 коробочки созревали интенсивнее, чем в контроле. Так, при первом учете в варианте 0,2 л/сек на 4—6%, с 0,3 л/сек — на 8, а при 0,4 л/сек — на 6—10%; при последующих учетах эта разница исчезла.

По количеству сформировавшихся коробочек вариант с К-4 имел следующие показатели: при 0,2 л/сек—11,4, при 0,3 л/сек—11,1 и при 0,4 л/сек—10,3, а его контроли соответственно 11,1; 10,5 и 9,9, т. е. в трех вариантах с применением препарата число коробочек в среднем на одно растение увеличилось на 0,3—0,6.

В общем препарат К-4 дал некоторую, видимо, недостоверную прибавку урожая хлопка-сырца (табл. 10); при расходах 0,2, 0,3 и 0,4 л/сек она равна соответственно 0,4; 1,3 и 0,8 ц/га, что в среднем по трем вариантам опыта составляет 0,8 ц/га при среднем урожае на этом отрезке поливных борозд 28 ц/га.

Такие низкие прибавки урожая хлопка-сырца от внесения К-4 на орошаемом типичном сероземе получены впервые (табл. 11). В предыдущих пятилетних полевых и вегетационных опытах урожай увеличился на 3—5 ц/га.

Таблица 11

Влияние К-4 на урожай хлопка-сырца, ц/га

Расход воды в поливную борозду, л/сек	Вариант опыта				Разница в урожае по	
	контроль		К-4		общему	доморозному
	общий	в том числе доморозный	общий	в том числе доморозный		
0,2	28,8	25,1	29,2	26,2	0,4	1,1
0,3	27,6	24,2	28,9	25,7	1,3	1,5
0,4	27,7	24,6	28,5	25,7	0,8	1,1

Некоторые гидравлические элементы поливной струи в связи с эрозией и применением полимера. Наблюдения и микроинвентаризация проводились при втором и третьем поливах (табл. 12).

Таблица 12

Номер борозды	Обработка	Уклон	Расход, л/сек	Скорость, м/сек	Эрозия
------------------	-----------	-------	------------------	--------------------	--------

II полив

2	К-4	—	0,235	0,128	Нет
7	Контроль	0,031	0,285	0,222	Размыв
10	Контроль	—	0,163	0,275	"
27	К-4	—	0,292	0,190	Нет
29	Контроль	—	0,235	0,218	Размыв
42	Контроль	0,021	0,292	0,280	"
46	К-4	—	0,392	0,220	Оплывание слабое

III полив

1	К-4	—	0,210	—	Нет
3	Контроль	—	0,200	—	Размыв
5	Контроль	—	—	—	"
26	К-4	—	0,300	—	Нет

Размыв поливной борозды представляет промоину глубиной до 10 см при ширине до 15 см протяженностью, в зависимости от расхода, до 100 м и более. Глубина промоины вдоль борозды уменьшается (см).

Расход, л/сек	120 м	200 м	300 м	400 м	500 м
0,2	4,5	2,5	1,5	—	—
0,3	3,1	3,7	2,6	2,7	1,0
0,4	8,1	3,4	3,4	2,2	1,9

Ирригационные промоины в поперечном сечении имеют разнообразные формы — треугольную, трапециевидную, прямоугольную. Прямоугольная часто встречается в той части борозды, где размыв сменяется отложением. Смена эрозии аккумуляцией нередко наблюдается и на раз-

мываемых участках борозды, что, видимо, связано с временными изменениями расхода или возникновением в борозде случайных препятствий.

Итоги 120 замеров гидравлических элементов поливной струи приведены в табл. 13; из них видно, что препарат К-4 вызывает заметное возрастание шероховатости, а в связи с этим, снижается скорость и увеличивается живое сечение.

Таблица 13

Гидравлические элементы поливной струи в опыте с длинными бороздами

Уклон	Расход, л/сек	Скорость, м/сек	Площадь живого сечения, м ²
Контрольные борозды			
0,0210	0,10	0,12	0,00083
0,0210	0,15	0,16	0,00093
0,0210	0,21	0,20	0,00105
0,0210	0,45	0,30	0,00150
0,0350	0,06	0,12	0,00050
0,0350	0,12	0,20	0,00060
0,0350	0,27	0,30	0,00090
0,0610	0,02	0,12	0,00017
0,0610	0,05	0,20	0,00040
0,0610	0,17	0,30	0,00056
Борозды с К-4			
0,0210	0,24	0,14	0,00171
0,0210	0,37	0,20	0,00185
0,0210	0,70	0,30	0,00233
0,0255	0,21	0,14	0,00150
0,0255	0,31	0,20	0,00155
0,0255	0,82	0,30	0,00273
0,0312	0,14	0,14	0,00100
0,0312	0,24	0,20	0,00120
0,0312	0,52	0,30	0,00173

Так, в контроле при уклоне 0,021 и расходе 0,21 л/сек скорость равнялась 0,20 м/сек, а живое сечение 0,00105 м²; в варианте с К-4 при том же уклоне и расходе эти величины составили 0,14 м/сек и 0,00171 м².

На том же уклоне, в контроле, струя 0,45 л/сек дала скорость 0,30 м/сек, а с К-4 при расходе почти вдвое большем — 0,70 л/сек — она оказалась такой же.

При уклоне борозды в контроле 0,035 и расходе 0,27 л/сек скорость достигла 0,30 м/сек, а живое сечение 0,00090 м², тогда как в варианте с К-4 при уклоне 0,031 и расходе 0,24 л/сек скорость снизилась до 0,20, а площадь живого сечения увеличилась до 0,00120 м²; лишь при удвоении расхода до 0,52 скорость возросла до 0,30 м/сек.

Повышение шероховатости под воздействием К-4 вполне понятно, так как этот препарат способствовал формированию значительно более крупных агрегатов, чем в контроле (табл. 6). Замедление скорости привело к снижению эрозии и улучшению поглощения почвой воды.

При подсчете данных зависимости площади живого сечения $\omega = f(q, i, v)$ по формулам различных авторов [17, 24, 28 и др.] получены неодинаковые результаты. Видимо, собранного нами материала еще недостаточно, или же отмеченные выше особенности серозема накладывают отпечаток на такие зависимости.

В табл. 14 приведены его расчеты коэффициента шероховатости по Манингу $C = \frac{1}{n} R^{1/6}$ и по Павловскому при $R \leq 0,1$ $C = \frac{1}{n} R^{1,7} \sqrt{n}$.

Коэффициент шероховатости в опыте с поливом по длинным бороздам

Уклоны	Расход, л/сек	Гидрау- лический радиус	Скорость, м/сек	Скоростной коэффициент	Коэффициент шероховатости	
					по Манингу	по Павловскому
0,018	0,70	0,015	0,388	23,5	0,0212	0,0170
0,003	0,40	0,013	0,172	29,4	0,0160	0,0144
0,002	0,40	0,009	0,192	43,6	0,0106	0,0102
0,018	0,32	0,011	0,266	19,0	0,0252	0,0184
0,050	0,31	0,008	0,463	23,1	0,0194	0,0158
0,050	0,11	0,008	0,270	15,0	0,0290	0,0206
0,018	0,10	0,007	0,178	15,6	0,0282	0,0196
0,018	0,06	0,004	0,187	20,1	0,0204	0,0164
0,003	0,06	0,006	0,092	20,0	0,0215	0,00167

Расхождения по обеим формулам небольшие, но по Манингу величина L постоянно выше, чем по Павловскому.

Значения коэффициента шероховатости по Павловскому колеблются в пределах 0,0164—0,0206; К. А. Жарова [18] для типичного серозема Чуйской долины установила несколько другие значения — 0,0167—0,0286; А. Н. Ляпин (цит. по Жаровой) [15] для лугово-сероземных почв определил пределы 0,0156—0,0182. Все это подтверждает реальность и наших данных. Из результатов агрегатного анализа орошаемых сероземов Приташкентского района, Чуйской долины и даже сероземно-луговых почв видно, что резкой разницы в коэффициенте шероховатости нет. Эта величина будет одинакова для всех автоморфных орошаемых почв Туранской почвенно-географической провинции. После сбора соответствующего материала появится возможность районирования коэффициента. Как видно из приведенных данных, он увеличивается с уменьшением расхода или увеличением уклона, так как и то, и другое связано с уменьшением глубины наполнения борозд. Совпадение полученных выводов с общеизвестной закономерностью позволяет считать собранные данные достоверными.

В результате наблюдений за испарением из поливных борозд (табл. 15) установлено следующее.

Летом в утренние часы температура почвы на 6—8° ниже температуры воздуха; в дневные часы наоборот — разница достигает 10°. В это время нагрев воды наибольший, но отстает от почвы почти на 20°.

Интенсивность испарения в борозде в 8 раз больше, чем в стакане. По предварительным данным, потери на испарение составляют доли процента от расхода в голове борозды, но этот вывод следует проверить.

Обсуждение результатов. Своеобразная черта почвенного покрова опытного участка — засоленность. Поэтому требуется повторить исследования в условиях обычного типичного серозема. Едва ли удастся это сделать на неспланированных склонах, так как борозды обычно короче 500 м.

Рельеф участка характерен для приташкентских чулей. Метеорологические условия 1963 г. были очень благоприятными, что тоже требует повторения опыта. Агротехника в целом была удовлетворительной.

Учет поливной воды, по-видимому, должен быть улучшен с введением вариантов продолжительности полива и определением воды, ушедшей на глубинное просачивание.

Продолжительность полива в 40—64 часа как при длине борозды 300 м, так и 500 не может считаться нормальной. Некоторые расхождения между данными по количеству впитавшейся воды и влажностью почвы свидетельствуют о дефектах замера. Глубина, на которую необходимо учитывать влажность, должна быть минимум 2 м.

Температура воздуха, почвы и воды в опыте с длинными бороздами

Уклон	Время суток, часы	Створ	Температура, °С		
			воздуха	почвы	воды
27.VIII 1963 г.					
0,007	11—00	+0	+30,7	+22,0	19,1
		+15	+30,9	+24,0	21,8
	15—20	+0	+31,5	+40,0	21,0
		+15	+31,0	+39,5	23,5
	21—30	+0	+15,0	+24,0	17,1
		+15	+14,0	+24,0	17,6
17.IX 1963 г.					
0,002	11—00	+0	+24,0	+23,0	14,0
		+63	+24,0	+23,5	20,0
	16—55	+0	+25,2	+25,0	15,4
		+63	+25,0	+33,7	19,2
	19—00	+0	+25,0	+24,0	15,5
		+63	+25,5	+22,0	16,0

Высокая пульсация величины мутности и несколько пестрые результаты свидетельствуют о неустойчивости этого показателя, хотя Израэльсон [35] считает его более выразительным, чем смыв, вычисленный по объему промоин.

Характер величины мутности струи поверхностного стока до нескольких десятков г/л не вызывает сомнения. Такие величины для сероземов получили В. Б. Гуссак, Х. Махсудов [10] и др.

В опытах на Аккаваке также на орошаемом типичном сероземе тяжелого механического состава М. Курбанов [21] получил всего 2,38 г/л при уклонах 0,015—0,018, расходе 0,4 л/сек и длине борозды 100—200 м. В наших исследованиях такие величины получались лишь при четвертом поливе, через 8 час. после начала полива.

Отличные наблюдения провел в АрменИГИМе Е. С. Акопов¹ [1]. По его данным, на бурых культурно-поливных почвах, средне-суглинистых, бесструктурных при уклоне 0,0173 и расходе 0,9 л/сек (!) средняя за полив мутность на расстоянии 100 м от головы борозды достигала 12 г/л.

В опытах К. А. Жаровой, методически хорошо продуманных и поставленных на орошаемом северном сероземе Чуйской долины, мутность при уклоне 0,0292 и расходе 0,2 л/сек через 14 час. после начала полива превысила 25 г/л. Интересно, что в ее опытах получены два максимума мутности: в первый час и через 8 час. Мы в своих экспериментах этого не наблюдали.

По данным Израэльсона [35], для почв типа, близкого к сероземному (тяжело-суглинистые из штата юга), мутность при уклоне 0,019, расходе в борозду 0,3 л/сек и ширине междурядий 1,0 м равнялась 15 г/л и более.

При назначении неразмывающих расходов для данного уклона нужно исходить не из общих нормативов, а из данных прямого опыта.

К учету смыва по объему свежих промоин приходится прибегать потому, что данные мутности отличаются большой неустойчивостью во времени и пространстве. При нашей методике мутность струи дает, с од-

¹ Из сообщения Е. С. Акопова на совещании по ирригационной эрозии республик Средней Азии и Закавказья 17—18. III—1962 г. в г. Ташкенте.

ной стороны, заниженные величины (в пробу входят лишь взвешенные наносы), а с другой, завышенные (бутылка создает в струе местные сопротивления, и могут образовываться завихрения, в какой-то мере обуславливающие местный размыв). Баланс этих явлений с разным знаком еще не выяснен. Правильное методическое решение данной задачи — учет всего твердого стока в конце борозды определенной длины.

За границей для этой цели применяют делительную камеру или делительный поток, которые следует испытать и в наших условиях.

Если принять среднюю мутность за 10 г/л, то при оросительной норме 4000 м³/га смыв составит 40 т/га.

Полученные величины смыва по объему промоин не вызывают сомнения. Такие испытания проводились многими авторами [4, 7, 17, 30, 33, 35, 37], которые в аналогичных условиях получали близкие к приведенным результаты. Следовательно, установленные закономерности следует признать реальными и положить их в основу рекомендации элементов техники полива на больших уклонах.

Общий высокий уровень урожая на 3-й год после капитальных планировок объясняется тем, что почвы уже были изрядно смыты до планировок и в общем неплохо окультурены.

Несомненна положительная роль полимера в борьбе с ирригационной эрозией и для культуры хлопчатника особенно при обработке им верхней, наиболее размываемой, части борозды; но пока этот препарат весьма дорог. В будущем препарат будет удешевлен, и потому в целях защиты почв от эрозии исследования с применением К-4 следует продолжать.

При скоростях струи более 0,2 м/сек, по нашим данным, серозем размывается. По вопросу о критических скоростях размыва имеется обширная литература. Решая «теоретико-экспериментальное» уравнение зависимости первой критической скорости от диаметра частиц, В. В. Звонков установил, что она лежит в пределах 0,18—0,22 м/сек.

Цифру 0,2 м/сек как критическую скорость размыва получила и К. А. Жарова. Как известно, чтобы вода в борозде не была опасной в отношении размыва, скорость ее не должна превышать 0,2 м/сек [23].

При улучшении структурного состояния почвы, т. е. повышении шероховатости, можно повысить критическую скорость без увеличения эрозии.

У нас еще мало используется третий путь борьбы с ирригационным смывом — полив по горизонтали или близкому к нему направлению.

Изучение техники так называемого «контурного полива» поставлено в программу исследований обоих институтов. Опыты заложены в 1964 г.

ВЫВОДЫ

В результате опытов одного года, очевидно, нельзя дать законченные рекомендации по почвоохранной технике полива. Однако итоги полученных данных можно представить в виде таблицы, в которой отдельные элементы подобраны так, чтобы скорости были ниже критических, а время полива в пределах допустимого (табл. 16).

На удлиненных бороздах можно добиться равномерного увлажнения почвы и получения высокого урожая хлопка, но это ведет к резкому перераспределению почвенного покрова вдоль борозды, чего следует избегать.

Значительного изменения борозд можно добиться улучшением структуры почвы и при контурном поливе.

Проект почвозащитной техники полива на орошаемых типичных сероземах, суглинистых (для условий приташкентских чумалов)

Элементы техники	Уклоны		
	0,05—0,04	0,03	0,02

Обычные борозды

Расход в борозду, л/сек	0,05	0,10	0,18
Длина борозды, м	70	150	200
Скорость, м/сек	0,15	0,16	0,17

Борозды с К-4

Расход, л/сек	0,15	0,25	0,30
Длина борозды, м	200	300	400
Скорость, м/сек	0,18	0,20	0,21

Во всех указанных случаях допустимые нормы годового смыва выражаются в 10 т/га.

Единовременные срезы при планировках на несмытом сероземе на лессе не должны превышать 10—20 см, на смытом они могут быть в отдельных случаях и значительнее, но обязательно применение высоких доз минеральных и органических удобрений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акопов Е. С. Ирригационная эрозия почвы и меры борьбы с ней, Ереван, АрмНИИГИМ, 1962
2. Алекперов К. А. Распространение эрозии почв в Азербайджане, «Почвоведение», 1957, № 1.
3. Аскочешский А. Н. Основные направления и методы водохозяйственных работ в засушливых районах Советского Союза, В сб. «Водный режим растений засушливой области», М., 1961.
4. Бабаев Н. Х. Ирригационная эрозия в элементах оросительной сети и приемы предупреждения ее в условиях предгорных районов Заилийского Ала-Тау, Автореферат канд. диссертации, Фрунзе, 1956.
5. Бабаев Н. Х. Ирригационная эрозия в горных и предгорных районах Казахстана, Алма-Ата, Казсельхозгиз, 1962.
6. Беседин П. Н., Сучков С. П. Почвенный покров Аккавакской центральной агротехнической станции СоюзНИИХИ, Сб. Научных статей комсомольцев СоюзНИИХИ, Ташкент, 1939.
7. Буачидзе В. М. К вопросу об ирригационной эрозии в Сумгари, Труды ГрузНИИГ и М, Тбилиси, вып. 20, 1958.
8. Гуссак В. Б. Эродированность почв, Автореферат докторской диссертации, Ташкент, АН УзССР, 1959.
9. Гуссак В. Б., Я. М. Насыров и Ю. А. Скворцов. Почвообразование на лессовых аккумуляциях разного возраста и плодородие сероземов, Ташкент, 1961.
10. Гуссак В. Б., Махсудов Х. Дискуссионные вопросы борьбы с ирригационной эрозией, Тезисы докладов 3-ей Республиканской конференции почвоведов Казахстана, Алма-Ата, АН КазССР, 1961.
11. Гуссак В. Б. и Махсудов Х. Ирригационная эрозия на типичном сероземе и вопросы борьбы с ней, Труды Ин-та почвоведения, вып. 3, Ташкент, 1963.
12. Гуссак В. Б., Паганяс К. П. Некоторые итоги четырехлетних опытов по оструктурированию орошаемого типичного серозема, «Почвоведение», 1964, № 5.
13. Еременко В. Е. Режим орошения и техника полива хлопчатника, Ташкент, АН УзССР, 1957.
14. Еременко В. Е. Техника полива хлопчатника при комплексной механизации работ в хлопководстве, Ташкент, 1960

15. Жарова К. А. Влияние размера поливной струи и длины борозды на интенсивность эрозии, «Вестник сельскохозяйственной науки», 1963, № 11.
16. Звонков В. В. Водная и ветровая эрозия земли, М., 1962.
17. Ибрагимов А. А. К вопросу изучения ирригационной эрозии в Джебраильском районе Азербайджанской ССР, «Изв. АН Азерб. ССР», Серия биологических наук, 1961, № 9.
18. Исмаилов Г. И., Голубинская М. И., Тальбов Г. В. Ирригационная эрозия почвы на посевах хлопчатника в колхозах Шамхорского района Азерб. ССР, Труды сектора эрозии АН Азерб. ССР, т. I, 1961.
19. Костяков А. Н. Основы мелиорации, М., 1951.
20. Кривовяз С. М. Выбор поливной струи в борозду, «Сельское хозяйство Узбекистана» 1961, № 12.
21. Курбанов М. Техника полива хлопчатника при суженных междурядьях, Автореферат канд. диссертации, Ашхабад, АН Туркм. ССР, 1963.
22. Ляпин А. Н. Выбор рациональных элементов техники полива при новой системе орошения, «Хлопководство», 1963, № 5.
23. Махсудов Х. «Ирригационная эрозия на типичном сероземе и принципы борьбы с ней», Автореферат канд. диссертации, Ташкент, 1963.
24. Меднис М. Техника полива хлопчатника на крутых склонах, «Хлопководство», 1958, № 12.
25. Окулич-Казарин Э. Л., Челюканов М. Д. Опыт применения гибких трубопроводов на поливе хлопчатника, Труды САНИИРИ, вып. 100, 1960.
26. Преснякова Г. А. Процессы ирригационной эрозии в горах и предгорьях Тянь-Шаня, «Почвоведение», 1947, № 2.
27. Сухачев А. Г. Наблюдения за развитием ирригационной эрозии в предгорной зоне Чуйской долины, Сб. студенческих н.-и. работ Киргизского государственного с/х ин-та, Фрунзе, 1953, № 1.
28. Сучков С. П. Явление ирригационной эрозии на орошаемых почвах, Бюлл. АН УзССР, 1947, № 9.
29. Михайлов Д. Я. Эрозия почв Киргизской ССР, Фрунзе, 1951.
30. Давидов Дмитр. Максимальные наклоны и оросительные струи при поверхностном поливе (болг.) «Хидротехника и мелиорация», София, 1961, № 4.
31. Конке Г., Бертран А. Охрана почвы (перевод с англ.), М., Сельхозгиз, 1962.
32. Цонева Л., Цонев И. Самотечное орошение на крутых склонах (реферат), «Сельскохозяйственная наука» (Болгария), 1962, № 7.
33. Foster A. Approved practices in Soil conservation, USA, 1955.
34. Gardner W., Laueritzen C. W. Erosion as a function of the size of the irrigating stream and the Slope of the eroding surface, S. Sc. 1946, No. 3.
35. Israelson O. W., Clyde G. D. Qund Lauritzen C. W. — Soil erosion experiments in small irrigation furrow Utah-gar experiment station Bull, 320, 1946.
36. Kohler K. O. Contour furrow irrigation S. Cons. serv. USDA, Leaflet No 342, 1954.
37. Mech S. L. Allok at erosion under furrow irrigation S. Cons. 1956, Vol. XXI, No. 8.
38. Stalling F. H. Soil use and improvement, USA, 1957.

