

ISSN 0131—1905

МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО
ХОЗЯЙСТВА СССР

СРЕДНЕАЗИАТСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ИРРИГАЦИИ
им. В. Д. ЖУРИНА (САНИИРИ)

РАЦИОНАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ
РУСЕЛ ПРИ ИНТЕНСИВНОМ ОТБОРЕ ВОДЫ
НА ОРОШЕНИЕ

Сборник научных трудов

Выпуск 174

Ташкент—1985

МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО
ХОЗЯЙСТВА СССР

Среднеазиатский ордена Трудового Красного Знамени
научно-исследовательский институт ирригации
им. В. Д. Журина (САНИИРИ)

РАЦИОНАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ
РУСЕЛ ПРИ ИНТЕНСИВНОМ ОТБОРЕ
ВОДЫ НА ОРОШЕНИЕ

Сборник научных трудов
Выпуск 174

Ташкент—1985

УДК 627.5

РАЦИОНАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ РУСЛ ПРИ ИНТЕНСИВНОМ
ОТБОРЕ ВОДЫ НА ОРОШЕНИЕ

Сборник научных трудов, Ташкент,
САНИИРИ им.В.Д.Журина, 1985, с. 124.

В сборнике освещены результаты НИР по русловым вопросам; условия режима работы бесплотинных и плотинных гидроузлов, крупных каналов и гидротехнических сооружений на них, руслорегулировочных и берегозащитных сооружений, а также даны рекомендации по методам прогнозирования переформирования русл рек и каналов, мероприятия по улучшению работы гидротехнических сооружений и другие вопросы русловой гидротехники.

Иллюстр. 20 , табл. 12 , список лит. — 94.

Редакционная коллегия:

В.А.Духовный (отв. редактор), А.А.Кадыров (отв. за выпуск),
Х.А.Ирмухамедов, Я.С.Мухамедов, У.У.Умаров, Х.И.Якубов,
А.Г.Пулатов, Т.М.Шапошникова.

©

Среднеазиатский научно-исследовательский институт
иригации им.В.Д.Журина (САНИИРИ), 1985.

XX
 XX

А.М.Мухамедов
 чл.-кор.БАСХНИЛ, докт.техн.наук
 (САНИИРИ им.В.Д.Журина)

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ р.АМУДАРЬИ И ЗАДАЧИ НИР ПО ИССЛЕДОВАНИЮ СТАБИЛИЗАЦИИ РУСЛОВОГО ПРОЦЕССА И ЕГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

В 1964-1965 гг. при составлении Генеральной схемы комплексного использования водных ресурсов Амударьи русловые процессы и борьба с дейгишем (размывом берегов) рассматривались как один из главных вопросов. Составление Генеральной схемы в значительной степени было вызвано большими ущербами, нанесенными в 1958 и 1960-1962 гг. катастрофическим дейгишем в Хорезме, особенно в районе головной части и 8-го км Тамсакинского канала, а также канала Клычбай.

Обоснованием разработки Генеральной схемы комплексного использования водных ресурсов Амударьи явилось заключение правительственной комиссии с нашим участием и экспертов по проверке и осмотру 100-километрового участка реки и расположенных в прибрежной зоне различных строений и сооружений; была намечена программа работ по изучению явления "дейгиш" и русловых процессов на Амударье, а также разработке противодейгишных мероприятий.

Сотрудники отдела русел САНИИРИ много лет занимаются исследованиями русловых процессов и прогнозом явлений "дейгиш", а также разработкой противодейгишных и руслорегулирующих мероприятий у бесплотинных водозаборных сооружений для следующих трех основных периодов жизни реки: существующих (бытовых) условий; периода возрастающего отбора воды на орошение и частичного регулирования стока и периода полного регулирования стока Амударьи.

Первый период. Основные результаты натурных и крупномасштабных модельных исследований:

разработана гипотеза, раскрыт механизм и выявлена кинематическая структура потока при дейгише; выяснены особенности

гидрологического и наносного режимов реки, предопределяющих образование свального течения при действии; установлена закономерность изменения гидравлических элементов потока;

разработаны расчетные зависимости по определению морфометрических и кинематико-морфологических элементов русла для прогнозирования и расчета средних гидравлических элементов потока и установления размеров русла реки, а также выяснения функциональных связей между факторами, определяющими характер русловых процессов;

выполнен комплекс работ, включающий теоретические и экспериментальные исследования гидравлики обтекания потоком глухих и сквозных шпор, результатом которого явилась разработка более совершенных методов гидравлического расчета глухих и сквозных шпор, а также установление закономерности растекания потока за сооружениями применительно к условиям Амударьи.

На основании разработанной методики произведены расчеты берегозащитных и руслорегулировочных сооружений для участков р.Амударьи в ее нижнем течении;

разработана методика моделирования русла реки и защитно-регулировочных сооружений для условий Амударьи.