А. Х. ГАЛБУС

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТОВ НА СРЕЗ

Параметры сопротивления грунтов сдвигу — коэффициент внутреннего трения f , давление связности ρ_e и сцепление c — обычно определяют срезными приборами различной конструкции. Как известно, сцепление и коэффициент внутреннего трения высчитывают графически или методом наименьших квадратов:

$$c = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2 \sum_{i=1}^n \tau_i - \sum_{i=1}^n \sigma_i \cdot \sum_{i=1}^n \sigma_i \cdot \tau_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n \sigma_i \right)^2}; \quad (A)$$

$$f = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n \sigma_i \cdot \tau_i - \sum_{i=1}^n \sigma_i \cdot \sum_{i=1}^n \tau_i}{n \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n \sigma_i \right)^2}. \quad (B)$$

В данной статье делается попытка установить параметры сопротивления грунтов сдвигу с помощью дважды средне-арифметического значения нормального и касательного напряжений, полученных опытным путем в срезном приборе.

Первое средне-арифметическое значение σ' и τ' выводим по формуле 1 (рисунок):

$$\frac{\sum_{i=1}^n \sigma}{n} = \sigma'; \quad \frac{\sum_{i=1}^n \tau}{n} = \tau'. \quad (1)$$

Находим второе средне-арифметическое значение (рисунок). При четном числе испытанных образцов оно принимает вид

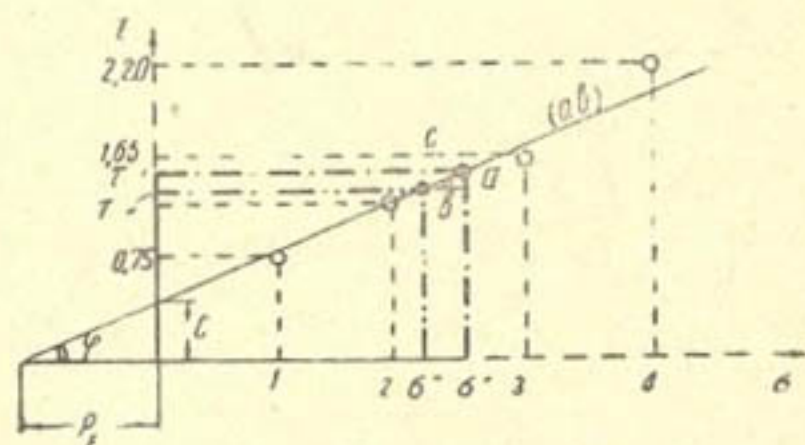


Схема нахождения параметров сопротивления грунта сдвигу.

$$\begin{aligned} \frac{\sum_{i=1}^{n_r} \sigma}{n_r} &= \sigma'' \\ n_r &= \frac{n+2}{2}; \\ \frac{\sum_{i=1}^{n_r} \tau}{n_r} &= \tau'' \end{aligned} \quad (2)$$

при нечетном —

$$\frac{\sum_{i=1}^{n'} \sigma}{n_n} = \sigma''$$

$$n_n' = \frac{n+1}{2}.$$

$$\frac{\sum_{i=1}^{n_n'} \tau}{n_n} = \tau''$$
(2a)

Здесь $\sum_1^n \sigma$; $\sum_1^{n'} \sigma$ — знаки суммы, которые надо распространить соответственно от 1 до n и от 1 до n' ;

n — количество испытанных образцов;

σ — нормальное и τ — касательное напряжения.

Получив точки в выражениях (1), (2), соединяем их прямой. Угол, образованный прямой и линией, параллельной оси абсцисс, и есть угол внутреннего трения (рисунок).

Обозначив стороны треугольника через (a, b, c) , определим их значения:

$$\left. \begin{aligned} a &= \sigma' - \sigma'' \\ b &= \tau' - \tau'' \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

После некоторых преобразований при четном числе испытанных образцов

$$\left. \begin{aligned} a &= \frac{(n+2) \sum_1^n \sigma - 2n \sum_1^{n'} \sigma}{n(2+n)} \\ b &= \frac{(n+2) \sum_1^n \tau - 2n \sum_1^{n'} \tau}{n(2+n)} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

при нечетном —

$$\left. \begin{aligned} a &= \frac{(n+1) \sum_1^n \sigma - 2n \sum_1^{n_n'} \sigma}{n(1+n)} \\ b &= \frac{(n+1) \sum_1^n \tau - 2n \sum_1^{n_n'} \tau}{n(1+n)} \end{aligned} \right\} \quad (4a)$$

Зная стороны треугольника (a) и (b) , находим коэффициент внутреннего трения i :

$$f = \frac{a}{b}. \quad (5)$$

Подставляем значения (а) и (в); в итоге решения уравнения при четном числе испытанных образцов имеем:

$$f = \frac{(n+2) \sum_1^n \tau - 2n \sum_1^{n'_r} \tau}{(n+2) \sum_1^n \sigma - 2n \sum_1^{n'_r} \sigma}; \quad (5a)$$

при нечетном —

$$f = \frac{(n+1) \sum_1^n \tau - 2n \sum_1^{n'_n} \tau}{(n+1) \sum_1^n \sigma - 2n \sum_1^{n'_n} \sigma}. \quad (5b)$$

Если продлить прямую (а, b) до пересечения с осью „σ“, то из полученного треугольника (рисунок) величина давления связности P_s равна

$$\frac{\sum_1^n \tau}{\frac{\sum_1^n \sigma}{n} + P_s} = f. \quad (6)$$

Заменяем f его значением; после некоторых преобразований при четном числе испытанных образцов получим:

$$P_s = \frac{2 \left(\sum_1^n \sigma \cdot \sum_1^{n'_r} \tau - \sum_1^n \tau \cdot \sum_1^{n'_r} \sigma \right)}{(n+2) \sum_1^n \tau - 2n \sum_1^{n'_r} \tau}; \quad (6a)$$

при нечетном —

$$P_s = \frac{2 \left(\sum_1^n \sigma \cdot \sum_1^{n'_n} \tau - \sum_1^n \tau \cdot \sum_1^{n'_n} \sigma \right)}{(n+1) \sum_1^n \tau - 2n \sum_1^{n'_n} \tau}. \quad (6b)$$

Определив значения коэффициента внутреннего трения f и давления связности P_s , величину параметра c устанавливаем из известного выражения

$$c = f \cdot P_s \quad (7)$$

Подставим значения $\bar{f}$ и P_3 ; в результате величина c параметра при четном числе испытанных образцов выглядит так:

$$c = \frac{2 \left(\sum_1^n \sigma \cdot \sum_1^{n'} \tau - \sum_1^n \tau \cdot \sum_1^{n'} \sigma \right)}{(n+2) \sum_1^n \sigma - 2 \sum_1^{n'} \sigma}; \quad (7a)$$

при нечетном —

$$c = \frac{2 \left(\sum_1^n \sigma \cdot \sum_1^{n''} \tau - \sum_1^n \tau \cdot \sum_1^{n''} \sigma \right)}{(n+1) \sum_1^n \sigma - 2n \sum_1^{n''} \sigma}. \quad (7b)$$

Пример расчета. При испытании образцов в срезном приборе получены следующие данные:

σ	τ
1,0	0,75
2,0	1,20
3,0	1,65
4,0	2,20

При этом

$$\frac{\sum_1^n \sigma}{n} = \frac{10}{4} = 2,5; \quad \frac{\sum_1^n \tau}{n} = \frac{5,8}{4} = 1,45;$$

$$\sum_1^{n'} \sigma = 1 + 2,0 + 2,5 = 5,5; \quad \sum_1^{n'} \tau = 0,75 + 1,20 + 1,45 = 3,4.$$

Так как число испытанных образцов четное ($n = 4$), пример решаем по формулам 5a, 6a, и 7a:

$$c = \frac{2 (10 \cdot 3,4 - 5,8 \cdot 5,5)}{(4+2) \cdot 10 - 2 \cdot 4 \cdot 5,5} = 0,262;$$

$$\bar{f} = \frac{(4+2) \cdot 5,8 - 2 \cdot 4 \cdot 3,4}{(4+2) \cdot 10 - 2 \cdot 4 \cdot 5,5} = 0,475.$$

Данные расчетов сравним с методом наименьших квадратов

$$c = \frac{(1^2 + 2^2 + 3^2 + 4^2) \cdot 5,8 - 10 (1 \cdot 0,75 + 2 \cdot 1,2 + 3 \cdot 1,5 + 4 \cdot 2,2)}{4 (1^2 + 2^2 + 3^2 + 4^2) - 10^2} = 0,25;$$

$$\bar{f} = \frac{4 (1 \cdot 0,75 + 2 \cdot 1,2 + 3 \cdot 1,5 + 4 \cdot 2,2) - 10 \cdot 5,8}{4 (1^2 + 2^2 + 3^2 + 4^2) - 10^2} = 0,48.$$

Разница результатов незначительна, колеблется в пределах 1—3,5%.

А. П. ОРЛОВА

К ВОПРОСУ РЕГУЛИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ ВОДОТОКОВ Г. ТАШКЕНТА

Вопрос регулирования качества воды водотоков г. Ташкента актуален и требует комплексного решения.

Все водотоки загрязнены как в химическом, так и бактериологическом отношении. Свыше 100 промышленных предприятий города только в один Салар сбрасывают сточные воды, загрязненные отходами красильного производства, нефтью, кислотами, фенолами и аммиаком.

Для регулирования качества воды в г. Ташкенте необходимо решить две основные задачи:

- 1) обеспечить водопотребителей и водопользователей качественной водой, необходимой не только для хозяйственно-питьевого водоснабжения, водообеспеченности промышленности, но и для орошения;
- 2) удаление с территории народно-хозяйственных объектов сточных вод в водоемы, которые в этом случае являются основным звеном кругооборота воды и могут быть рассмотрены как один из способов использования водных ресурсов.

Выполнение этих задач нельзя свести только к очистке сбрасываемых сточных вод или только улучшению качества воды самих водоемов. Нужна комплексная разработка решения с учетом экономической эффективности выбранного варианта на основе разрешения вопросов охраны водных ресурсов. Отдел охраны водных источников и водоснабжения Среднеазиатского института водных проблем и гидротехники провел работу по исследованию путей возможного загрязнения поверхностных водных ресурсов; определению качества воды и оценке степени загрязнения водотоков и их способности к самоочищению (на основании этих материалов составлена схема загрязнения водотоков города); разработке рекомендаций мероприятий по охране водотоков на основе изучения самоочищающей способности.

Регулирование качества воды основывалось на изучении как неники провел работу по исследованию путей возможного загрязнения содержащиеся в воде — изучали органолептическими и химическими анализами качества воды по установленным створам; несущий — по гидрологическим показателям с учетом изменений во времени и расчетами экстремальных величин — $Q_{\text{мак. г.}}$; $Q_{\text{мин. г.}}$; $Q_{\text{ср. г.}}$; $Q_{\text{мак. м.}}$; $Q_{\text{мин. м.}}$; $Q_{\text{ср. м.}}$; $Q_{\text{отб. пр.}}$, где Q — расходы в $\text{м}^3/\text{сек}$ по соответствующим рассматриваемым створам максимальные, минимальные, средние за годовой цикл, месячный или в период отбора проб. Величины расходов взяты по

данным УГМС или получены в результате балансовых расчетов согласно плану водопользования Управления оросительных систем.

Степень загрязнения определяли по средней концентрации данной примеси по зависимости

$$C = \frac{S}{Q},$$

где C — средняя концентрация исследуемого компонента примеси в створе за данный отрезок времени;

$Q \cdot S$ — несущий и несомый стоки в том же створе.

Разработанные мероприятия по охране водотоков от загрязнения практически являются регулированием качества воды каналов, выраженным через среднюю концентрацию и разбавление в пределах нормирования по компонентам.

На основании рекогносцировочного обследования на каждом из исследуемых водотоков были установлены створы, в которых изучалось качество воды на бактериологическое (коли-титр и количество сапрофитных бактерий) и химическое загрязнение по двадцати одному компоненту; устанавливали наличие плотного остатка, хлоридов, нитратов, нитритов, сульфатов, аммонийных солей, фенолов, а также солей тяжелых металлов: бора, железа, меди и хрома; определяли щелочность, жесткость, окисляемость, кислотность, БПК. Часть анализов проводили фотоэлектрокалориметрическим методом.

Створы водотоков устанавливали по степени загрязнения их стоками в месте смешения промышленного сброса с водотоком. Небольшие водотоки, учитывая их самоочищающую способность, по длине разбили на относительно равные части. Более загрязненные водотоки (Салар, Бурджар) изучали по ежемесячному циклу, остальные по сезонному.

По каналу Салар от Бозсу до Калган-Чирчика (расстояние 50,3 км) было установлено 16 створов; по Бурджару, с учетом сброса мясокомбината и кожкомбината и по Карасу с учетом сбросов Узбумкомбината — по 3 створа.

Дополнительно, анализировали воды Джун-Саларского и Низбаш-Каракульдукского узлов, кроме того, исследовалась Бозсуйская система каналов (Бозсу, Нижнее Бозсу, «Актепинский сброс» и Анхор с «Комсомольским озером»), а также Каракамыш, являющегося местом сбросов возвратных минерализованных вод (табл. 1).

Водотоки г. Ташкента принимают ежедневно 79830 м³ промышленных сточных вод, в том числе Салар 65700 м³/сутки, Бурджар 600, Карасу 4060, Чаули 4045 м³/сутки. Наиболее крупные загрязнители водотоков — текстилькомбинат, лакокрасочный, карборундовый, консервный, гидролизный заводы имеют сброс в Салар; мясокомбинат, кожкомбинат — в Бурджар и бумкомбинат — в Карасу.

Сбросные воды текстилькомбината, составляющие 12600 м³/сутки, почти без очистки (имеется только примитивная установка для обработки стоков негашеной известью) попадают в Салар. Место сброса текстилькомбината находится в антисанитарном состоянии. Текстилькомби-

Таблица 1

Наименование водотока	Число створов	Цикл исследования	Число проб	Количество химических анализов
Салар	16	Ежемес.	228	5016
Бурджар	3	Посезон.	12	264
Карасу	3	"	12	264
Бозсу	3	"	12	264
Н. Бозсу	3	"	12	264
Анхор	4	"	16	352
Каракамыш	3	"	12	264
Калькауз	3	"	12	264
Актепа	3	"	12	264

нат загрязняет Салар отходами красильного производства (окраска исчезает при разведении 1 : 120) и органическими веществами (БПК₅—20,6 мг/л, окисляемость по КМnO₄—4800 мг/л). Наиболее характерные компоненты загрязнения (результаты двухгодичных исследований) приведены в табл. 2.

Таблица 2

Показатель максимального загрязнения, мг/л	Предприятие			
	Текстиль-комбинат	з-д «Лако-краска»	Карборундовый з-д	Гидролизный з-д
Температура, °С	32,0	30,0	25,0	31,0
Взвешенные вещества	2038	595	267	1197
Плотный остаток	2202	3060	1130	4140
Общая жесткость	18,3	4,6	17,9	53,6
Кальций	222,0	40,5	154,8	482,0
Магний	233,4	31,4	139,0	359,0
Хлориды	288,0	220,0	22,1	104,0
Сульфаты	6733,8	98,8	678,1	3060,0
Азот аммонийный	9,0	3,6	5,0	25,0
Азот нитритов	1,0	0,5	0,4	1,0
Азот нитратов	2,0	1,0	60,0	59,0
Окисляемость	4800	4200	1600	42000
Растворенный кислород	10,7	5,3	5,0	5,42
Дефицит кислорода	100	80	92	100
БПК ₅	20,6	5,2	4,2	100,0
Железо	1,0	5,0	0,5	Следы
Сероводород	27,2	4,5	5,5	37,4
Фенолы	0,04	0,02	0,02	0,03
pH	12,8	12,3	8,4	8,2
Активный хлор	44,6	6,3	3,0	32,5

Лакокрасочный завод сбрасывает в Салар 2289 м³/сутки сточных вод. Стоки отстаивают и хлорируют. Однако этот способ очистки малоэффективен, так как в воде оказывается значительное количество взвешенных веществ (595 мг/л)—различных красителей, аммонийного азота (3,6 мг/л). Окисляемость стоков по КМnO₄—4200 мг/л.

Карборундовый завод загрязняет Салар взвешенными веществами (268 мг/л) и сероводородом (5,5 мг/л). Сточная вода сбрасывается неравномерно, имеются залповые сбросы. Вместе со сточной водой в Салар попадает значительное количество ценных веществ: корунда, монокорунда.

Сточные воды Янгиюльского гидролизного завода (1500 м³/сутки) содержат большое количество органических веществ (окисляемость 42000 мг/л, БПК₅ свыше 10000 мг/л). Стоки завода темно-коричневого цвета (окраска исчезает при разведении 1:225), обладают неприятным запахом (табл. 2). По данным исследований, за год текстилькомбинат сбрасывает 1356 т взвешенных веществ, 1189 т сульфатов, 2,6 т аммонийного азота, 2 т активного хлора; окисляемость составляет 8614 т; карборундовый завод—318 т взвешенных веществ, 2,3 т сероводорода; кабельный завод—2195 т взвешенных веществ, 33,3 т меди; Ташсельмаш—262 т взвешенных веществ; окисляемость—400,4 т, БПК₅—38 т; лакокрасочный завод—133 т взвешенных веществ и большое количество красителей; экскаваторный завод—52,7 т взвешенных веществ; окисляемость—96,3 т. Со сточными водами гидролизного завода в Салар попадает 186 т/год взвешенных веществ; окисляемость—5653 т/год, БПК₅—368 т/год.

Другой источник загрязнения водотоков г. Ташкента — хозяйственно-бытовые сбросы. При норме водопотребления 150 л/сутки на одного человека они составляют около 150 тыс. м³/сутки. 20% этих сбросов поступает в городскую канализационную сеть, откуда вода после механической очистки стекает в открытые водотоки; остальная часть сбросов вливается в водотоки непосредственно через городские арыки.

Степень загрязнения водотоков бытовыми сбросами рассчитана по данным С. Н. Строганова, согласно которым в бытовых сточных водах при исчислении на одного человека в сутки содержится 30—50 г взвешенных веществ; 1—8 г хлоридов; 27 г БПК₅; 6—8 г аммонийного азота; окисляемость по Кубелю равна 15 г.

По ориентировочным расчетам в один Салар вместе с хозяйственно-бытовыми сбросами в год поступает взвешенных веществ 1017 т, азота аммонийных солей — 178 т; окисляемость по КМпО₄ составляет 1906 т; БПК₅—527 т.

Водотоки Бозсу и Актепа (табл. 3, 4) относятся к чистым каналам. Основные компоненты загрязнения Бозсу: взвешенные вещества, плотный остаток, хлориды, сульфаты; окисляемость не превышает допустимые нормы. И только содержание азота аммонийного в пределах 0—0,4 мг/л, нитратов — 0—0,005 мг/л, фенолов 0,01—0,03 мг/л при норме 0,001 мг/л, БПК₅ до 5,7 мг/л при норме 2 мг/л указывает на загрязнение канала хозяйственно-бытовыми сточными водами. Результаты бактериологического анализа показали, что коли-титр водотока составляет 0,04—0,4. Бозсу — наиболее чистый канал, но так как он служит источником централизованного водоснабжения г. Ташкента, даже такое загрязнение недопустимо.

Канал Актепа загрязнен несколько больше, чем Бозсу, особенно створ 65 (голова Актепа): здесь сказывается влияние сбросов кожкомбината; так, аммонийный азот встречается в пределах 0—0,53 мг/л. В остальных створах концентрация аммонийного азота падает до нуля, БПК₅ составляет 3,3—9,9 мг/л. Особенно велико БПК₅ в весенний период. Фенолы наблюдаются в количестве 0,006—0,02 мг/л. Бактериологическое загрязнение Актепа также несколько выше, чем Бозсу: коли-титр в летний период равен 0,04—0,004.

На состояние водотока Анхор (табл. 4) влияет водохранилище, усиливающее процесс реаэрации. Так, содержание растворенного кислорода в створе после озера увеличивается от 8,7 мг/л до 10,15. Дефицит кислорода соответственно падает до 5,5%. Анхор загрязняется только хозяйственно-бытовыми стоками. Содержание аммонийного азота здесь составляет 0,0—0,35 мг/л, азота нитритов — 0,005—0,01 мг/л, фенолов — 0,0078—0,011 мг/л; БПК₅—2,1—4,1 мг/л.

Водотоки Н. Бозсу и Калькауз (табл. 3, 4) загрязняются также хозяйственно-бытовыми сбросами. Так, по Нижнему Бозсу количество азота аммонийного колеблется в пределах 0—2 мг/л, азота нитритов 0—0,5 мг/л, фенолов 0,004—0,012 мг/л; коли-титр в летний период в створе «Парк им. Пушкина» менее 0,00000004. По каналу Калькауз азот аммонийный составляет 0,05—0,03 мг/л, азот нитритов 0—0,08 мг/л, БПК₅ 2,94—6,4 мг/л, фенолы 0,005—0,016 мг/л, коли-титр в летний период в створе «Чигатай»—0,000004.

Каналы Калькауз, Анхор, Нижнее Бозсу, по сравнению с Бозсу и Актепа — более загрязнены, о чем свидетельствуют показания БПК₅, окисляемости, коли-титра.

Дата наблюдения	Температура °C	Взвешенные в-ва	Плотный остаток	Общая жесткость	Кальций	Магний	Хлориды	Сульфаты
								Боз
								Ств
12 февраля	3	16	192	1,8	33,2	13,4	8	83
14 марта	6	130,6	180	3	49,8	6,7	4	31,27
28 июля	12	66,8	128	2,6	36,07	9,79	4	20,6
11 октября	9,5	38,6	164	3	30	18,19	8	18,1
Среднегодовое	7,6	63	166	2,6	37,4	12,02	6	38,24
								Ств
12 февраля	3	38	164	3,96	29,5	29,1	8	90,5
14 марта	5	173,6	220	3,2	53,5	6,7	6	30,45
28 июля	14	56,6	108	2,19	24,04	12,16	8	24,7
11 октября	10	50,4	142	2,88	38	12,13	10	27,16
Среднегодовое	8	79,6	158,5	3,06	36,26	15,02	8	43,2
								Ств
12 февраля	3	66	154	3,7	32,2	27	8	90
14 марта	5	174	286	3,3	47,9	11,2	8	27,16
28 июля	15	98,8	196	2,0	24,04	9,79	12,0	15,6
11 октября	10	129,8	152	2,88	38	14,56	10	28,8
Среднегодовое	8	117,1	197	2,97	35,8	15,7	9,5	40,5
								Нижнее
								Ств
31 января	4	60	196	2,48	42,4	4,5	8	39,5
15 марта	7	268,8	162	4	41,45	12,5	6	51,03
29 июля	16	100,2	168	2,0	28,1	7,3	12	24,7
23 октября	9	115	242	—	—	—	7,36	—
Среднегодовое	9	136	192	2,8	37,3	8,1	8,3	38,4
								Ств
31 января	4	158	178	1,06	18,4	19	8	193,3
15 марта	7	238	248	3	45,22	10,3	8	46,9
29 июля	17	103,8	158	1,8	22,1	2,4	8	12,5
23 октября	9	36	202	—	—	—	11,04	—
Среднегодовое	9,25	133,7	196,5	2,0	28,6	10,6	8,8	84,2
								Ств
31 января	4	186	338	5,5	53,4	34,7	24	65,8
15 марта	7,5	256	336	5	54,64	22,8	18	60,9
29 июля	18	193	174	3,3	44,1	13,4	24	4,2
23 октября	11	149	354	—	—	—	23,9	—
Среднегодовое	10,1	171	275,5	4,6	50,7	23,6	4,75	43,6

Таблица 3

Азот аммонийный	Азот нитритов	Азот нитратов	Окисляемость	Растворенный кислород	Дефицит кислорода	Баланс кислорода	БПК ₅	Железо	Медь	Фенолы	рН	Активный хлор
су												
ор 60												
0	0,005	0	10	12	12	6,35	2,0	0	0	0,007	7,35	0
0,25	0,005	2	26	10,3	14	5,14	5,14	0	0	0,017	8,4	0
0,25	0,001	0	32	7,74	26	5,86	2,0	0	0	0,02	8,6	0
0,17	0	0	24	7,3	34,5	4,3	3	0	0	0,0114	7,5	0
0,17	0,003	0,5	23	9,18	21,6	5,36	3,0	0	0	0,014	7,96	0
ор 61												
0	0	0	13	12,0	21,5	7,1	3,0	0	0	0,006	7,4	0
0,25	0,005	2,5	22	11,14	9,6	5,4	5,7	0	0	0,018	8,2	0
0,25	0,005	0	34	8,8	0	5,68	3,2	0	0	0,03	8,45	0
0,1	0	0	25	7,3	34	4,3	3	0	0	0,0104	8,4	0
0,15	0,002	0,6	23	9,8	16,2	5,62	3,7	0	0	0,018	8,1	00
ор 62												
0	0	0	16	12,7	4	5,8	15,0	0	0	0,006	7,5	0
0,25	0,005	2	22	9,75	20,4	6,36	3,34	0	0	0,01	8,1	0
0,4	0,005	0	40	7,99	19	6,65	1,44	Следы		0,02	8,4	0
0,14	0,003	0,8	39	6,99	37	4,89	2,1	0	0	0,01	7,9	Следы
0,19	0,003	0,7	29	9,36	20,1	5,9	2,1	0	67	0,01	7,97	0
Бозсу												
ор 50												
0	0,01	0,6	23	6	52	3,2	2,75	0	0	0,004	7,2	3,4
1,0	0,005	3,5	4	9,72	18	6,2	3,5	0	0	0,009	8,4	0
0,08	0	2	4	8,8	9	4,2	4,6	0	0	0,012	8,4	0
0,5	0,004	0,9	46	6,1	45,3	2,2	3,9	—	—	0,0095	—	0
0,22	0,005	1,75	19,3	7,7	31,1	4,0	3,7	0	0	0,0085	8,0	0,85
ор 51												
0	0,003	4	19	5,85	54	2,5	3,3	0	0	0,009	7,2	0
1,0	0	2,5	2,0	9,9	16	4,95	3,95	0	0	0,0085	8,15	0
0,08	0,005	2	8	8,1	15	4,0	4,1	0	0	0,01	8,4	0
0,3	0,0025	1,9	22	6,9	38,2	2	5,7	—	—	0,009	—	0
0,17	0,003	2,6	12,8	7,7	30,8	3,41	4,6	0	0	0,009	7,9	0
ор 52												
0	0,2	6	60	4,5	65	0,6	3,9	0	0	0,007	7,05	6,8
2,0	0,1	12,5	10,0	8,8	25	2,9	5,9	0	0	0,0076	8,6	2,9
0,11	0,5	6	20	7,2	25	3,2	4,0	2,5	0	0,012	8,3	4,26
2,0	0,014	2,3	112	5,2	51,3	0,07	5,1	—	—	0,012	—	14,8
0,67	0,2	6,7	50,5	6,45	41,3	1,74	4,7	0,83	0	0,01	7,96	7,2

Дата наблюдения	Температура	Взвешенные в-ва	Плотный остаток	Общая жесткость	Кальций	Магний	Хлориды	Сульфаты	Азот аммонийный
Ан									
Ст в									
30 января	4	132	92	2,66	36,88	10,08	4,0	40,3	0
29 марта	9	219,6	150	2,85	36,88	12,3	4	40,3	0,1
30 июля	15	86,6	138,0	1,8	26,05	6,08	8,0	131,7	0,15
23 октября	8	40,8	142	—	—	—	5,5	—	0,3
Среднегодовая	9	121,3	130,5	2,44	20,98	9,49	5,4	70,9	0,14
Ст в									
30 января	4	159	89	3,42	18,44	31,36	8	35,4	0
29 марта	9,5	246,8	148	2,66	40,56	7,8	6	51	0,25
30 июля	16	87,2	132	1,7	26,05	4,86	8,0	41,15	0,25
23 октября	8	78,4	162	—	—	—	7,36	—	0,3
Среднегодовая	9,4	142,85	132,7	2,59	28,35	14,7	7,34	42,85	0,2
Ст в									
30 января	11	200,8	154	3,04	40,56	12,3	6	59,26	0,1
29 марта	17	170,2	130	1,9	26,05	7,29	8,0	35,38	0,1
30 июля	10	117,2	166	—	—	—	7,36	—	0,35
23 октября	12,7	162,7	150,0	2,47	33,3	9,79	7,12	47,32	0,18
Среднегодовая	12,7	162,7	150,0	2,47	33,3	9,79	7,12	47,32	0,18
Ак									
Ст в									
13 февраля	4	112	168	2,76	40,3	9,28	8,0	29,3	0
9 мая	—10	164	79,692	1,61	25,53	4,17	8	42,54	0
19 июля	—17	52,6	144	2,11	22,13	4,47	8	24,69	0,4
16 ноября	—17	46,6	112	2,44	33,9	9,15	11,05	34,6	0,53
Среднегодовое	—12	77,98	147	2,23	30,46	6,77	8,76	32,8	0,23
Ст в									
13 февраля	2,5	150	170	3,05	38,4	13,9	8,0	30,5	0
9 мая	10	178	63,050	1,56	25,53	3,57	8	32,09	0
19 июля	17	63,6	166	1,98	29,50	4,47	16,0	31,27	0,25
16 ноября	17	80,2	296	2,16	32	6,86	11,05	34,6	0,07
Среднегодовое	11,6	89,21	202,5	2,19	31,36	7,2	10,1	32,2	0,08
Ст в									
13 февраля	3,5	178	260	3,0	38,4	13,9	7,0	35,4	0
9 мая	11	178	174,25	3,91	25,53	4,76	8	51,84	0,35
19 июля	18	69,4	170	2,19	29,5	6,71	12,0	39,5	0,25
16 ноября	18	46,2	190	2,35	32	9,15	9,2	49,38	0,16
Среднегодовое	12,7	116,46	141	2,86	31,52	8,63	9,6	44,03	0,18
Каль									
Ст в									
31 января	4	84	138	3,49	46,1	14,5	8	42,8	0,05
18 марта	8	216,6	198	3,2	41,45	13,7	8	27,2	0,25
28 июля	14	91,2	120	1,59	24,04	4,86	8,0	33,4	0,25
11 октября	10	29,6	164	2,9	34	14,6	10	30,45	0,07
Среднегодовое	9	105,3	155	9	36,3	11,9	8,5	33,46	0,15

Таблица 4

Азот нитритов	Азот нитратов	Окисляемость	Растворенный кислород	Дефицит кислорода	Баланс кислорода	БПК-5	Железо	Медь	Фенолы	pH	Активный хлор
хор											
ор 80											
0	1	24	5,9	54	2,8	3,1	0	0	0,01	7,5	0
0,005	1,5	13	9,5	15	5,4	4,08	0	0	0,009	—	0
0,005	0,8	22	8,4	14,3	5,7	2,7	0	0	0,008	8,1	1,4
0,003	0,5	40	6	47,4	2,2	3,8	—	—	0,009	—	0
0,003	20,95	25,2	7,45	32,7	4,87	2,59	0	0	0,009	7,8	0,35
ор 81											
0,01	1	26	5,8	55	3,1	2,7	0	0	0,008	7,45	0
0,01	1,5	17	8,7	22	6,1	3,3	0	0	0,010	—	0
0,005	1,0	24	8,9	7,6	5,5	3,4	0	0	0,008	7,6	0
0,008	0,3	44	6,6	42	3,05	3,5	—	—	0,008	—	0,67
0,008	0,95	27,7	7,5	26,15	4,43	3,35	0	0	0,0085	7,5	0,16
ор 83											
0,005	1	13	10,15	5,5	6,1	4	0	0	0,0078	—	0
0,005	1,5	24	8,8	—	4,75	—	0	0	0,011	8,4	1,4
0,015	0,6	42	4,9	55	2,88	2,1	—	—	0,01	—	0,67
0,008	1	26,3	8,0	30,2	4,57	3,05	0	0	0,0097	8,4	0,52
тепа											
ор 65											
0	1,85	16,0	11,5	13	5,8	3,7	0	0	0,0196	7,7	0
0,01	3,5	2	9,9	10	0	3,9	0	0	0,008	8	0
0,01	0	40	8,99	5	4,22	3,77	Следы	0	0,009	7,15	0
0,0045	1,1	31	9,5	0,5	2,28	3,3	0	0	0,006	—	0
0,006	1,36	22	10,0	7,1	4,1	3,9	0	0	0,01	7,6	0
ор 66											
0,002	1,65	17	11,8	10	6,0	3,8	0	0	0,0162	7,65	0
0,01	0,8	2	9,9	10	0,090	3,9	0	0	0,01	8	0
0,05	1	56	8,34	18	3,78	3,56	Следы	0	0,009	7,3	0
0,01	0,3	22	9	6	5,69	3,31	0	0	0,0088	—	0
0,018	0,94	27	9,73	11	3,9	3,9	0	0	0,011	7,65	0
ор 67											
0,005	1,85	32	11,3	11	5,5	3,8	0	0	0,0113	7,6	0
0,01	0,8	16	9,85	9	0,06	3,9	0	0	0,0089	7,6	0
0,05	1	56	8,9	0	5,00	3,56	Следы	0	0,009	7,5	1,4
0,0125	0,9	22	9,8	9,37	4,81	3,98	0	0	0,0088	—	0,2
0,019	1,2	31,5	9,45	7,3	3,84	30,3	0	0	0,0095	7,4	0,4
кауз											
ор 70											
0	0,6	38	6,1	52	3,4	2,65	0	0	0,005	7,3	0
0	2,0	12	10,2	11	5,7	3,2	0	0	0,012	—	0
0,001	0	50	8,37	17	5,01	3,49	0	0	0,0272	8,45	0
0,003	0,8	38	7,46	32,5	3,2	4,24	0	0	0,0105	8,15	0
0,001	0,85	34,5	8,03	28,1	4,32	3,12	0	0	0,014	8,00	0

Дата наблюдения	Температура	Взвешенные в-ва	Плотный остаток	Общая жесткость	Кальций	Магний	Хлориды	Сульфаты	Азот аммонийный
									Ст в
31 января	4	150	146	1,9	22,1	10,1	4	32,9	0,05
18 марта	8	141	174	2,9	45,2	8,14	8	28,8	0,2
28 июля	15,5	93,8	114	1,99	28,05	7,29	8,0	41,9	0,3
11 октября	10	36	164	2,9	32	15,9	8	37,03	0,3
Среднегодовое	9,3	105,2	149,5	2,42	31,83	10,33	7,5	35,16	0,2
									Ст в
31 января	4	186	338	5,5	53,4	34,7	24	65,8	0,05
18 марта	9	141	178	2,9	37,7	12,6	8	34,6	0,25
28 июля	15	125,4	150	1,79	24,04	7,29	8,0	22,2	0,25
11 октября	10	95	150	3,2	30	20,6	8	38,68	0,1
Среднегодовое	11,3	120,4	159,3	2,63	30,58	15,3	12	31,82	0,2

Канал Карасу (табл. 5) загрязняется хозяйственно-бытовыми сбросами и производственными стоками бумкомбината, кроме того, в весенний и зимний период имеет подрусловое питание, что влияет на солевой состав воды. Так, если в летний период величина плотного остатка составляет 128—188 мг/л, а общая жесткость 2,6—3 мг/экв/л, то зимой плотный остаток равен 378—436 мг/л, жесткость — 6,14—6,79 мг/экв/л. Загрязнение Карасу в основном органического характера (БПК₅ до 7,76 мг/л, азота аммонийного до 2, 5 мг/л, азота нитритов до 0,1 мг/л) и увеличивается по мере прохождения канала через город. Так, если в летний период в начальном створе коли-титр составляет 0,04, то в конечном он менее 0,00000004.

Канал Каракамыш (табл. 5) — коллектор, собирающий сбросные воды с полей орошения. Вода здесь жесткая (общая жесткость до 18 мг/экв/л), сильно минерализованная (плотный остаток 2470 мг/л, сульфаты 750,6 мг/л). Кроме того, Каракамыш в городской части загрязняется хозяйственно-бытовыми сбросами, БПК₅ при этом возрастает до 7,47 мг/л, азот аммонийный до 1,28 мг/л, коли-титр до 0,00000004.

Самый загрязненный водоток Ташкента — Салар. В него сбрасываются как производственные, так и хозяйственно-бытовые отходы. Канал принимает сточные воды от таких крупных предприятий, как Текстилькомбинат, кабельный, лакокрасочный, карборундовый, экскаваторный, гидролизный заводы и др. кроме, того, — воды с Саларских очистных сооружений и временных канализационных выпусков: Привокзального, Пушкинского.

Степень загрязнения водотока Салар исследована, хотя не полностью, с 1937 по 1950 гг. и в 1955 г. Институтом санитарии и гигиены; с 1962 по 1964 гг. — отделом водоснабжения и охраны водных источников САНИИВПиГ. Наименьшее загрязнение канала приходится на 1937—1938 гг. и на 1944 г., затем в связи с развитием промышленности и ростом населения оно увеличивается. Некоторое уменьшение загряз-

Азот нитритов	Азот нитратов	Окисляемость	Растворенный кислород	Дефицит кислорода	Баланс кислорода	БПК ₅	Железо	Медь	Фенолы	pH	Активный хлор
ор 71											
0	0,5	26	6,5	49	3,2	3,2	0	0	0,006	7,4	0
0	2,0	20	8,85	22	59	2,94	0	0	0,01	—	0
0,005	0	46	8,8	10	2,96	5,92	0	0	0,032	8,25	0
0,017	0,8	34	7,6	30	3,3	4,38	0	0	0,0096	7,9	1,3
0,005	0,82	31,5	7,94	27,7	3,84	3,65	0	0	0,014	7,85	0,3
ор 72											
0,2	6	60	4,5	65	0,8	3,9	0	0	0,007	7,05	6,8
0	1,5	32	9,5	20	5	4,5	0	0	0,016	—	0
0,005	0	64	7,55	27	4,25	6,4	0	0	0,032	8,35	0
0	0,7	208	7,5	32	6,6	0,93	0	0	0,11	6,7	0
0,016	0,73	101,3	8,18	26,3	4,14	5,8	0	0	0,019	7,52	0

нения наблюдается после строительства городской канализации. Максимальное загрязнение отмечено за последние годы.

Результаты наблюдений, проводимых отделом охраны вод САНИИРИ (табл. 6) показали, что Салар сильно загрязняется сбросами г. Ташкента. Так, если в головном створе канала количество взвешенных веществ равно 88,6 мг/л, то на границе города — 137,8 мг/л.

В следующем створе (Джун-Саларский узел) содержание взвешенных веществ несколько уменьшается (118,8 мг/л) за счет разбавления водой Бурджара, но в загородной части количество их снова увеличивается. То же можно сказать и о солевом составе воды Салара: плотный остаток, сульфаты, хлориды постепенно нарастают от головного створа до устья. Азот аммонийный в головном створе составляет 0,1 мг/л на границе города 3,7. Здесь сказывается влияние сброса сточных вод Саларских очистных сооружений. В загородной части концентрация аммонийного азота снижается до 0,33 мг/л, а затем повышается до 0,90 мг/л за счет сбросов гидролизного завода. Фенолы по всему водотоку находятся в пределах 0,007—0,01 мг/л. По бактериологическому составу вода Салара, особенно в конце города, близка к сточной. Так, если в головном створе коли-титр равен 0,4—0,04, то на границе города — 0,0000004—0,00000004.

Арыки Чаули, Дам и Палван также превращены в сточные каналы. В Чаули сбрасываются сточные воды заводов Узбексельмаш, лампового, авторемонтного № 2 и др.; в Дам — ремзавода МПСМ УзССР, в Палван — ремонтных мастерских аэропорта и др. Кроме производственных, каналы принимают большое количество хозяйственно-бытовых сточных вод.

Зимой и осенью из этих каналов расходуется очень мало воды (100—200 л/сек), и степень разбавления сточных вод равна 1:1.

В бактериологическом отношении вода этих каналов близка к сточной (коли-титр 0,0000004).