По результатам проведенных модельных исследований даны рекомендации по размещению и габаритам берегозащитных сооружений, которые использованы Узгипроводхозом при составлении проектов противодегизных мероприятий на ряде участков р.Амударьи;

разработаны основные принципы проектирования и методика расчета спрямления речных излучин — одно из мероприятий по борьбе с действием на Амударье.

Рекомендации по устройству спрямляющих прорезей использованы Узгипроводхозом и Хорезмским ОблУОСом при составлении проектов и строительстве спрямлений на Амударье;

установлено, что блуждание потока и свальных течений, являющихся основными причинами интенсивного размыва берегов, можно устранить заблаговременным регулированием русла следующими способами: а) возведением системы глухих или сквозных поперечных шпор, а также береговых креплений из различных материалов; б) спрямлением излучин; в) оперативным регулированием русла с помощью землечерпания мощными земснарядами.

Указанные способы нашли применение при осуществлении противодейственных мероприятий на многих участках р.Амударьи в 1970-1978 гг.

Перечисленные выше работы нашли отражение почти в 50-ти научных статьях - наших и сотрудников отдела русел института. Часть из них решена на уровне кандидатских диссертаций (8 кандидатских диссертаций).

Генеральной схемой предусмотрено проектирование и строительство ряда гидроузлов, в том числе введенных ныне в эксплуатацию Тахиаташского и Туямунского узлов в нижнем течении, а также проектируемого в настоящее время Кызылаякского узла в среднем течении реки.

За истекший период проведено прогнозирование русловых процессов в верхнем и нижнем бьефах вышеуказанных гидроузлов путем соответствующих расчетов с проверкой на русловых моделях (по разработанным ранее методикам); полученные данные использованы при проектировании.

В последнее время организованы натурные исследования русловых процессов в верхнем бьефе Тахиаташского узла и в нижнем бьефе Туямунского, а также разработан оптимальный режим эксплуатации Туямунского водохранилища с целью предотвращения ухудшения водохозяйственной обстановки в низовьях Амударьи (фрагменты этой темы изучаются на крупномасштабной модели гидроузла).

В т о р о й п е р и о д начался примерно с 1974 г. Характеризуется интенсивным отбором воды в Каракумский и Амубухарский каналы. В это время начался отбор воды в Каршинский канал в среднем течении Амударьи; введен в эксплуатацию Тахиаташский гидроузел - в нижнем течении.

Особенностью этого периода является частичное регулирование стока реки Нурекским водохранилищем емкостью $10,5 \text{ км}^3$ и отбором воды в объеме 15 км^3 в ее среднем течении вышеуказанными каналами.

Бесплотинный забор воды из Амударьи в эти каналы будет существовать еще 15-20 лет. Это положение осложняет борьбу с наносами, особенно при больших расходах водоподачи в головной части каналов: у Каракумского канала до $600 \text{ м}^3/\text{с}$, Каршинского - $200 \text{ м}^3/\text{с}$, Амубухарского - $350 \text{ м}^3/\text{с}$. Суммарный водозабор этих

каналов составляет 30...40% и более от среднего годового расхода Амударьи.

Большие затруднения с обеспечением водозабора возникают в меженьный период, когда уровень воды в реке низкий. Сложная ситуация создавалась при бесплотинном водозаборе в Каршинский магистральный канал (КМК), в головной части которого нет регулирующего сооружения, а режим работы первой насосной станции разработан для условий плотинного водозабора в створе Кызыляк.

Прошедшие годы эксплуатации Тахиаташского гидроузла совпали с периодом маловодных лет в реке, поэтому на гидроузле все время держались высокие горизонты; чаша верхнего бьефа использовалась как регулирующий водоем. Осветленная в периоды больших подпоров вода, поступая в каналы Кызкеткен и им. Ленина увеличенными (в связи с расширением посевных площадей) расходами, начала размывать русла каналов. При этом увеличались потери воды на фильтрацию из каналов вследствие нарушения кольматационного слоя на их дне и откосах, что привело к заболачиванию земель вблизи каналов.

В сентябре 1979 г. было перекрыто русло Амударьи в створе Туямунского гидроузла, и последний вступил во временную эксплуатацию. В связи с этим в верхнем и нижнем бьефах гидроузла началось интенсивное переформирование русла. При этом в нижнем бьефе отмечался общий размыв русла и понижение уровня воды в реке ниже гидроузла, создающие затруднение с обеспечением водоподачи в Ташсакинский и другие каналы с бесплотинным водозабором ниже по течению. Одновременно частичное переключение каналов существующей ирригационной сети на питание из верхнего бьефа узла привело к размыву и деформации каналов, пропускающих осветленную воду.

В связи со сказанным, возникают следующие задачи научных исследований для рассматриваемого периода.

Основной задачей следует считать регулирование русла реки на большой длине ниже Туямунского гидроузла с учетом общего размыва русла осветленной водой.

Установлено, что после вступления в строй Туямунского гидроузла в первые 15...20 лет русловые процессы, в том числе и береговые деформации, интенсифицируются. На основании обоб-

щения результатов многолетних комплексных исследований разработана общая схема регулирования русла р.Амударьи от Туямуна до Джумуртау на длине 160 км. Предусматривается не только защита прибрежных земель и населенных пунктов от размыва, но и улучшение условий водозабора в ирригационные каналы, а также освоение высокоплодородных пойменных и припойменных земель.