Дата наблюдений	Температура, °C	Взвешенные в-ва	Плотный остаток	Общая жесткость	Кальций	Магний	Хлориды	Сульфаты	Азот аммонийный
									Кара
									С т в
27 февраля	11,5	86	1786	18	224,9	79,5	44	902	0,1
3 мая	16	418,2	922	5,48	39,3	42,9	24	425,4	0,1
1 августа	18	451	1334	13,9	162,3	58,1	32	689,7	0,5
10 декабря	10	194,2	1312	14	200	59,6	55,2	640,3	0,42
Среднегодовое	13,87	287,3	1336	12,85	131,5	58	41,5	663,3	0,28
									С т в
27 февраля	10	1518,4	840	9	114,3	42,6	20	384,3	0,25
3 мая	15	667,2	1540	7,27	78,5	40,52	24	438,6	0,1
1 августа	17	452,6	1018	13	136,5	62,6	24	791,7	0,5
10 декабря	10	327	1362	13,3	157	66,8	36,8	656,7	1,28
Среднегодовое	13,5	741,3	1285	12,64	140,5	66,83	31,2	654,8	0,53
									С т в
27 февраля	10	408,1	964	11	121,7	58,2	36	417,3	0,1
3 мая	14	373,4	348	2,93	51,0	4,8	32	158	0,1
1 августа	18	130	328	7,40	66,4	42,4	20	185,9	0,5
10 декабря	12,5	105,4	1916	8,8	98,2	47,7	22,1	271,6	1,7
Среднегодовое	13,6	254,4	895	7,53	84,3	38,2	27,5	258,2	0,6
									Водоток
									С т в
30 января	10	12	436	6,33	77,4	30,2	14	102,8	0,05
28 марта	14	45,8	424	5,9	79,1	25	12	66	0
29 июля	14	140,4	128	2,6	36,1	9,7	8	47	0,25
11 октября	11	80	314	4,58	52	24,3	12	64,8	0,4
Среднегодовое	12,2	6,98	325,5	4,85	61,15	22,3	11,5	70,1	0,145
									С т в
30 января	10	98	522	6,14	71,03	32,4	16	113,6	0,05
28 марта	13	31,8	446	6,6	94,2	22,8	12	102,9	0,1
29 июля	15,5	146,6	188	3	44,1	9,7	8	47,4	0,3
11 октября	12	110	366	5,4	62	28,3	16	88,06	0,8
Среднегодовое	12,6	96,6	380,5	5,3	60,2	23,3	13	87,99	0,3
									С т в
30 января	10	54,2	378	6,79	84,8	31,8	44	105,3	0,05
28 марта	12,5	43,4	280	7	81	22,8	16	102,9	2,5
29 июля	17	113,6	176	3	44,1	9,7	20	65,8	2,5
11 октября	14,5	65,4	382	10,8	126	35,35	56	218,9	1,18
Среднегодовое	13,5	69,2	304	6,8	83,7	24,9	34	123,20	1,56

Таблица 5

Азот нитратов	Азот нитратов	Окисляемость	Растворенный кислород	Дефицит кислорода	Баланс кислорода	БПК ₅	Железо	Медь	Фенолы	pH	Активный хлор
камыш											
ор 85											
0,005	19	19	6,5	39	0,825	4,6	0	0	0,01	7,6	0
0,004	7,5	41	7,1	26	3,8	3,3	0	0	0,008	8,2	0
0	12	21	6,39	31	4,16	2,23	0	0	0,024	8,5	0
0	6	31	7,99	27	3,87	4,1	0,1	0	0,018	—	0
0,002	11,1	30,5	7,0	30,7	3,18	3,5	0,025	0	0,015	8,1	0
ор 87											
0,01	6,5	23	5,95	46	0,45	5,5	0	0	0,01	7,3	0
0,001	7	38	8,2	16	4,2	4,8	0	0	0,006	8,55	0
0	5,5	25	7,07	25	3,6	3,47	0	0	0,037	8,5	0
0,006	5,7	44	7,74	29	0,27	7,47	0,2	0	0,0142	—	0
0,003	7,02	32,5	7,08	29,2	2,13	5,03	0,05	0	0,017	8,2	0
ор 89											
0,005	6,5	100	7,1	36	0,9	6,2	0	0	0,01	7,6	0
0,005	3,5	18	7,3	27	5,2	2,03	0	0	0,005	8,4	0
0	4,5	27	6,53	30	4,16	2,37	0	0	0,055	8,4	0
0,075	3,7	27	6,52	38	3,35	3,2	0,3	0	0,013	—	0,71
0,022	4,5	43	6,86	32,7	3,4	3,45	0,07	0	0,021	81	0,17
Карасу											
ор 35											
0,01	9	1,7	5,7	54,5	3,1	2,6	0	0	0,016	7,5	3,6
0,008	0	26	9,5	6	7,6	1,9	0,1	0	0,0084	8,3	4,3
0	3	34	8,7	14	8,7	0,96	0	0	0,01	8,7	0
0	3,5	26	7,18	33,6	4,7	2,48	0	0	0,012	7,7	0
0,014	3,9	26	7,8	27	6	2	0,025	0	0,011	8,05	2
ор 36											
0,01	7,5	33	4,3	66	1,5	28	0	0	0,016	7,45	2,8
0,005	22	64	6,5	37	0	6,5	0,1	0	0,014	8	3
0	5	66	10	0	2,7	7,76	0	0	0,01	8,4	0
0,005	4	38	6,7	39,4	3,03	3,67	0	0	0,017	7,45	0
0,005	4,7	50	6,9	35,6	2,3	5,2	0,025	0	0,0135	7,8	1,3
ор 37											
0,1	6,5	35	4,3	66	1,69	2,62	0	0	0,009	7,1	5,3
0,1	0	26	7,9	24	1,2	6,6	0,1	0	0,016	8,2	3
0,05	3	43	7,1	26	1,7	5,3	0	0	0,012	8,0	1
0,004	4	36	5,86	64	4,06	1,8	0	0	0,012	7,6	1
0,063	3,5	35	5,7	45	1,86	4,3	0,025	0	0,012	7,7	2

Наименование анализов	Номер створа							
	1	2	3	4	5	6	8	9
Температура	9	10	10	10,8	12	12	13,5	14
Взвешенные в-ва	88,6	76,1	81,1	75,9	81,6	131,5	135,9	137,8
Плотный остаток	103,5	200	196,5	218,3	305,7	225	243	273
Общая жесткость	2,48	2,49	2,85	3,07	2,8	3,27	3,23	3,4
Кальций	27,02	33,53	33,08	40,5	35,5	36,42	37,23	43,92
Магний	12,03	11,58	14,8	17,5	15,3	19	17,3	16
Хлориды	7,85	10,6	9,75	12,2	12,75	15,9	15,9	23,2
Сульфаты	35,9	41,35	41	47,9	56,0	51,4	51,2	68,7
Азот аммонийный	0,1	0,10	0,12	0,55	0,33	0,77	0,32	3,7
Азот нитритов	0	0,002	0,005	0,018	0,029	0,069	0,096	0,196
Азот нитратов	0,4	0,6	0,6	0	0,5		1,05	0,65
Окисляемость	13,5	29,3	41	46	60,2	32,7	34,75	88,75
Растворенный кислород	9,81	10,0	9,8	9,3	8,62	8,1	7,5	7,1
Дефицит кислорода	13,8	26,8	14,6	14	17,8	22,4	27,3	27
Баланс кислорода	6,4	4,46	0,99	1,75	0,7	1,07	1,2	2,3
БПК ₅	2,15	4,0	8	8	7,8	7,0	6,4	5,7
Железо	0,065	0,065	0,027	0	0,027	0,0025	0,005	0,0025
Медь	0	0	0	0	0	0	0	0
Фенолы	0,0080	0,0070	0,0075	0,0095	0,010	0,095	0,01	0,01
pH	7,6	7,5	7,85	7,5	7,6	7,5	7,5	7,4
Активный хлор	0	0	0	1,5	3,46	5	0,95	2,12

В результате изучения степени загрязнения водотоков г. Ташкента выяснили следующее. Наиболее загрязненным водотоком является Салар. Вода Салара содержит большое количество аммонийного азота (рис. 1), имеет высокое БПК₅ (рис. 2). Количество фенолов, окисляемость по всем водотокам примерно одинаковое (исключение — конец Салара, где вследствие сброса гидролизного завода резко возрастает окисляемость), коли-титр по всем водотокам низок; наиболее благополучны в бактериологическом отношении каналы Бозсу и Актепа.

После обработки и обобщения материалов исследований были составлены схемы загрязнения сточными водами водотоков г. Ташкента и бактериологического состояния этих водотоков.

В основу составления первой схемы принимали загрязнение органическими веществами (по БПК₅); веществами минерального происхождения (по показателям плотного остатка, хлоридов и сульфатов); содержание ядовитых вредных веществ по элементам и соединениям, поступающим со сточными водами.

На схеме водотоки разбиты на следующие участки:

1) абсолютно чистые, не подвергающиеся искусственному загрязнению;

2) принимающие сточные воды, но справляющиеся с загрязнением без нарушения санитарного режима, т. е. участки в удовлетворительном состоянии;

3) где поступающее загрязнение вызывает периодическое местное ухудшение санитарных показателей воды в водоемах — загрязненные участки;

4) со стойкими нарушениями санитарных нормативов — сильно загрязненные участки.

На основании химических, биологических и бактериологических

по Салару за 1963 г.

Наименование анализов	Номер створа							
	11	13	14	15	17	18	19	16
Температура	13	13,0	13,2	13,3	14,05	14,4	15,2	23,6
Взвешенные в-ва	118,6	130,2	174,4	207,0	218,2	254,4	177,8	398,4
Плотный остаток	278,5	343,9	384,15	398,7	450,4	381,2	373,7	1405
Общая жесткость	3,33	4,57	5,8	6,15	6,14	5,66	4,95	20,37
Кальций	42,3	52,81	47,64	54,9	66	56,85	54,3	255,6
Магний	16	21,95	34,0	44,8	35,9	28	27,5	96
Хлориды	20	15,9	19,2	16,8	18,1	20,1	21,4	55,4
Сульфаты	68,8	85,7	96,1	104,4	106,1	130,6	87,3	826,8
Азот аммонийный	2,8	0,49	0,48	0,33	0,9	0,70	0,26	7,86
Азот нитритов	0,17	0,09	0,049	0,074	0,09	0,098	0,043	0,028
Азот нитратов	1,45	4,83	5,53	6,5	3,64	3,27	2,66	14,9
Окисляемость	59,5	36,53	74,8	59,8	308,57	547,7	103,06	100,4
Растворенный кислород	7,44	7,8	7,80	7,6	6,6	6,0	6,18	2,1
Дефицит кислорода	27,2	31,8	27	31,2	34,9	41,3	37,8	71
Баланс кислорода	1,06	2,52	3,4	3,72	0,38	0,54	1,2	0,128
БПК ₅	6,6	4,7	4,6	3,04	5,7	5	5,1	8,17
Железо	0,0025	0	0	0	0,007	0	0	0,86
Медь	0	0	0	0	0	0	0	0
Фенолы	0,007	0,01	0,009	0,009	0,01	0,008	0,007	0,012
pH	7,5	7,7	7,6	7,6	7,6	7,6	7,8	6,6
Активный хлор	3,73	3,9	3,73	3,2	4,3	2,9	2,8	11,3

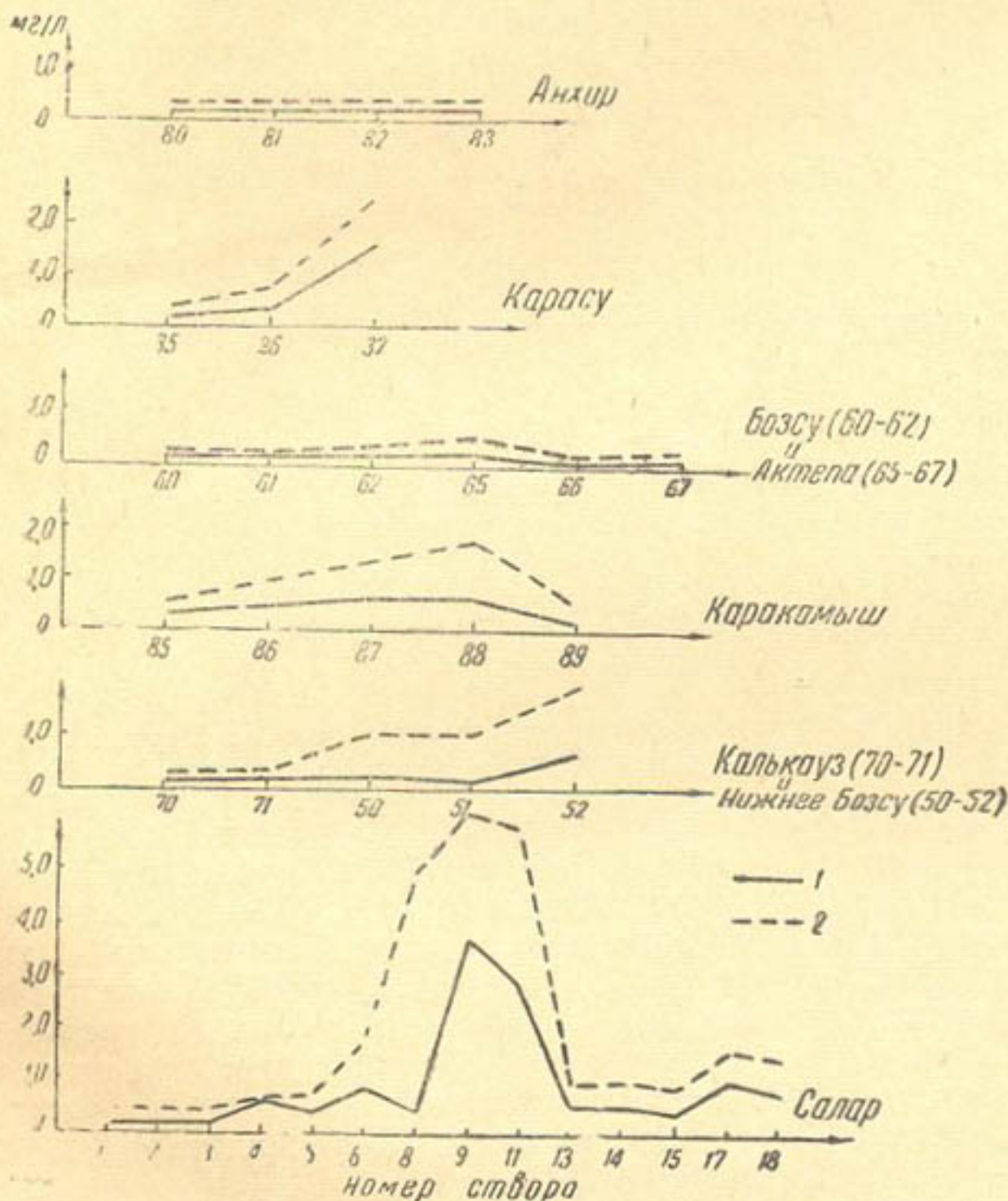


Рис. 1. Загрязнение водотоков г. Ташкента аммонийным азотом:
1 — график среднегодового загрязнения; 2 — график максимального загрязнения.

показателей воды, согласно вышеотмеченным критериям, рассмотрены на схеме все водотоки г. Ташкента.

Водоток Салар можно условно разбить на 3 участка.

Участок, условно относящийся ко второй категории (по бактериологическим показателям он ближе к 3 категории водотоков) — от голо-

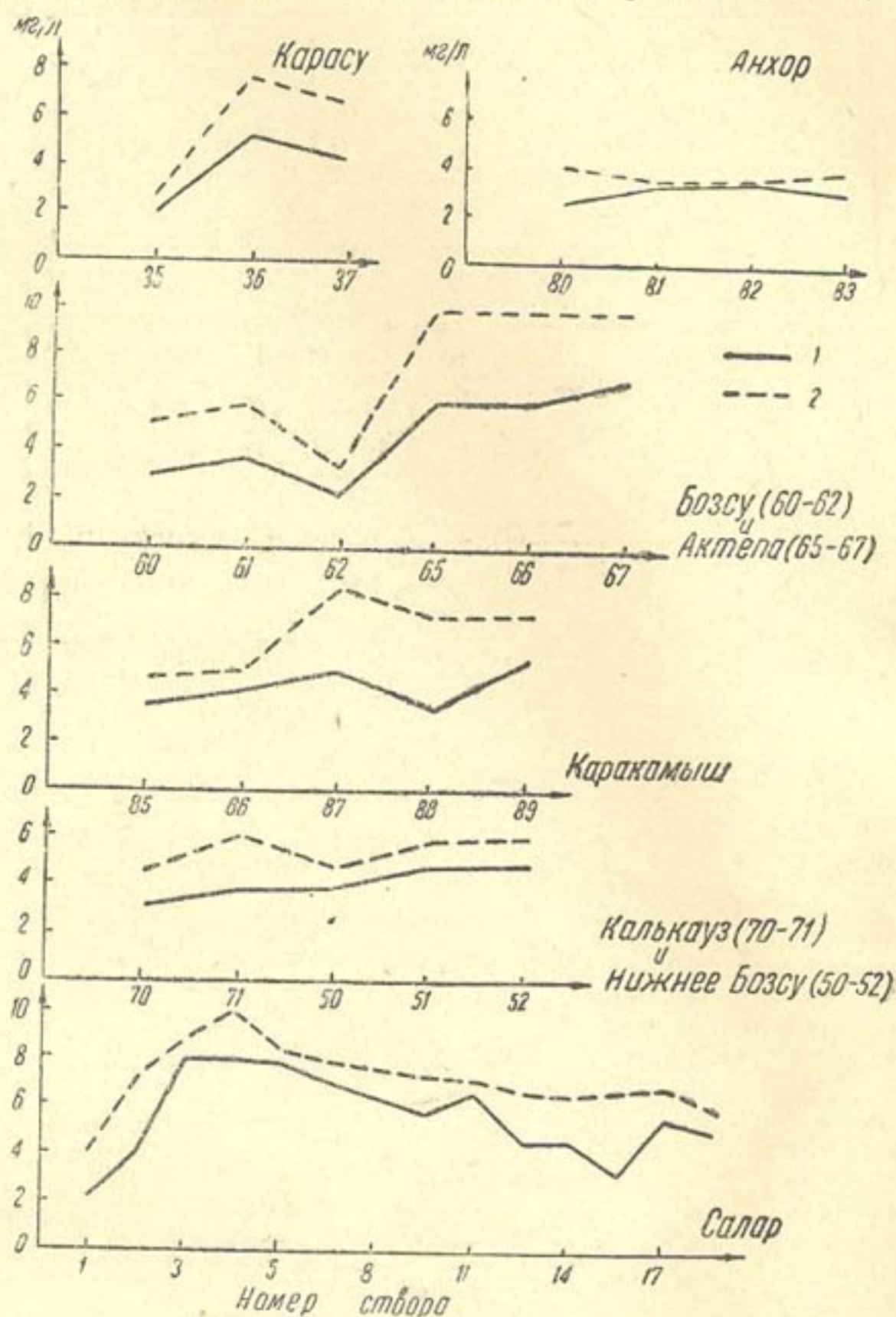


Рис. 2. Биохимическое потребление кислорода на 5 сутки:
1 — среднегодовое; 2 — максимальное.

вы Салара до сброса кабельного завода. Суммарный сброс производственных сточных вод здесь составляет $850 \text{ м}^3/\text{сутки}$. Кратность разбавления 1247 при среднегодовом расходе и 402 — при минимальном.

Участок от сброса кабельного завода до Текстилькомбината можно отнести к 3 категории: суммарный сток Q сточных хозяйственно-бытовых и производственных вод составляет $2 \text{ м}^3/\text{сек}$. Кратность разбавления снижается соответственно от 16,0 до 5,2 раза. На этом участке в воде Салара в недопустимых пределах содержатся аммиак (до $0,77 \text{ мг/л}$), фенолы ($0,01 \text{ мг/л}$); величина БПК₅ достигает 8 мг/л ; окисляемость — $60,2 \text{ мг/л}$ (по KMnO_4).

Участок от Текстилькомбината до стока Бурджара — четвертая категория (далее качество воды в Бурджаре несколько улучшается).

Салар на этом участке — сточная канава, вода которой недопустима не только для водоснабжения, но и для хозяйственно-бытовых и культурно-массовых целей.

Водоток Бурджар делится на два участка. Первый участок — от головного сооружения до сброса сточных вод кожкомбината — в относительно удовлетворительном состоянии, кратность разбавления соответственно 3150 и 230. Здесь в недопустимых пределах содержатся фенолы — 0,006 мг/л.

Водоток Чаули — самый грязный водоток Ташкента — сбросный коллектор; кратность разбавления здесь очень низкая — до 1:1,5.

Степень загрязнения остальных водотоков г. Ташкента приведена на рис. 3.

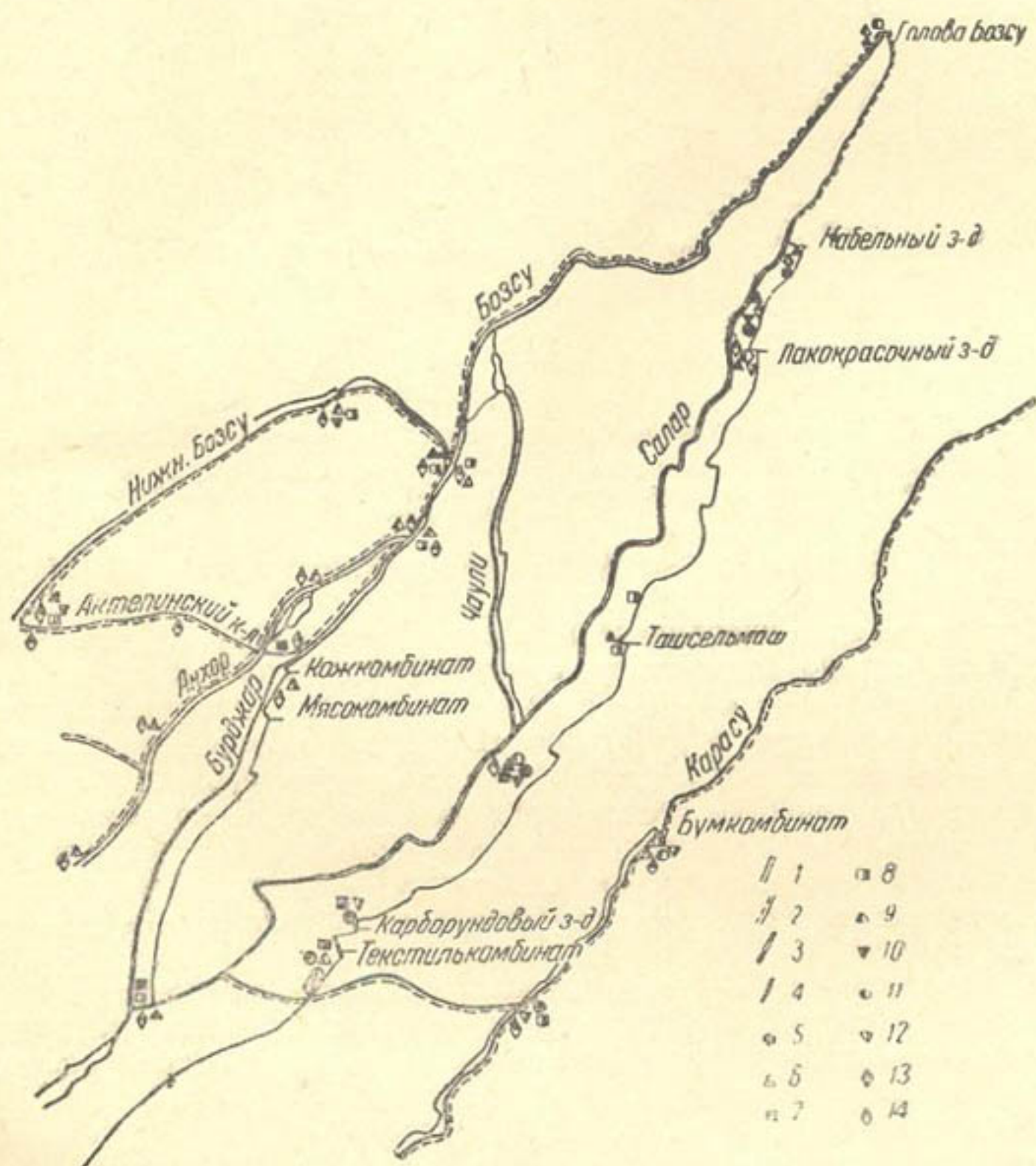


Рис. 3. Схема загрязнения водотоков сточными водами г. Ташкента (Q приводится в $m^3/сутки$):

О величине бактериологического загрязнения можно судить по рис. 4, где даны показатели коли-титра и число колоний сапрофитных бактерий.

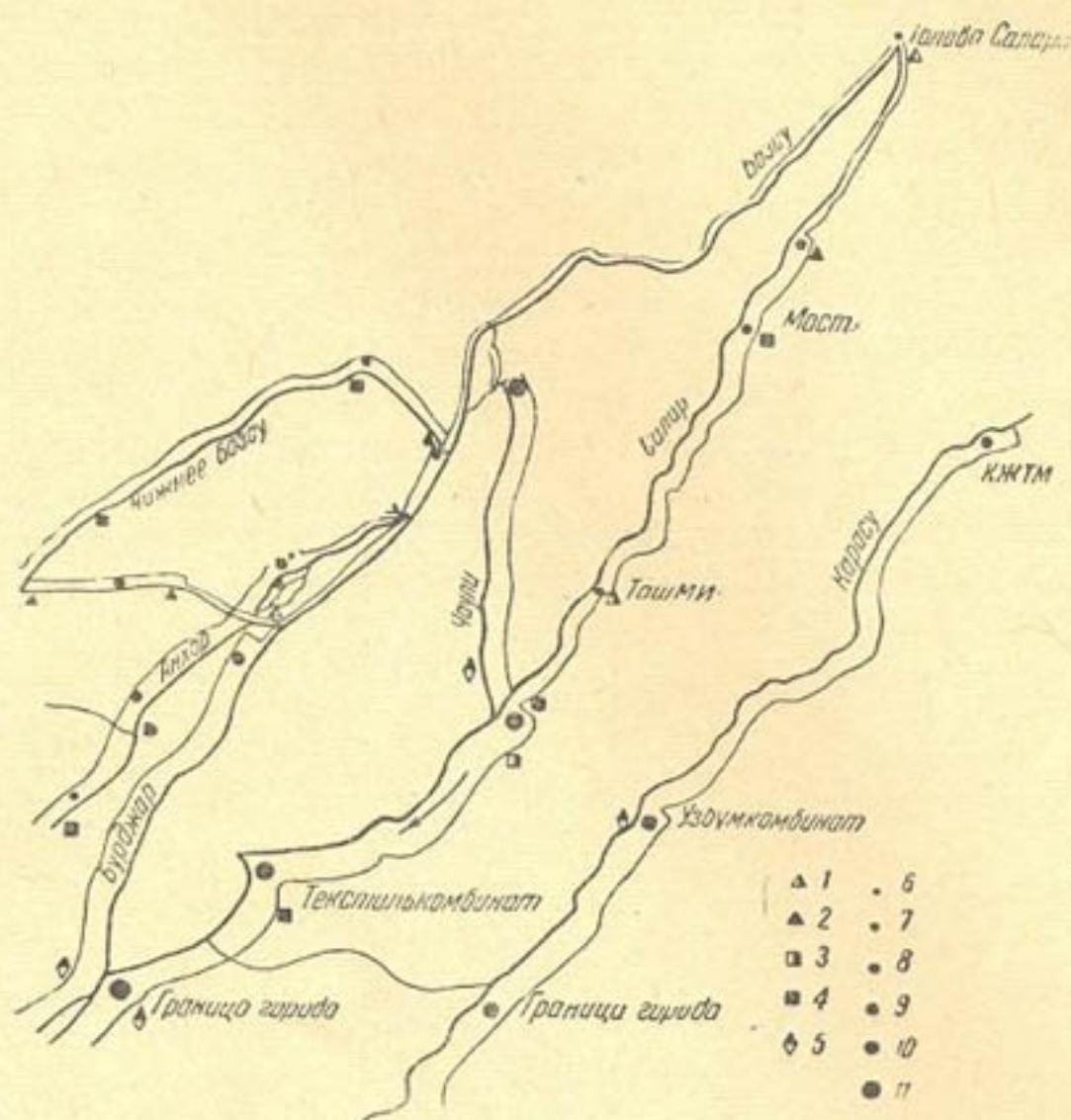


Рис. 4. Схема бактериологического состояния водотоков г. Ташкента:

1 — до 100 колоний; 2 — от 100 до 500; 3 — от 500 до 1000; 4 — от 1000 до 10 000; 5 — свыше 10 000; 6 — колититр — 0,04; 7 — 0,004; 8 — 0,0004; 9 — 0,00004; 10 — 0,000004; 11 — 0,000004 и далее.

НЕКОТОРЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОХРАНЕ ВОДОТОКОВ г. ТАШКЕНТА

Как видно из вышеприведенных схем (рис. 1, 2, 3, 4), промышленные сбросы сильно загрязняют водотоки, состояние которых может быть резко ухудшено в связи с дальнейшим ростом промышленности, строительством города и развитием «Большой» химии. Для предотвращения такой возможности необходимо, с одной стороны, разработать мероприятия по очистке сточных вод самими предприятиями (путем строительства очистных сооружений на промышленных объектах, или подключением к горканализации), с другой — по охране водотоков путем выяснения возможности самоочищения и нормирования стоков промышленных объектов.

К мероприятиям 1-й группы можно отнести следующие.

1. Усилить темпы строительства очистных сооружений на промышленных объектах; увеличить строительство сети городской канализации и расширить работу городских очистных сооружений.

В настоящее время по исследуемым водотокам только на 47 предприятиях города применяется полупримитивный механический способ очистки сточных вод и на 5 из них — биологический метод. Однако существующие методы не дают необходимого эффекта, и недостаточно очищенные стоки продолжают сбрасываться в открытые водоемы Ташкента.

Поэтому одним из основных мероприятий по охране водотоков является изоляция сброса с очистных канализационных сооружений в

отдельный сбросной коллектор с отводом его в водохранилище (пруды-накопители) за пределами города с последующим использованием сточных вод на полях орошения.

По нашему мнению, нецелесообразно подключать к горканизации промышленные сбросы крупных предприятий, таких как текстилькомбинат, «Лакокраска», карборундовый завод, где должно быть предусмотрено строительство своих очистных сооружений с возможным использованием сточных вод на полях орошения.

2. Уменьшить количество сточных вод за счет повторного использования их в замкнутых циклах оборотного водоснабжения. Обратную систему желательно применить, например, на ТЭЦ, гидролизном и карборундовом заводах.

3. Резко сократить образование сточных вод путем изменения технологии производства.

4. Разработать условия максимального использования сточных вод на полях орошения. По Саларской системе это возможно для стоков текстилькомбината, гидролизного завода и горканизации.

К 2-й группе относятся мероприятия, касающиеся непосредственно водотоков: а) выяснить естественную самоочищающую возможность водотоков; б) разработать нормирование сбросов крупных промышленных объектов по отдельным компонентам.

Нормирование сбросов по отдельным компонентам ведется в зависимости от свойств загрязняющих веществ согласно правилам охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами (№ 372—61).

1. По общесанитарному показателю вредности.

1. Расчеты БПК₅ проводятся по формуле

$$K_{ст.} = \frac{\alpha Q}{q \cdot 10^{\frac{K'_{1t}}{1}}} (K_{прд.} - K_p \cdot 10^{-\frac{K''_{1t}}{1}}) + \frac{K_{п.в.д.}}{10^{-\frac{K'_{1t}}{1}}},$$

где α — коэффициент смешения;

$K_{ст.}$ — концентрация органических веществ (в БПК₅), которая должна быть достигнута в процессе очистки;

$K_{прд.}$ — предельно допустимое содержание органических веществ ($K_{прд.} = 4$ мг/л);

K'_1, K''_1 — константы потребления кислорода соответственно органическими веществами сточных вод и воды водоема;

t — время (в сутках) продвижения воды водоема в месте с разбавленными в ней сточными водами до пункта использования.

2. Растворенный кислород рассчитывается по зависимости

$$K_{ст.} = 2,5 \frac{Q\alpha}{q} (Q_p - 0,4K_p) - 10.$$

Здесь Q_p — концентрация растворенного кислорода в речной воде до места спуска сточных вод;

0,4 — для БПК полное, за двухсуточный период;

4,0 — минимальная концентрация (в мг/л) растворенного кислорода, которая должна быть обеспечена в водоеме.

3. При вычислении окисляемости применяются те же формулы, что и при БПК₅.

II. По органолептическому показателю вредности.

1. Взвешенные вещества определяются по равенству

$$K_{ст.} = \left(\frac{Q\alpha}{q} + 1 \right) K_{доп.} + K_p,$$

где $K_{доп.}$ — допустимое увеличение содержания взвешенных веществ (0,75 мг/л).

III. По санитарно-токсикологическому показателю вредности.

1. Фенолы рассчитываются по зависимости

$$K_{ст.} = \frac{\alpha Q}{q} (K_{прд.} - K_{р.}) + K_{прд.}$$

Результаты расчетов нормирования приведены в табл. 7, из которой видно, на сколько предприятия должны снизить в сточных водах содержание загрязнителей, например, взвешенных веществ по кабельному заводу — с 122 мг/л до 4,46; экскаваторному соответственно с 57,2 мг/л до 9,94; лакокрасочному — с 594,4 до 9,94; текстилькомбинату — с 411 до 11,98 мг/л, а также снизить окисляемость, например, стоков гидролизного завода с 10866 мг/л до 184 мг/л и т. д.

Таблица 7

Предприятие	Компоненты, мг/л			
	взвешенное вещество		окисляемость	
	обнаружено	норма	обнаружено	норма
Кабельный з-д	122	4,46	160	47,31
Экскаваторный з-д	57,2	9,94	68	56,7
„Лакокраска“	594,4	9,94	4200	56,7
Текстилькомбинат	411	11,98	4800	32,11
Карборундовый з-д	267,8	10,85	1600	90,61
Гидролизный з-д	510,0	13,90	10866,6	184,61

Предприятие	Компоненты, мг/л							
	БПК ₅ растворенного кислорода				Фенолы		Активный хлор	
	обна- ружено	норма	обна- ружено	норма	обна- ружено	норма	обна- ружено	норма
Кабельный з-д	11,32	12,11	13,87	35,3	0,013	0,001	—	—
Экскаваторный з-д	6,27	4,0	6,36	19,7	0,012	0,001	1,45	0
„Лакокраска“	5,2	4,0	5,3	19,7	0,017	0,001	—	—
Текстилькомбинат	5,42	4,0	8,8	39,28	0,016	0,001	21,7	0
Карборундовый з-д	4,6	4,0	5	33,05	0,016	0,001	3	0
Гидролизный з-д	8,17	4,39	1,1	157,37	0,23	0,001	19,6	0

Примечание. Снять окраску воды, уменьшив величину разбавления сточных вод.

в) разбавление сточных вод и сброс их в период паводка. В перспективе необходимо отметить возможное влияние на степень загрязнения водотоков попусков из Чарвакского водохранилища в голову Чирчик-Ангренской системы. В этом случае более целесообразна увязка энергетического попуска с санитарным. Появляется возможность создания специального санитарного попуска.

Так как Салар — самый загрязненный канал города, прежде всего необходимо осуществить рекомендации по очистке этого водотока. К ним относятся: выполнение нормирования стока по компонентам для предприятий Ташкента с учетом степени загрязнения водотока Салар; установление зоны санитарной охраны; применение оборотной системы водоснабжения крупных промышленных объектов — ТЭЦ, текстилькомбината и др.; изоляция сброса арыка Чаули; наличие санитарного пропуска по Салару с $Q = 15 \text{ м}^3/\text{сутки}$; ликвидация временных канализационных выпусков; изоляция сброса с городских канализационных

сооружений, поскольку они не имеют биологической очистки, в закрытый отводной канализационный коллектор; очистка хозяйственно-бытовых и некоторых производственных стоков на сельскохозяйственных полях орошения; в канале «Палван» установить санитарный попуск 500 л/сек, используя затем сбросной сток на сельскохозяйственных полях орошения; канал «Дам» превратить в закрытый канализационный коллектор.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голубева М. Г., Штуковская А. А. Пособие по методам санитарно-химического исследования воды, М., Минздрав, Институт им. Эрисмана, 1959.
 2. Драчев С. М., Разумов А. А. Методы химического и бактериологического анализа воды, М., Медгиз, 1958.
 3. Драчев С. М. Процессы самоочищения в сильно загрязненных реках с малым расходом, «Водоснабжение и санитарная техника», Ташкент, 1940, № 7.
 4. Жуков А. И., Монгайт И. Д., Родзиллер. Канализация промышленных предприятий, М. Госстройиздат, 1962.
 5. Захидов А. З. Влияние городских стоков на загрязнение ирригационного канала Салар... «Вопросы санитарии и гигиены», т. I, Ташкент, 1959.
 6. Зак Г. Л. Самоочищение водоемов, Министерство коммунального хозяйства РСФСР, 1960.
 7. Куренова А. М. Загрязнение и самоочищение ирригационного канала Салар, Труды Узбекского НИИ санитарии, гигиены и профзаболеваний, Ташкент, 1959.
 8. Квитницкая Н. М. Карта санитарного состояния водоемов Украины, «Санитарная охрана водоемов», Киев, 1960.
 9. Куренова А. М., Селитринникова М. Б. Загрязнение и заражение открытых водоемов Узбекистана в результате сброса сточных вод, Труды Узбекского НИИ санитарии, гигиены и профзаболеваний, т. I, Ташкент, 1959.
 10. Родзиллер И. Д. К вопросу расчета смешения сточных вод в реках, М., 1954.
 11. Турчинович В. Т., Лапшин М. И. Основы регулирования качества воды, М., Изд-во АН СССР, 1960.
 12. Черкинский С. Н. Санитарные условия спуска сточных вод в открытые водоемы, М., Изд-во МКХ РСФСР, 1951.
-

И. УСМАНОВ

МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОРИСТЫХ ДРЕНАЖНЫХ ТРУБ

Повышение урожайности хлопка-сырца и других сельскохозяйственных культур в районах орошаемого земледелия требует применения передовых методов агротехники и рассоления орошаемых земель. Засоление в этих районах наносит большой ущерб сельскому хозяйству.

По данным научно-исследовательских работ, на орошаемых землях, в зависимости от степени засоления, урожай хлопка-сырца снижается на 10—60%.

В областях, где нет засоленных земель, урожай хлопка достигает 40 ц/га. В засоленных областях, в частности в дельтах Амударьи и Зарафшана средняя урожайность в последние годы составила 15—17 ц/га.

Основное мероприятие, регулирующее водно-солевой режим засоленных земель — строительство открытых или закрытых горизонтальных дрен.

Мелиоративный эффект открытого дренажа не может быть удовлетворительным, из-за некоторых серьезных недостатков, значительно снижающих производительность орошаемого земледелия: деформация откосов и дна каналов дренажной сети; зарастание сорняками дренажно-коллекторной сети; значительные потери посевной площади (10—15%); большие затраты по очистке и восстановлению первоначальной глубины дренажной сети (30—50% от объема земляных работ); ограниченность широкого применения сельскохозяйственных машин.

Наиболее эффективный метод рассоления орошаемых земель — применение закрытого горизонтального дренажа. Замена открытых каналов закрытыми дренами повышает коэффициент земельного использования и эффективность применения передовых методов агротехники с использованием сельскохозяйственных машин. Это одно из главных преимуществ закрытых горизонтальных систем перед открытыми, подтверждающееся как отечественным, так и зарубежным опытом строительства и эксплуатации осушительных систем. Но в орошаемых районах Средней Азии он еще не нашел широкого применения, так как отсутствует дешевый и долговечный материал для изготовления дренажных труб. При строительстве закрытого дренажа сейчас применяют главным образом гончарные и асбестоцементные трубы. В различных районах Советского Союза применяют дерево и бетон.

Бетонные трубы в агрессивной среде недолговечны. Деревянные широко применяются там, где обеспечивается постоянный приток грунтовых вод, в противном случае они быстро загнивают.

В Средней Азии дерево — дефицитный и дорогой материал, поэтому различные институты предлагают трубы с пористым телом, из глиняного шнура (АзНИИГиМ), из глины с 30 % опилок и 5 % угля и песчано-битумные, принимающие воду не только через стыки, но и по всей длине.

Пористые гончарные трубы имеют существенные недостатки: они дорогие и обладают весьма малой фильтрующей способностью, кроме того, из-за гидрофильности поры быстро закупориваются частицами грунта.

Пористые песчано-битумные трубы, предложенные в 1950 г. (ГДР), обладают высокой стойкостью к агрессивной водной среде и хорошей фильтрующей способностью.

П. Е. Грибанов и В. С. Мавлютдинов¹ высказывают мнение о целесообразности использования дренажных труб на основе битума для устройства дренажа в условиях Средней Азии, с которым мы не можем согласиться.

Лабораторные исследования песчано-битумных труб, проведенные в ИВПиГ АН УзССР, и опыт применения их в условиях Средней Азии показали, что они обладают низкой теплостойкостью и малой прочностью, поэтому под действием небольшой нагрузки и высоких летних температур разрушаются. Их малая прочность затрудняет хранение, транспортировку и применение механизации для укладки труб в дренах.

Недостаточная прочность песчано-битумного раствора иногда приводит к деформации труб, которые в поперечном сечении принимают овальную форму и образуют продольные трещины под действием тяжести грунта. Это подтверждается результатами обследования опытных дренажей, уложенных на Хашимкульском массиве бывшей Ленинабадской области².

К дренажным трубам, применяемым в условиях Средней Азии, предъявляются особо высокие требования. Материал для их изготовления должен быть стойким к агрессивному действию минерализованных вод, достаточно прочным и экономичным. Дренажные трубы, применяемые в различных районах Советского Союза, не удовлетворяют всем этим требованиям.

Перспективными для устройства дренажа являются пористые дренажные трубы. Применение их улучшает гидравлику работы дренажей и дает положительный экономический эффект благодаря отказу от фильтрующей обоймы. Поступление воды по всей длине труб увеличивает скорость фильтрации воды в дренажах и благотворно влияет на вымыв солей, а одним из возможных путей получения прочных и экономичных пористых труб, стойких к агрессивному действию грунтовых вод, — использование полимеров, вырабатываемых местной промышленностью.

Большинство синтетических смол весьма стойки к действию растворов солей, кислот, щелочей, что очень важно при получении долговечного материала для устройства закрытого дренажа.

В Советском Союзе опыты строительства закрытого дренажа из отечественных полимеров (полистирол, полиэтилен, полипропилен и т. д.) начаты в СевНИИГиМ. В наших условиях целесообразно использовать смолы, изготавливаемые местной промышленностью.

¹ П. Е. Грибанов, В. С. Мавлютдинов. Горизонтальный закрытый дренаж из гравийно-битумных труб, «Строительство и архитектура Узбекистана», 1962, № 4.

² Обследование производилось в апреле 1962 г. комиссией, в которую входили представители Гипроводхоза СССР, ИВПиГ АН УзССР и УОС Ленинабадской области.

На Ферганском гидролизном заводе вырабатывается мономер «ФА» (продукт конденсации фурфурола с ацетоном в присутствии щелочного катализатора). Мономер «ФА» — жидкость, обладающая способностью образовывать прочный, химически стойкий материал при действии отвердителей. Мономер «ФА» является вяжущим веществом для ряда наполнителей.

В лаборатории строительных материалов ИВПиГ АН УзССР проводились опыты по получению экономичных растворов на мономере «ФА» с добавлением в него нефтепродуктов для изготовления пористых дренажных труб. Они должны обладать прочностью и хорошей фильтрующей способностью.

Для получения пористых растворов на основе мономера «ФА» и нефтепродуктов применялся промытый речной песок различной крупности: обычный песок — 5—0,15 мм, песок с наименьшей крупностью — 0,15 мм, 0,3 мм, 0,6 мм.

Растворы готовили на мономере «ФА» без добавок нефтепродуктов: определенные навески песка и мономера «ФА» тщательно перемешивали в течение 1,5—2 мин., затем добавляли отвердитель — бензолсульфоокислоту, подогретую до 40°, после чего всю смесь перемешивали в течение 2—2,5 мин. Опытные образцы приготавливали ручным трамбованием в металлических формах.

Для определения предела прочности (сжатие) готовили кубики размером 3 см³. Испытание образцов из растворов разного состава показало, что наиболее оптимальным оказался раствор, приготовленный с 6% (от веса заполнителя) вяжущего — мономера «ФА» на песке крупностью 5—0,6 мм. Прочность этого раствора (сжатие) в 7-дневном возрасте — 198 кг/см², в 28-дневном — 216 кг/см². Фильтрующая способность — 0,0003 л/сек при H=50 см. Фильтрующую способность определяли количеством воды, проходившей через 1 см² поверхности образца за 1 сек., при H=50 см.

Фильтрующую способность образцов из пласторастворов испытывали на специальном приборе: сквозная металлическая труба с внутренним диаметром 7,5 см и высотой 60 см. Для отвода излишней воды в верхней ее части приварен отводной штуцер. Трубу удерживали в вертикальном положении на металлической тринице. Для испытания фильтрующей способности из пласторастворов готовили образцы-цилиндры (d=7 см и h=2,5 см), которые вставляли в нижнюю часть трубы, а сверху заливали воду. После установления полного напора (H=50 см) и постоянной фильтрации измеряли количество воды, проходящей через образец за каждые 30 сек. Затем подсчитывали средний расход воды за 30 сек.

Опыты показали, что с возрастанием процента содержания вяжущего прочность образцов из пористого раствора возрастает, а фильтрующая способность снижается.

Исследовались также образцы, приготовленные на мономере «ФА» с добавкой различных отходов нефтепродуктов¹. Для опыта применялись следующие нефтепродукты: отходы дифенильной смолы, полугудрон, мазут, джаркурганская нефть, дизельное топливо. Они не смазываются и являются дешевым материалом. Использование нефтепродуктов для добавок к мономеру «ФА» снижает стоимость изделий и позволяет получить гидрофобные растворы при изготовлении трудно заиляемых пористых труб.

Вяжущее представляло собой смесь из 50% мономера «ФА» и 50% нефтепродуктов (по весу). Опыты показали наиболее оптималь-

¹ Нефтепродукты доставлены с Вановского завода Ферганской области.

ный состав раствора: наполнитель — песок крупностью — 5—0,6 мм; вяжущее — смесь мономера «ФА» с отходами дифенильной смолы (5—6% от веса наполнителя); катализатор твердения — бензолсульфокислота (30% от веса вяжущего). Мы приводим сравнительные данные прочностных показателей образцов, изготовленных из пористых растворов на мономере «ФА» и нефтепродуктах (табл. 1).

Таблица 1

Прочность и фильтрующая способность образцов, изготовленных на мономере „ФА“ и нефтепродуктах

Количество вяжущего	Крупность наполнителя, мм	Прочность при сжатии, кг/см ²		Фильтрующая способность, л/сек через 1 см ² образца
		7 дней	28 дней	
Мономер „ФА“ 6% (от веса наполнителя)	5—0,6	198	216	0,0003
Мономер „ФА“ и отходы дифенильной смолы 50:50% (по весу), общее количество вяжущего 6% (от веса наполнителя)	5—0,6	83	98	0,0007
Мономер „ФА“ и джаркурганская нефть 50:50% (по весу) 6% (от веса наполнителя)	5—0,6	90	92	0,00052
Мономер „ФА“ и мазут 50:50% (по весу) 6% (от веса наполнителя)	5—0,6	47	47	0,0005

С введением в растворы, изготавливаемые на мономере «ФА» и отходах дифенильной смолы, молотых песков (4% от веса наполнителя) увеличивается прочность образцов до 26% и более, при этом их фильтрующая способность остается без изменения.

Ниже приводятся результаты испытания образцов, изготовленных на мономере «ФА» и дифенильной смоле с добавкой (4% от веса наполнителя) (табл. 2).

Таблица 2

Прочность пористых растворов с тонкопомольными добавками

Вид тонкопомольной добавки	Крупность наполнителя	Фильтрационная способность, л/сек через 1 см ² образца	Прочность на сжатие, кг/см ² (комнатного хранения)	
			28 дней	60 дней
Молотый песок юмалакского карьера	5—0,6	0,0007	145	157
Молотый кварцевый песок (Вольский)	5—0,6	0,00065	101	110,5
Молотый андезит	5—0,6	0,00063	123	134

ВЫВОДЫ

1. Опытами доказано получение пористого материала для изготовления дренажных труб на вяжущем — мономере «ФА» с добавкой нефтепродуктов.

2. При использовании нефтепродуктов в качестве добавок к мономеру «ФА» можно значительно (до 40%) снизить стоимость дренажных труб и придать им гидрофобность (несмачиваемость), что предотвратит заиляемость дренажа.

3. С применением при приготовлении пористых растворов тонкопомольных дабровок значительно повышается прочность материала без уменьшения его фильтрующей способности.

4. Пористые растворы, приготовленные на речном песке и вяжущем — смеси мономера «ФА» с нефтепродуктами, являются перспективным материалом для получения дренажных труб.

Описываемый материал стоек к действию агрессивной водной среды, достаточно прочен и не размягчается под действием высоких летних температур, как пористые песчано-битумные трубы. Приготовление его холодным способом выгодно отличается от песчано-битумных растворов.

Для разработки рекомендаций производству необходимо изучить долговечность растворов и технологию изготовления из них пористых труб.

Ш. Р. РИЗАЕВ

ЛИНЕАРИЗИРОВАННОЕ РЕШЕНИЕ ПЛОСКОЙ ЗАДАЧИ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ

Одна из групп методов расчета устойчивости откосов основана на том, что за предельный контур равноустойчивого откоса принимается линия скольжения в грунте, подпертом вертикальной стенкой. Уравнение этой линии выводится, исходя из того, что в любой ее точке нормальное и касательное напряжения удовлетворяют условию предельного равновесия, взятому в виде зависимости сопротивления сдвигу данного грунта. В данном смысле ранее полученное нами (16) уравнение линии скольжения одновременно является и уравнением предельного контура равноустойчивого откоса для плоской задачи.

Существует несколько методов линеаризованного решения плоской задачи. Однако ни один из них не может быть рекомендован для использования из-за наличия в них грубых ошибок. Приведем точный метод решения рассматриваемой задачи и критически проанализируем имеющиеся способы ее решения.

ТОЧНЫЙ МЕТОД

Пусть массив связного грунта с горизонтальной наружной поверхностью и равномерно распределенной нагрузкой σ_0 ограничен подпорной стенкой с вертикальной задней гранью и высотой h (рис. 1).

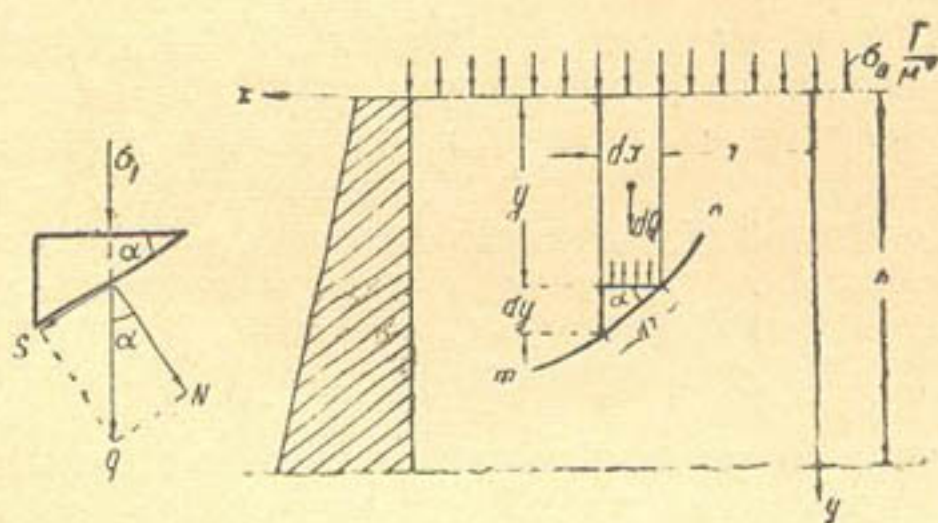


Рис. 1

Сущность рассматриваемой задачи сводится к нахождению границы или линии скольжения объема грунта, находящегося в подпертом состоянии, т. е. удерживающегося только благодаря подпорной стенке. При малейшем смещении стенки за ней вдоль линии скольжения будет перемещаться и подпертый ею грунт. Следовательно, что-

бы избежать устройства подпорной стенки, данный массив необходимо ограничивать откосом, совпадающим с линией скольжения. К этому обычно явно не высказываемому положению и сводится задача построения предельных контуров равноустойчивых откосов по методам, рассматриваемым в данной работе.

На основании сказанного выше, в дальнейшем под предельным равноустойчивым откосом будем подразумевать линию скольжения подпертого грунта (рис. 1).

Пусть кривая m, n — часть искомой линии скольжения. На ней выделим элементарную треугольную призму со сторонами dx, dy, dz . Нагрузка в тоннах, приходящаяся на горизонтальную грань призмы (на единицу длины в направлении, перпендикулярном плоскости чертежа) равна

$$dQ = \gamma \cdot y \cdot dx \cdot 1 + \sigma_0 dx \cdot 1 = (\gamma y + \sigma_0) dx \cdot 1, \quad (1)$$

где γ — объемный вес данного грунта. Разделив это уравнение на площадь горизонтальной грани $dx \cdot 1$, получим напряжение

$$\sigma_1 = \gamma y + \sigma_0.$$

На вертикальные грани призмы вообще действуют напряжения $\sigma_2 = \sigma_3$ (последнее нормально к плоскости чертежа). При этом, пренебрегая весом грунта в объеме элементарной призмы как бесконечно малой

$$\gamma \frac{dy \cdot dx}{2} \cdot 1,$$

величиной второго порядка, выражение вертикального напряжения для наклонной грани призмы получим в виде

$$q = \sigma_1 \cdot \cos \alpha = (\gamma y + \sigma_0) \cos \alpha.$$

Нормальная и касательная, составляющие q , соответственно равны:

$$N = q \cdot \cos \alpha = (\gamma y + \sigma_0) \cos^2 \alpha,$$

$$S = q \cdot \sin \alpha = (\gamma y + \sigma_0) \sin \alpha \cos \alpha.$$

Отсюда получаем

$$\frac{S}{N} = \operatorname{tg} \alpha. \quad (*)$$

Это соотношение справедливо для любой наклонной площадки. Однако по условиям рассматриваемой задачи, нас интересует единственное значение угла α для данной точки, при котором соответствующая площадка является площадкой скольжения. Эта предельная величина угла α может быть установлена только на основании условия предельного равновесия. Таким условием в данном случае является экспериментальная зависимость сопротивления сдвигу по Кулону:

$$S = fN + c, \quad (2)$$

где $f = \operatorname{tg} \varphi$, c — параметры или соответственно коэффициент внутреннего трения и сцепления данного грунта. Это же условие может быть представлено в виде

$$\max [S - (fN + c)] = 0,$$

т. е. максимальная разность между касательным напряжением и соответствующей функцией от нормального напряжения равна нулю.

Таким образом, решение рассматриваемой задачи сводится к нахождению уравнения кривой, в любой точке которой нормальное и касательное напряжения должны удовлетворять условию предельного равновесия по Кулону.

Из (2) следует:

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{S}{N} = f + \frac{c}{N}. \quad (3)$$

Сопоставляя (3) и (*), получим.

$$\alpha = \psi,$$

т. е. в любой точке равноустойчивого откоса или линии скольжения угол наклона касательной равен соответствующему этой же точке массива углу сопротивления сдвигу. Из этого положения исходят все авторы рассматриваемых методов расчета откосов. Однако в этих методах указанное исходное положение применяется к недостаточно четко выраженным расчетным схемам — причина многих недоразумений.

В соответствии с (4) предыдущие общие выражения для q , N , S , будучи отнесены к линии скольжения, принимают вид

$$\left. \begin{aligned} q &= (\gamma y + \sigma_0) \cos \psi \\ N &= (\gamma y + \sigma_0) \cos^2 \psi \\ S &= (\gamma y + \sigma_0) \sin \psi \cos \psi \end{aligned} \right\} .(5)$$

Графическая интерпретация этих соотношений показана на рис. 2.

В системе координат S , N значение ψ определяется непосредственно из графика среза или по формуле (3). Подставляя в эту формулу значение N согласно (5), выражение для ψ в системе координат Y , X получим в следующем неявном виде:

$$\operatorname{tg} \psi = f + \frac{c}{(\gamma y + \sigma_0) \cos^2 \psi}. \quad (6)$$

Рис. 2.

В соответствии с (4) уравнение откоса должно быть найдено из условия

$$\frac{dy}{dx} = \operatorname{tg} \psi, \quad (7)$$

в котором значение для ψ вычисляется по равенству (6). Таким образом, на основании (7) и (3) связь систем координат откоса (y , x) и диаграммы сопротивления сдвигу (S , N) для связных грунтов выражается так:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S}{N} = \operatorname{tg} \psi, \quad (8)$$

т. е. для откоса — угол наклона касательной, а для диаграммы сопротивления сдвигу — угол наклона ее радиуса — вектора.

В (2), полагая $c = 0$, для сыпучего грунта получаем:

$$S_* = fN_*; \quad \operatorname{tg} \psi = f = \operatorname{const}.$$

В соответствии с этим из выражения (7), находя при этом величину постоянной интегрирования из условия $x=0$, $y=0$, будем иметь

$$y = fx. \quad (9)$$

Сопоставляя это с соответствующим выражением сопротивления сдвигу, имеем:

$$\frac{y}{x} = \frac{S_*}{N_*} = f, \quad (10)$$

т. е. для сыпучих грунтов откос и диаграмма сопротивления сдвигу, независимо от системы координат (y , x или S , N), — одна и та же прямая, проведенная из начала координат под углом $\varphi = \operatorname{arc} \operatorname{tg} f$.

Таким образом, решение рассматриваемой задачи в общем виде сводится к решению уравнения (8). Для этого, сделав в (6) подстановку

$$\cos^2 \varphi = \frac{1}{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi},$$

придем к квадратному уравнению относительно $\operatorname{tg} \psi$, решить его можно так:

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{\gamma y + \sigma_0 - \sqrt{R}}{2c} = 2 \frac{f(\gamma y + \sigma_0) + c}{\gamma y + \sigma_0 + \sqrt{R}}; \quad (11)$$

здесь

$$R = \gamma^2 y^2 + by + a; \quad b = 2\gamma(\sigma_0 - 2fc); \\ a = \sigma_0^2 - 4c(f\sigma_0 + c).$$

Из формулы (11), найдя значение $\cos \psi$ и $\sin \psi$ и подставив их в (5), получим распределение напряжений вдоль линии скольжения в виде

$$\left. \begin{aligned} q &= \sqrt{\frac{(\gamma y + \sigma_0)(\gamma y + \sigma_0 - 2fc + \sqrt{R})}{2(1 + i^2)}}; \\ N &= \frac{\gamma y + \sigma_0 - 2fc + \sqrt{R}}{2(1 + i^2)}; \\ S &= \frac{f(\gamma y + \sigma_0 + \sqrt{R}) + 2c}{2(1 - i^2)} \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Подставляя формулу (11) в (7), получим дифференциальное уравнение откоса:

$$\frac{dy}{dx} = 2 \frac{f(\gamma y + \sigma_0) + c}{\gamma y + \sigma_0 + \sqrt{R}}. \quad (13)$$

Отсюда имеем

$$x = \frac{1}{2f\gamma} \left(\frac{\gamma y + \sigma_0}{y + p} dy + \int \frac{\sqrt{R}}{y + p} dy \right) + C,$$

где

$$p = \frac{f\sigma_0 + c}{f\gamma}.$$

Второй интеграл этого уравнения выражается в виде [5]

$$\int \frac{\sqrt{R}}{y + p} dy = \gamma^2 \int \frac{y dy}{\sqrt{R}} + (b - \gamma^2 p) \int \frac{dy}{\sqrt{R}} + (a - bp + \gamma^2 p^2) \int \frac{dy}{(y + p)\sqrt{R}}.$$

Выпишем значения отдельных интегралов:

$$\begin{aligned} \int \frac{\gamma y + \sigma_0}{y + p} dy &= \gamma y + (\sigma_0 - \gamma p) \ln(y + p); \\ \int \frac{dy}{\sqrt{R}} &= \frac{1}{\gamma} \ln(2\gamma \sqrt{R} + 2\gamma^2 y + b); \\ \int \frac{y dy}{\sqrt{R}} &= \frac{\sqrt{R}}{\gamma^2} - \frac{b}{2\gamma^3} \ln(2\gamma \sqrt{R} + 2\gamma^2 y + b); \\ \int \frac{y dy}{(y + p)\sqrt{R}} &= -\frac{1}{\sqrt{A}} \ln \frac{2\sqrt{AR} + 2A + B(y + p)}{y + p}, \end{aligned}$$

где

$$A = a - bp + \gamma^2 p^2; \quad B = b - 2\gamma^2 p.$$

Подставляя значения этих интегралов в выражение x , имеем:

$$x = \frac{1}{2f\gamma} \left\{ \gamma y + \sqrt{R} + (\sqrt{A} + \sigma_0 - \gamma p) \ln(y + p) + \right. \\ \left. + \frac{B}{2\gamma} \ln(2\gamma\sqrt{R} + 2\gamma^2 y + b) - \sqrt{A} \ln[2\sqrt{AR} + 1A + B(y + p)] \right\} + C.$$

В соответствии с принятыми обозначениями получаем:

$$A = \frac{c^2}{f^2}; \quad B = -\frac{2\gamma c(1 + 2f^2)}{f}; \quad \sqrt{A} - \sigma_0 - \gamma p = 0; \\ x = \frac{1}{2f\gamma} \left\{ \gamma y + \sqrt{R} - \frac{c(1 + 2f^2)}{f} \ln 2\gamma(\gamma y + \sigma_0 - 2fc + \sqrt{R}) - \right. \\ \left. - \frac{c}{f} \ln \frac{2c}{f} \left[\sqrt{R} - (1 + 2f^2)(\gamma y + \sigma_0) - 2fc \right] \right\} + C. \quad (14)$$

Для нахождения значения постоянной интегрирования будем исходить из того, что полученное уравнение справедливо при

$$R = \gamma^2 y^2 + by + a \geq 0.$$

Из этого условия приходим к известным выражениям критической высоты откоса:

$$y_{кр} = \frac{2c}{\gamma} (f + \sqrt{1 + f^2}) - \frac{\sigma_0}{\gamma} = \frac{2c \cos \varphi}{\gamma(1 - \sin \varphi)} - \frac{\sigma_0}{\gamma} \quad (15) \\ \sigma_{кр} = \gamma y_{кр} + \sigma_0$$

Напряженное состояние грунта при $y < y_{кр}$. В. В. Соколовский [19] называет неопредельным (упругим), а при $y > y_{кр}$ — предельным.

В выражении (11), полагая $R = 0$ и имея в виду (15), получим:

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tg} \psi_{кр} &= f + \sqrt{1 + f^2} \\ \psi_{кр} &= 45^\circ + \varphi/2 \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

Подставляя последнее в выражение (5) имеем:

$$\left. \begin{aligned} q_{кр} &= c \sqrt{2(1 + \sin \varphi)} \\ N_{кр} &= c \cos \varphi \\ S_{кр} &= c(1 + \sin \varphi) \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

В приведенных выше рассуждениях значения для $\sigma_{кр}$ и $N_{кр}$ выведены косвенным путем, исходя из выражения R , входящего в уравнение откоса. Но те же соотношения могут быть получены непосредственно из уравнения Кулона. На рис. 2 отрезок ab — перпендикуляр, проведенный с конца радиуса — вектора oa . Из рисунка видно, что при движении точки a вверх по диаграмме среза величина σ_1 увеличивается, стремясь к бесконечности.

То же происходит и при движении точки a вниз к оси ординат. Следовательно, на диаграмме среза должна быть критическая точка, для которой σ_1 имеет наименьшее значение. Действительно, подставляя в уравнение Кулона (2) значения N и S согласно (5), будем иметь

$$\sigma_1 = \gamma y + \sigma_0 = \frac{c}{\sin \psi \cos \psi - f \cos^2 \psi}. \quad (**)$$

Приравнивая к нулю первую производную этого равенства, приходим к выражению (16). Подставляя последнее в (**) и (5), для $\sigma_{кр}$ и $N_{кр}$ получим соответственно выражения (15) и (17).

Так как в основу вывода уравнения откоса (14) положен закон Кулона

$$S = fN + c, \quad (2)$$

то условие $y \geq y_{кр}$ или $N > N_{кр}$, ограничивающее область применения уравнения (14), следует рассматривать как критерий применимости закона Кулона. Физический смысл этого положения заключается в следующем. При уплотнении связного грунта без возможности бокового расширения, пока не будет преодолено его структурное сопротивление на сжатие, он находится в состоянии одноосного сжатия. С преодолением структурного сопротивления в грунте возникает боковое (распорное) давление, и он окажется в состоянии трехосного сжатия.

Изменение напряженного состояния грунта под нагрузкой оказывает соответствующее влияние на очертания диаграммы среза. Этим объясняется мнение о том, что при $N = 0,5 \div 1,0 \text{ кг/см}^2$ диаграмма среза связных грунтов имеет криволинейное очертание [15, 23]. Зависимость $N_{кр}$ согласно (17) дает точное значение N , начиная с которого диаграмма среза соответствует закону Кулона.

Н. Л. Бурдзгла [4] не учел ограниченности уравнения Кулона условием $y > y_{кр}$, $N > N_{кр}$, поэтому пришел к неправильному заключению о знакопеременности давления связных грунтов на подпорные стенки.

На основании изложенного выше можно сделать следующие выводы.

Диаграмма среза связных грунтов состоит из двух участков, не описываемых одним уравнением (рис. 3). Первый участок — криволинейный может быть прямолинейным, но с иными параметрами (f_1, c_1)

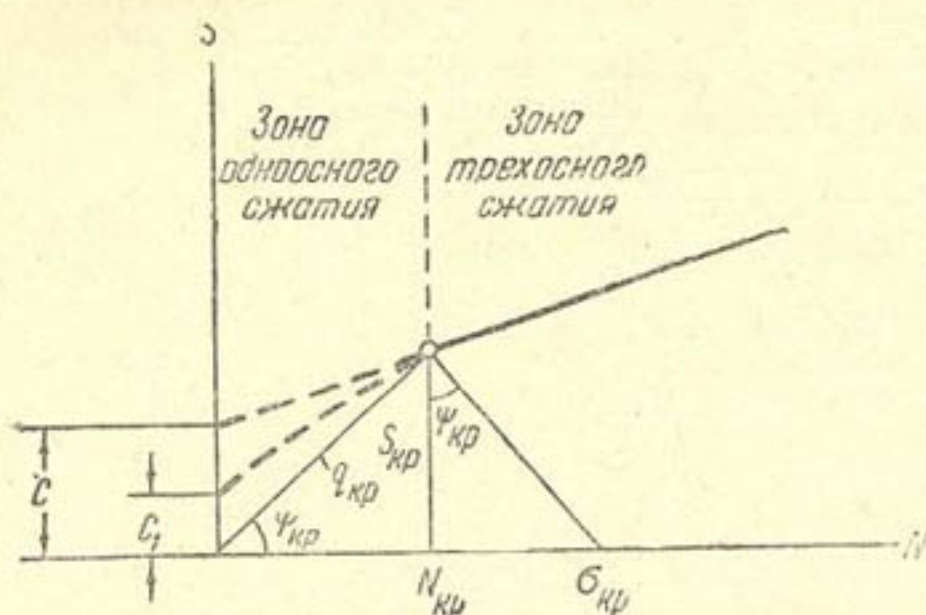


Рис. 3.

соответствует одноосно сжатому состоянию грунта ($N < N_{кр}$) второй — прямолинейный —, уравнению Кулона и относится к трехосно сжатому состоянию грунта ($N > N_{кр}$). При этом с одной стороны, очевидна неправильность распространенного наименования величин $f(\varphi)$ и c соответственно коэффициентом (углом) внутреннего трения и сцеплением. Фактически это параметры только линейной части диаграммы среза. С другой стороны, истинная величина сцепления равна отрезку c_1 и (в отличие от $N_{кр}$ сопротивлению на сжатие) представляет структурную прочность или сопротивление на срез при $N = 0$.

Для получения однозначной, т. е. прямолинейной, части диаграммы среза, опыт следует вести при $N > N_{кр}$. При этом величину $N_{кр}$ можно определить заранее по графику компрессии или распорного давления данного грунта, как нагрузку, с которой начнется деформация уплотнения, или появляется распорное давление.

Так как уравнение Кулона относится именно к трехосно сжатому состоянию грунта, то влияние распорного давления, как и прочих, неявно учитываемых факторов, входит в параметры f и c этого уравнения. Поэтому, используя закон Кулона применительно к расчетной схеме (рис. 1), следует предполагать, что распорное давление равно нулю ($\sigma_2 = \sigma_3 = 0$). С одной стороны, рассматриваемая задача линейная, с другой — плоская, так как применяется уравнение Кулона, параметры которого учитывают влияние и распорного давления σ_2 . Совмест-

ное использование этих положений, в отличие от плоской ($\sigma_2 \neq 0$) и линейной ($\sigma_2 = 0$) названо нами линиаризированной задачей. Решение плоской задачи дано в ранее упомянутой нашей работе [16].

Возвращаясь к уравнению откоса (14), величину постоянной интегрирования найдем из условия

$$Y = Y_{кр}, \quad X = 0:$$

$$C = -\frac{1}{2i\gamma} \left[2c \left(f + \sqrt{1+f^2} - \sigma_0 - \right. \right. \\ \left. \left. - c \frac{(1+2f^2)}{f} \ln 4\gamma c \sqrt{1+f^2} - \frac{c}{f} \ln \frac{4c^2}{f} \sqrt{1+f^2} (f + \sqrt{1+f^2})^2 \right) \right].$$

Подставляя это в выражение (14), после соответствующих преобразований уравнение откоса (линии скольжения) получаем окончательно в виде

$$x = \frac{1}{2i\gamma} \left\{ \gamma y + \sigma_0 - 2fc + \sqrt{R} - \frac{c(1+2f^2)}{f} \ln (\gamma y + \right. \\ \left. + \sigma_0 - 2fc + \sqrt{R}) - \frac{c}{f} \ln [(1+2f^2)(\gamma y + \sigma_0) + 2fc - \sqrt{R}] + A \right\}. \quad (18)$$

Здесь

$$R = (\gamma y + \sigma_0)^2 - 4fc(\gamma y + \sigma_0) - 4c^2;$$

$$A = -2c \sqrt{1+f^2} + \frac{c(1+2f^2)}{f} \ln 2c \sqrt{1+f^2} + \\ + \frac{c}{f} \ln 2c \sqrt{1+f^2} (f + \sqrt{1+f^2})^2.$$

Об очертании откоса, описываемого уравнением (18), можно судить по следующему. Согласно (16) при $Y = Y_{кр}$ угол наклона касательной в начальной точке откоса равен

$$\psi_{кр} = 45^\circ + \varphi/2.$$

Разделив числитель и знаменатель равенства (11) на y , при $y \rightarrow \infty$ имеем

$$\psi_{min} = \varphi.$$

Уравнение (18) относится к предельному состоянию равновесия, выраженному в виде (2). При введении в расчет коэффициента устойчивости η соответствующее условие предельного равновесия будет выглядеть так:

$$S = f_* N + c_*,$$

где

$$f_* = \frac{f}{\eta}, \quad c_* = \frac{c}{\eta}.$$

Рассмотрим частные случаи уравнения откоса.

Случай сыпучего грунта ($c = 0$). Из формулы (18) можно отдельно выделить члены, содержащие равенство

$$c \ln c = \frac{\ln c}{1/c},$$

которое при $c \rightarrow 0$ дает неопределенность вида $\frac{\infty}{\infty}$. При применении правила

Лопиталья предел этого выражения равен нулю, а искомое уравнение —

$$Y = fx - \frac{\sigma_0}{\gamma}. \quad (19)$$

То же получится и непосредственно из (13), если полагать в нем $c = 0$ и находить величину постоянной интегрирования из условия

$$x = 0; \quad y = y_0 = -\frac{\sigma_0}{\gamma}.$$

Из выражения (12) при $c = 0$ определяем распределение напряжений вдоль линии скольжения:

$$\left. \begin{aligned} q &= (\gamma y + \sigma_0) \cos \varphi \\ N &= (\gamma y + \sigma_0) \cos^2 \varphi \\ S &= (\gamma y + \sigma_0) \sin \varphi \cos \varphi \end{aligned} \right\}. \quad (20)$$

Случай идеально связного грунта $\varphi = 0$. Уравнение (18) может быть представлено в виде

$$2\gamma x = \frac{I}{f^2},$$

где

$$\begin{aligned} I &= f(\gamma y + \sigma_0 - 2fc + \sqrt{R}) - c(1 + 2f^2) \ln(\gamma y + \sigma_0 - 2fc + \sqrt{R}) + \\ &+ c(1 + 2f^2) \ln 2c \sqrt{1 + f^2} - c \ln [(1 + 2f^2)(\gamma y + \sigma_0) + 2fc - \sqrt{R}] + \\ &+ c \ln 2c \sqrt{1 + f^2} + 2c \ln (f + \sqrt{1 + f^2}) - 2cf \sqrt{1 + f^2}, \end{aligned}$$

которое при $f \rightarrow 0$ дает неопределенность вида $\frac{0}{0}$. Применяя правило Лопиталья, находим:

$$\begin{aligned} \lim_{f \rightarrow 0} 4\gamma x &= -4c \ln \frac{\gamma y + \sigma_0 + \sqrt{R_1}}{2c} - \\ &- \frac{2c[3(\gamma y + \sigma_0) + \sqrt{R_1}]}{\gamma y + \sigma_0 - \sqrt{R_1}} + \lim_{f \rightarrow 0} \frac{U}{f}. \end{aligned}$$

Здесь

$$\begin{aligned} R_1 &= (\gamma y + \sigma_0)^2 - 4c^2 \\ U &= 4c^2 \left\{ \frac{1}{\gamma y + \sigma_0 - 2fc - \sqrt{R}} - \right. \\ &\left. - \frac{4c^3}{(\gamma y + \sigma_0 - \sqrt{R})(\gamma y + \sigma_0 - 2fc + \sqrt{R})[(1 + 2f^2)(\gamma y + \sigma_0 + 2fc - \sqrt{R})]} \right\}. \end{aligned}$$

Из последнего члена этого выражения при $f \rightarrow 0$ получается неопределенность вида $\frac{0}{0}$. Применяя к нему правило Лопиталья, имеем

$$\lim_{f \rightarrow 0} \frac{U}{f} = \frac{24c^3}{(\gamma y + \sigma_0 - \sqrt{R_1})^2}.$$

Таким образом, для рассматриваемого частного случая уравнение откоса выразится в виде

$$x = \frac{1}{4\gamma c} \left[(\gamma y + \sigma_0 + \sqrt{R_1}) \sqrt{R_1} - 4c^2 \ln \frac{\gamma y + \sigma_0 + \sqrt{R_1}}{2c} \right]. \quad (21)$$

То же получим путем интегрирования выражения (13) при $f = 0$.

Из выражения (12), полагая $f = 0$, будем иметь:

$$\left. \begin{aligned} q &= \sqrt{\frac{(\gamma y + \sigma_0)(\gamma y + \sigma_0 + \sqrt{R_1})}{2}} \\ N &= \frac{\gamma y + \sigma_0 + \sqrt{R_1}}{2}; \quad S = c \end{aligned} \right\}. \quad (22)$$

Отсюда при $R_1 = 0$ и из равенств (16) при $\varphi = 0$ соответственно получаем

$$\left. \begin{aligned} Y_{кр} &= \frac{2c - \sigma_0}{\gamma} \\ \sigma_{кр} &= 2c; \quad \psi_{кр} = 45^\circ \end{aligned} \right\}; \quad (23)$$

$$\left. \begin{aligned} q_{кр} &= \sqrt{2} c \\ N_{кр} &= S_{кр} = c \end{aligned} \right\}. \quad (24)$$

Построение, соответствующее этим соотношениям, показано на рис. 4.

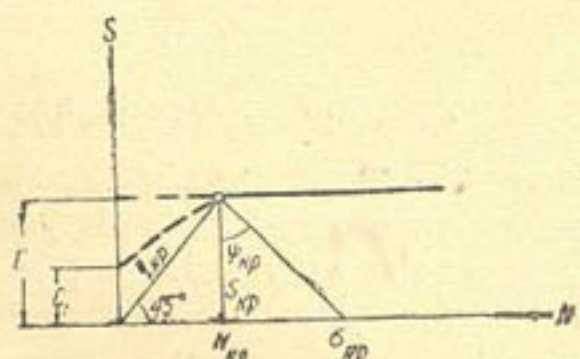


Рис. 4.

КРИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ

Идея отождествления предельного контура равноустойчивого откоса и линии скольжения (поверхности обрушения) грунта высказана еще в 1926 г. В. К. Дмоховским [6] применительно к методу расчета откосов по Винклеру. Впервые, по-видимому, в учебнике А. В. Паталеева и др. [14], вышедшем в 1938 г., приведена схема откоса, крутизна которого изменяется в соответствии с изменением угла сопротивления данного грунта на срез, т. е. откос — геометрическое место точек, удовлетворяющее условию (4). Такая же схема приведена и в учебнике В. К. Дмоховского [7], вышедшем в 1940 г.

Первый способ расчета, основанный на указанном выше условии (4), разработан С. П. Шеляпиным в 1941 г. В последующие годы появились и другие методы. Однако во всех случаях указанное условие (4) использовано неправильно, в результате чего соответствующие методы расчета оказались ошибочными.

Методы С. П. Шеляпина [24] и Н. Г. Самсонова [17, 18]. Сущность метода Шеляпина в принятых нами обозначениях и системе координат (рис. 1) заключается в следующем (в дальнейших рассуждениях будем предполагать $\sigma_0 = 0$): из зоны призмы обрушения выделим столбик грунтов шириной и длиной (в направлении, перпендикулярном к плоскости чертежа), равной единице и средней высотой y (рис. 5). Вес грунта в объеме рассматриваемого столбика равен

$$Q = \gamma y \cdot 1 \cdot 1,$$

а его нормальная и касательная составляющие

$$\left. \begin{aligned} P &= \gamma y \cdot \cos \psi \\ T &= \gamma y \cdot \sin \psi \end{aligned} \right\}. \quad (a)$$

При этом уравнение Кулона Шеляпиным записано в виде

$$T = fP + c. \quad (б)$$

Подставляя сюда выражение (a), имеем:

$$\operatorname{tg} \psi_1 = f + \frac{c}{\gamma y \cdot \cos \psi_1}.$$

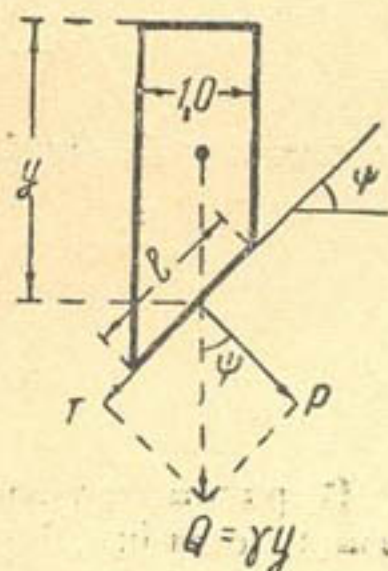


Рис. 5.

Отсюда, так как $f = \operatorname{tg} \varphi$, получаем:

$$\sin(\psi_1 - \varphi) = \frac{c \cdot \cos \varphi}{\gamma y} \quad (25)$$

или, подставляя в выражение (в), —

$$\cos \psi_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \psi_1}}$$

и, решая получаемое при этом квадратное уравнение, находим:

$$\operatorname{tg} \psi_1 = \frac{f \gamma^2 y^2 + c \sqrt{(1 + f^2) \gamma^2 y^2 - c^2}}{\gamma^2 y^2 - c^2}. \quad (26)$$

Применительно к формулам (25) и (26) Шеляпиным предложены соответственно приближенные графический и графо-аналитический приемы построения равноустойчивого откоса.

Метод Самсонова, опубликованный в 1959 г., — лишь аналитический прием решения задачи по изложенному выше методу Шеляпина. В связи с тем, что ψ_1 — угол наклона касательной к искомой кривой (откосу), уравнение (26) может быть представлено в виде

$$\frac{dy}{dx} = \frac{f \gamma^2 y^2 + c \sqrt{(1 + f^2) \gamma^2 y^2 - c^2}}{\gamma^2 y^2 - c^2}. \quad (27)$$

Интегрируя последнее и найдя постоянную интегрирования из условия $x = 0, y = \frac{c}{\gamma}$, получим уравнение откоса в виде

$$x = \frac{1}{f} \left[y - \frac{c}{\gamma} + \frac{c}{f \gamma} \ln \frac{\gamma y + \sqrt{(1 + f^2) \gamma^2 y^2 - c^2}}{f \gamma y + c} - \frac{c \sqrt{1 + f^2}}{f \gamma} \ln \frac{\sqrt{1 + f^2} \gamma y + \sqrt{(1 + f^2) \gamma^2 y^2 - c^2}}{c(f + \sqrt{1 + f^2})} \right]. \quad (28)$$

Отсюда, вынося за общую скобку $\frac{c}{\gamma}$, разделив на c числитель и знаменатель обоих логарифмических выражений и введя обозначения

$$x_1 = \frac{x}{c/\gamma}, \quad y_1 = \frac{y}{c/\gamma},$$

приходим к уравнению откоса по Самсонову:

$$x_1 = \frac{1}{f} \left[y_1 - 1 + \frac{1}{f} \ln \frac{y_1 + \sqrt{(1 + f^2) y_1^2 - 1}}{1 + f y_1} - \frac{\sqrt{1 + f^2}}{f} \ln \frac{\sqrt{1 + f^2} y_1 + \sqrt{(1 + f^2) y_1^2 - 1}}{f + \sqrt{1 + f^2}} \right] \quad (29)$$

или, так как $f = \operatorname{tg} \varphi$, имеем

$$x_1 = \operatorname{ctg} \varphi \left(y_1 - 1 + \operatorname{ctg} \varphi \ln \frac{y_1 \cos \varphi + \sqrt{y_1^2 - \cos^2 \varphi}}{\cos \varphi + y_1 \sin \varphi} - \frac{1}{\sin \varphi} \ln \frac{y_1 + \sqrt{y_1^2 - \cos^2 \varphi}}{1 + \sin \varphi} \right). \quad (30)$$

В рассмотренных выше методах расчета откосов допущена следующая ошибка. При выводе расчетных зависимостей, а именно в выражении (б), принятом в качестве уравнения Кулона, не соблюдено правило размерности, т. е. T и P взяты в тоннах, а сцепление c в t/m^2 . В связи с этим выражение (в) также не соответствует действительности, что и подчеркнуто нами приведением соответствующего индекса при ψ .

Для того, чтобы все члены уравнения (б) имели размерность напряжения, каждое из равенств выражения (а) следует разделить на площадь сдвига рассматриваемого столбика грунта (рис. 5), равную

$$\omega = 1 \cdot 1 = \frac{1}{\cos \varphi},$$

в результате чего придем к выражению (5), имеющему размерность напряжения, или, взяв значения T и P в виде (а), величину сцепления c в m/m^2 нужно умножить на ту же площадь ω .

Кроме сказанного выше, за начальную точку откоса, описываемого уравнениями Шеляпина и Самсонова, принята точка, соответствующая $\psi_1 = 90^\circ$, что согласно (26) соответствует $y = c/\gamma$. Однако по формуле (26) начальная точка откоса должна быть найдена из условия

$$(1 + f^2) \gamma^2 y^2 - c^2 \geq 0,$$

откуда

$$y_{кр} = \frac{c \cdot \cos \varphi}{\gamma}. \quad (г)$$

Подставляя последнее в равенство (26), получим

$$(\psi_1)_{кр} = 90^\circ + \varphi.$$

Далее, разделив числитель и знаменатель (26) на y^2 , при $y \rightarrow \infty$ имеем $\psi_1 = \varphi$. Приравняв нулю вторую производную от (27), приходим к выводу, что точка, соответствующая $y = c/\gamma$ и $\psi_1 = 90^\circ$, является точкой перегиба откоса, а начальная его точка в действительности согласно (г) должна соответствовать значению $y_{кр}$, чему соответствует $\psi_1 = 90^\circ + \varphi$. Такой неправдоподобный профиль откоса, имеющий точку перегиба — одно из следствий несоблюдения одинаковой размерности величин, входящих в уравнение (б).

Метод Н. Н. Маслова [9, 10, 11] впервые опубликован в 1949 г. и заключается в следующем. Если в выражении

$$\operatorname{tg} \psi = f + \frac{c}{N} \quad (3)$$

вместо

$$N = \sigma_1 \cos^2 \psi = \gamma y \cdot \cos^2 \psi$$

принять

$$N = \sigma_1 = \gamma y,$$

то приходим к выражению $\operatorname{tg} \psi_2$ по Маслову:

$$\operatorname{tg} \psi_2 = f + \frac{c}{\gamma y}. \quad (31)$$

Способ построения откоса по этой формуле [9] по технике выполнения идентичен графо-аналитическому приему Шеляпина. Несколько иной, чисто графический прием построения, предложенный Г. А. Андреевым, описан в работе Маслова [11].

Позднее Маслов [10] опубликовал способ построения откоса, основанный на интегрировании уравнения

$$\frac{dy}{dx} = f + \frac{c}{\gamma y}.$$

Соответствующее уравнение откоса получено в виде

$$x = \frac{1}{f^2 \gamma} [f \gamma y + c \ln c - c \ln (f \gamma y + c)]. \quad (32)$$

Исходные предпосылки своего метода Маслов сформулировал следующим образом:

«1. Угол устойчивого (естественного) откоса для любой горной породы есть угол сопротивления ее сдвигу (ψ_p);

2. Критическое напряжение в толще определяется равенством двух главных напряжений (коэффициент бокового давления $\xi=1$), равных весу столба грунта с высотой, в свою очередь, равной глубине погружения данной точки от горизонтальной поверхности грунта» [11].

Особенность этого метода: величина N принимается по гидростатическому закону, т. е. как для жидких тел. Для обоснования этого положения Маслов ссылается на два графика зависимости бокового давления, полученных им из опыта с образцами, вырезанными из искусственно приготовленного монолита во взаимно перпендикулярных направлениях. Из этих графиков он делает вывод: $\sigma_2 = \sigma_1$. В действительности из тех же графиков соответственно имеем:

$$\sigma_2 \cong 0,5 \sigma_1 + 0,2; \quad \sigma_2 \cong 0,6 \sigma_1 + 0,2.$$

Следовательно, опыты, которые, по мнению Маслова, подтверждают принцип гидростатического распределения напряжений в грунте ($\sigma_2 = \sigma_1$), указывают лишь на то, что при прочих равных условиях величина распорного давления практически мало зависит от ориентации образца грунта. Иначе говоря, в данном случае грунт можно рассматривать как изотропный материал. Но изотропность материала и гидростатическое распределение напряжений не одно и то же.

Далее, по Маслову, гидростатический закон распределения напряжений относится к области пластических деформаций грунта [9]. В действительности условие пластичности материала предполагает постоянство того или иного соотношения между главными напряжениями [12], а не их равенство.

Кроме того, по методу Маслова, связной грунт не может иметь вертикального откоса. Однако сплошь и рядом можно встретить с давних пор благополучно стоящие отвесные откосы высотой даже более 10 м.

Из изложенного выше очевидна ошибочность метода Маслова, основанного на совместном использовании несовместимых положений, относящихся или только к грунтам (закон Кулона), или только к жидким телам (закон Паскаля).

В работах Г. С. Золотарева [8], Н. Н. Маслова [9] и др. натурные откосы сопоставляются с откосами, вычерченными, в частности, по методу Маслова. Из такого сопоставления делать вывод о преимуществе того или иного метода расчета неправильно, так как коэффициент устойчивости натуральных откосов неопределенный. Между тем обычно предполагается, что эти откосы находятся именно в предельном состоянии, потому что зачастую они подвержены оползневым явлениям. Однако эти явления из-за особенностей грунтов данного района и других факторов могут продолжаться неопределенно долго, и в различные периоды натуральный откос может оказаться близким к профилю, вычерченному по тому или иному методу. Поэтому сопоставление расчетных и натуральных откосов должно сопровождаться детальным анализом всех факторов, влияние которых или вовсе не учтено расчетной формулой, или учтено недостаточно.

Метод Е. К. Алаторцева [1]. По этому методу уравнение откоса выведено в следующем параметрическом виде:

$$y = \frac{q}{\gamma}; \quad (33)$$

$$x = \frac{q}{\gamma} \cdot \frac{N}{S}, \quad (34)$$

где

$$q = \sqrt{S^2 + N^2}. \quad (a)$$

Приведем это уравнение к виду, сопоставимому с предыдущими методами. В (a), подставляя значение q согласно (33) и значение S по уравнению Кулона

$$S = fN + c,$$

находим

$$\gamma y = \sqrt{(fN + c)^2 + N^2}; \quad (б)$$

отсюда

$$N = \frac{-fc + \sqrt{(1 + f^2)\gamma^2 y^2 - c^2}}{1 + f^2}. \quad (в)$$

Разделив (33) на (34) и в полученном выражении заменив S , согласно уравнению Кулона, будем иметь.

$$N = \frac{cx}{y - fx}. \quad (г)$$

Приравнявая правые части обеих формул, для N получим уравнение откоса по методу Алаторцева в виде

$$\frac{y}{x} = \frac{f\gamma^2 y^2 + c\sqrt{(1 + f^2)\gamma^2 y^2 - c^2}}{\gamma^2 y^2 - c^2}. \quad (35)$$

Из сопоставления этого уравнения с уравнением Шеляпина (26), видно следующее: 1) правые части их одинаковы, следовательно, ошибка, допущенная в методе Шеляпина—Самсонова (несоблюдение размерности величин, входящих в уравнение Кулона), имеется и в методе Алаторцева; 2) приравнявая левые части тех же уравнений (26) и (35), имеем

$$\frac{y}{x} = \operatorname{tg} \psi_1. \quad (д)$$

Сравним это равенство с

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S}{N} = \operatorname{tg} \psi \text{ и} \quad (8)$$

$$\frac{y}{x} = \frac{S_*}{N_*} = f. \quad (10)$$

Отсюда видно, что правая часть равенства (д) относится к связному грунту, а левая — к сыпучему. Следовательно, Алаторцев в своем методе использовал совместно еще и несовместимые соотношения, одно из которых относится только к сыпучему грунту, а другое только к связному.

Второе положение может быть интерпретировано по-другому.

Из уравнения (8) следует, что для связного грунта в отношении диаграммы среза ψ — угол наклона радиуса-вектора, а в отношении откоса — угол наклона касательной. Однако по методу Алаторцева, т. е. согласно выражению (д), ψ в обоих случаях уравнения — угол наклона радиуса-вектора, что в действительности характерно только для сыпучего грунта ($\psi = \varphi$) — из выражения (10). В этом и заключается ошибочность метода Алаторцева. В другой работе этого же автора [2] предложено «строгое математическое решение задачи по определению предельной равноустойчивой формы земляных откосов». В действительности это решение не ново и полностью совпадает с уравнением Н. Н. Маслова (32).

Метод М. Н. Троицкой [29] сводится к следующему. Согласно (10) для сыпучего грунта соответствующие элементы диаграм-

мы сопротивления сдвигу и откоса пропорциональны, и следовательно, их уравнения аналогичны, т. е.

$$S = fN, \quad y = fx.$$

Эту аналогию, относящуюся к частному случаю, Троицкая переносит на общий случай. Она считает, что так как для связного грунта

$$S = fN + c, \quad (2)$$

то соответствующее уравнение откоса должно быть принято в виде

$$y = fx + y_{кр}.$$

В результате дальнейших рассуждений и выкладок, выполненных применительно к неправильно принятой расчетной схеме, Троицкая получила

$$y_{кр} = \frac{c}{\gamma}.$$

Подстановка последнего в выведенное ею уравнение откоса приводит к формуле

$$y = fx + \frac{c}{\gamma}, \quad (36)$$

которая, по мнению Троицкой, представляет «окончательный вид условия устойчивости откоса». Умножив обе части (36) на γ и сопоставив с уравнением Кулона, получим.

$$\left. \begin{aligned} S &= \gamma y \\ N &= \gamma x \end{aligned} \right\} \quad (37)$$

Это выражение автор называет «наиболее общей формой записи условия устойчивости откоса».

Таким образом, согласно рассматриваемому методу, для связного грунта диаграмма сдвига и откос — параллельные прямые с угловым коэффициентом f и коэффициентом пропорциональности

$$m = \frac{S}{y} = \frac{N}{x} = \frac{c}{y_{кр}} = \gamma. \quad (38)$$

Ошибочность метода Троицкой показана в работе Г. Л. Фисенко [22]. Из формулы (36) следует, что для идеально связного грунта ($c=0$) высота откоса вообще не может быть больше

$$y = \frac{c}{\gamma}.$$

Между тем по точному решению (21), в данном случае начальная ордината откоса равна

$$y_{кр} = \frac{2c}{\gamma},$$

а дальше откос приобретает криволинейное очертание, описываемое уравнением (21).

Из выражения (37) видно, что величины напряжений S и N не зависят от прочностных показателей грунта (f, c); кроме того, нормальное к плоскости скольжения напряжение N изменяется лишь вдоль горизонтального сечения грунта и не зависит от глубины сечения. Это лишено физического смысла и противоречит соответствующим результатам точного решения задачи. Только для сыпучего грунта характерна пропорциональность между ординатами диаграммы сдвига и откоса, но при этом коэффициент пропорциональности не тот, что в методе Троицкой.

Троицкая исходила из уравнения Кулона, согласно которому

$$\frac{S}{N} = f + \frac{c}{N} = \operatorname{tg} \psi.$$

При этом условие устойчивости откоса для связного грунта получено в виде (37), из которого следует:

$$\frac{S}{N} = \frac{y}{x}.$$

Сопоставляя эти два выражения, имеем:

$$\frac{y}{x} = \operatorname{tg} \psi,$$

т. е. приходим к тому же, что и в методе Алаторцева.

Совокупность ошибочных положений (перенос аналогии между уравнениями сопротивления сдвигу и откоса с частного случая на общий, расчетная схема и др.), допущенных в методе Троицкой, формально можно свести к следующему. Если в выражение (6), принадлежащее ошибочному методу Алаторцева, внести еще одну грубую ошибку — в правой части этого выражения выкинуть член N^2 — то, решая остальное относительно остающегося в нем N , получим

$$N = \frac{\gamma y - c}{f}. \quad (e)$$

Приравнявая правые части (2) и (e) и решая полученное выражение относительно y , придем к уравнению Троицкой (36).

В более поздней работе [2] Троицкая, для уточнения рассмотренного выше ее метода, предложила другой, по которому начальная ордината откоса должна быть найдена по формуле

$$y_{\text{кр}} = \frac{2c}{\gamma}. \quad (39)$$

В соответствии с этим уравнение откоса выглядит так:

$$y = fx + \frac{2c}{\gamma}. \quad (40)$$

Однако и этот метод ошибочный, так как равенство (39) в действительности относится к идеально связному грунту и вытекает из точного решения (15) при $\sigma_0 = 0$ и $\varphi = 0$. А Троицкая предлагает использовать его и в случае, когда $\varphi \neq 0$.

Метод Н. В. Орнатского [13]. Очертание откоса Орнатский ограничивает условием пропорциональности ординат — точек, взятых на диаграмме сопротивления сдвигу и откоса так, чтобы одна и та же величина ψ в первом случае была углом наклона радиуса-вектора, а во втором — углом наклона касательной. Это условие, в отличие от метода Троицкой, принимается в виде

$$\frac{S}{y} = m = \frac{c}{y_{\text{кр}}}, \quad (41)$$

где m — коэффициент пропорциональности, равный отношению начальных ординат диаграммы сдвига и откоса. Подстановкой значений S и c (из этого условия) в уравнение Кулона

$$S = fN + c,$$

получаем соответствующее значение для N :

$$N = \frac{m(y - y_{\text{кр}})}{f}. \quad (42)$$

Подставляя последнее в функциональную зависимость

$$\frac{dy}{dx} = \left(\operatorname{tg} \psi = \frac{S}{N} \right) = f + \frac{c}{N}, \quad (*)$$

вытекающую из соотношений (3) и (7), уравнение откоса Орнатский получил в виде

$$x = \frac{1}{f} \left[y - y_{\text{кр}} \left(1 + \ln \frac{y}{y_{\text{кр}}} \right) \right]. \quad (43)$$

Величину начальной ординаты откоса $y_{кр}$ автор рекомендует брать равной вертикальной части натурального откоса для данного грунта или определять ее по формуле Винклера [3]

$$y_{кр} = \frac{2c \cos \varphi}{\gamma \sin^2 (45^\circ - \varphi/2)} \quad (44)$$

Но в данном случае это неприемлемо, так как расчет откоса производится на определенное значение коэффициента его устойчивости, а коэффициент устойчивости любого натурального откоса — величина неопределенная. Также неверно использовать формулу Винклера (44), потому что она, во-первых, относится к плоскому откосу и предусматривает допущение плоской поверхности скольжения, а уравнение Орнатского (43) выведено применительно к криволинейному откосу, являющемуся одновременно и линией скольжения в случае подпертого грунта; во-вторых, формула Винклера свободна от допущения Орнатского о пропорциональности ординат диаграммы сдвига и откоса. Из сказанного выше следует, что в уравнении откоса (43) $y_{кр}$ — неизвестная величина.

Более характерно для метода Орнатского совместное использование двух несовместимых выражений

$$\frac{S}{y} = \text{const}, \quad \frac{S}{dy} = \frac{N}{dx},$$

вытекающих соответственно из равенств (41) и (*).

Об ошибочности метода можно судить еще и по точным соотношениям выражений (12) и (22), относящимся соответственно к связному и идеально связному ($\varphi=0$) грунтам. Из (12) и (22) видно, что действительные значения N и S не имеют ничего общего с полученными по формулам Орнатского (41) и (42). Исключением является сыпучий

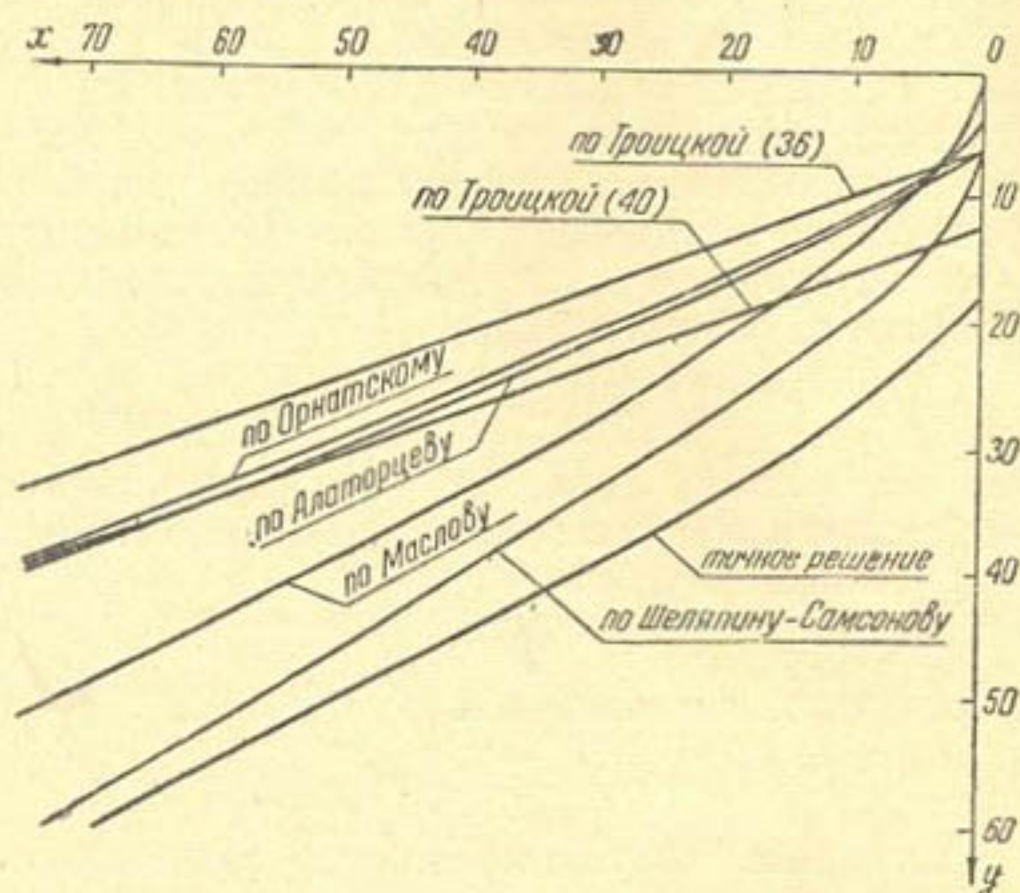


Рис. 6.

грунт ($c=0$), так как именно в этом частном случае элементы откоса и диаграммы сдвига, как это видно из формул (10) и (20), действительно пропорциональны. Кроме того, согласно формуле Орнатского (42), при $\varphi=0$ имеем $N=\infty$, что лишено физического смысла.

ВЫВОДЫ

На основании изложенного исследованные в данной работе методы расчета откосов можно разделить на две группы. В методах первой группы исходное уравнение откоса для связного грунта имеет вид

$$\frac{dy}{dx} = \operatorname{tg} \psi = f + \frac{c}{N}.$$

Отсюда в зависимости от принятого выражения для N получаем следующие методы расчета: при $N = \gamma y \cdot \cos^2 \psi$ — точное решение задачи; $N = \gamma y \cdot \cos \psi$ — методы Шеляпина и Самсонова; $N = \gamma y$ — метод Маслова; $N = \frac{m(y - y_{кр})}{f}$ — метод Орнатского.

Для второй группы в качестве исходного уравнения откоса принято ошибочное соотношение

$$\frac{y}{x} = \operatorname{tg} \psi = f + \frac{c}{N},$$

левая часть которого относится исключительно к сыпучему грунту (частный случай), а правая — к связному (общий случай). Из этого соотношения в зависимости от принятого выражения для N получаем: при $N = \gamma y \cdot \cos \psi$ — метод Алаторцева; $N = \gamma x$ — метод Троицкой.

На рис. 6 сопоставляются результаты расчета по всем рассмотренным выше методам и по точному решению задачи при $f = 0,364$ ($\varphi = 20^\circ$), $c = 10 \text{ т/м}^2$, $\gamma = 1,6 \text{ т/м}^3$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алаторцев Е. К. Способ построения равнопрочных профилей откосов земляных сооружений, «Гидротехника и мелиорация», М., 1952, № 7.
2. Алаторцев Е. К. Предельное равновесие земляных откосов, «Гидротехника и мелиорация», М., 1953, № 7.
3. Бернацкий Л. Н. Условия устойчивости земляных масс, М., Транспечать, 1925.
4. Бурдзгла Н. Л. К теории расчета подпорных стен, Грузинское правление НТОЭП, Тбилиси, 1958.
5. Градштейн И. С., Рыжик И. М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений, М., Физматгиз, 1962.
6. Дмоховский В. К. О наилучших формах земляных откосов в связи с теорией работы последних, Труды, МИИТ, вып. 2, 1926.
7. Дмоховский В. К. Основания и фундаменты, М.—Л., Стройиздат, 1940.
8. Золотарев Г. С. Применимость расчетных методов при оценке устойчивости природных откосов, В сб. «Советская геология», М., 1948, № 35.
9. Маслов Н. Н. Прикладная механика грунтов, М., Машстройиздат, 1949.
10. Маслов Н. Н. Некоторые новые принципы оценки устойчивости откосов и склонов, Тезисы докладов X научной конференции ЛИСИ, Изд-во «Морской транспорт», 1952.
11. Маслов Н. Н. Условия устойчивости склонов и откосов в гидроэнергетическом строительстве, М.—Л., Госэнергоиздат, 1955.
12. Надаи А. Пластичность и разрушение твердых тел, М., Инлитиздат, 1954.
13. Орнатский Н. В. Применение метода равноустойчивых поверхностей для проектирования откосов глубоких выемок, Сб. «Вопросы инженерной геологии и грунтоведения», Изд-во МГУ, 1963.
14. Паталеев А. В., Боженков С. Я., Бирюкова А. А. Механика грунтов, основания и фундаменты, ч. I, М., Трансжелдориздат, 1938.
15. Покровский Г. И. Трение и сцепление в грунтах, М.—Л., Стройиздат, 1961.
16. Ризаев Ш. Р. Построение линии скольжения и распределение напряжений в грунте по результатам опыта на трехосное сжатие, «Известия АН УзССР», серия техн. наук, 1959, № 2.
17. Самсонов Н. Г. Об определении устойчивой формы откоса при сооружении каналов, «Известия АН СССР», отделение техн. наук, Энергетика и автоматика, 1959, № 1.
18. Самсонов Н. Г. Некоторые вопросы устойчивости русел осушительных каналов, Научные записки МИИВХ им. В. Р. Вильямса, т. XXIII, М., 1960.

19. Соколовский В. В. Статика сыпучей среды, М., Физматгиз, 1960.
 20. Троицкая М. Н. Новый способ расчета устойчивости откосов и склонов, М., Дориздат, 1951.
 21. Троицкая М. Н., Голодковская Г. А. К вопросу об оценке устойчивости откосов и склонов, Сб. «Вопросы инженерной геологии и грунтоведения», Изд-во МГУ, 1963.
 22. Фисеико Г. Л. Устойчивость бортовых угольных карьеров, М., Углетехиздат, 1956.
 23. Цытович Н. А. Механика грунтов, М.—Л., Стройиздат, 1951.
 24. Шеляпин С. П. Равновесие земляных масс, ВСЕГИНГЕО, М., 1941 (докторская диссертация).
-

СОДЕРЖАНИЕ

1. Х. А. Аскарлов, К. К. Адылов Изучение сопротивления сжатию лессовых грунтов под большими давлениями (на примере ядра плотины Нурекской ГЭС)	3
2. Г. Л. Урманова Некоторые строительные свойства лессового грунта с добавками джаркурганской нефти	18
3. Е. С. Песиков О показателе активности лессовых грунтов Узбекистана	28
4. Х. А. Аскарлов, Х. Н. Хамидов. Некоторые результаты натурных исследований по подготовке грунтов основания земляной плотины Чимкурганского водохранилища	31
5. Х. А. Аскарлов, К. К. Адылов, Р. А. Абдуллаев. Изучение сопротивления сдвигу лессовых просадочных грунтов при их различных влажностях	38
6. В. Б. Гуссак, М. Д. Челюканов, С. Ю. Юльчиев, Н. Ф. Матюнин, Б. Ф. Камбаров, Т. С. Мухамедов. Исследование влияния техники полива на ирригационную эрозию	43
7. А. Х. Галбус К вопросу определения параметров сопротивления грунтов на срез	64
8. А. П. Орлова. К вопросу регулирования качества воды водотоков г. Ташкента	68
9. И. Усманов. Материалы на основе полимеров для изготовления пористых дренажных труб	88
10. Ш. Р. Ризаев Линиаризированное решение плоской задачи устойчивости откосов	93