Указанная схема регулирования русла р.Амударьи рассмотрена и одобрена Техсоветом Узгипроводхоза и утверждена экспертизой Минводхоза УзССР в 1981 г. Сейчас идут работы по возведению поперечных траверсных дамб со стороны обоих берегов реки из местных грунтов методом намыва земснарядами.

В среднем течении реки необходимо:

разработать мероприятия по регулированию наносов и русла реки в условиях функционирования крупнейших бесплотинных водозаборов, надежно обоснованные результатами специальных натурных исследований. Сюда относятся: изучение работ головных отстойников, организация наносохранилищ в пойме реки для размещения наносов, регулирование русла реки на подходе к водозаборным каналам возведением регуляционных сооружений с учетом защиты берегов от размыва (такие работы уже проводятся);

достаточно подробно изучить транспортирующую способность речного потока на участках интенсивного отбора воды на орошение и переформирования русла реки ниже точки бесплотинных водозаборов.

Условия работы бесплотинных водозаборов из Амударьи все еще остаются в центре внимания, особенно в связи с развитием крупного машинного орошения в зонах Амубухарского и Каршинского магистральных каналов.

Регулирование русла реки в районе головного водозабора Амубухарского канала третьей очереди должно решаться в едином комплексе с мероприятиями по защите г.Чарджоу и регулировочными работами у железнодорожного мостового перехода. Интенсивный отбор осветленной воды с изменением стока вызывает необходимость регулирования наносов р.Амударьи. Если при ежегодном стоке наносов 200 млн.т более 50 млн.т взвешенных будет с водой попадать в оросительную систему, а остальная часть будет перемещаться по руслу реки вниз по тече-

ние, перегружая речной поток, то неизбежно встает вопрос о разумном распределении отложений излишка этих наносов в пойме реки;

— исследовать и в дальнейшем разработать компоновку комплекса сооружений Кызылаякского гидроузла с целью оптимального регулирования наносов на гидроузле и на отводящих каналах с учетом транспортирующей способности речного потока (эти работы временно приостановлены);

— изучить дополнительную кривую подпора и занесения верхнего бьефа, а также степень завала наносами нижнего бьефа при большом проценте водозабора. Разработать мероприятия по регулированию русла реки на значительном расстоянии и размещении откладывающихся наносов в пойме реки.

Несмотря на 20-летнюю историю проектирования Кызылаякского гидроузла, его схема еще в принципе не решена. Основными вопросами при проектировании Кызылаякского гидроузла является выбор наиболее рационального створа расположения гидроузла в русле реки и оптимального метода борьбы с наносами. Эффективность решения этих вопросов в основном и определяет технико-экономические показатели гидроузла.

По последним проработкам института "САО Гидропроект", ТЭО Кызылаякского гидроузла не позволяют сделать достаточно обоснованного выбора из предложенных вариантов размещения гидроузла из-за несопоставимости их по компоновочным решениям и составу сооружений.

Основываясь на большом опыте эксплуатации Амударьинских ирригационных систем и борьбы с наносами, мы считаем, что наиболее надежным и рациональным способом борьбы с последними в этих условиях является применение отстойников с механической очисткой и транспортирование значительной части мелких взвешенных наносов на орошаемые земли, т.е. дифференцированная раскладка их с двухступенчатой борьбой с ними на гидроузле (с донными) и во внутрисистемных отстойниках.

Использование принципа рассредоточенного водозабора в каналы сильно облегчает борьбу с наносами в системах. Поэтому вариант размещения гидроузла в створе Гоурдак с односторонним водозабором больших расходов воды, подаваемых через Зайдское водохранилище, с последующим пропуском осветленной воды в Каршинский канал при помощи акведука через Амударью является са-

мым неудачным, хотя по технико-экономическим показателям оказывается более выгодным. Кроме того, при борьбе с наносами путем осаждения их в Зеидском водо-напосохранилище возможны большие непроизводительные потери воды на испарение (при объеме Зеидского водохранилища $2,2 \text{ км}^3$ потери составляют, примерно, $1,5 \text{ км}^3$), что недопустимо в условиях начинающегося дефицита воды в бассейне Амударьи.

Одним из основных недостатков размещения плотины в Гоурдакском створе (расположен в 12 км от Государственной границы с Афганистаном) является возможное затопление пойменных земель при образовании в процессе переформирования верхнего бьефа дополнительной кривой подпора, распространяющейся на расстояние более 50 км.

В нижнем течении реки необходимо:

продолжить натурные исследования процесса переформирования верхнего и нижнего бьефов Тахиаташского гидроузла для разработки оптимального режима эксплуатации плотины и борьбы с заилением;

- организовать исследования деформации русла и наносного режима каналов узла и разработку противошуговых мероприятий;

продолжить натурные исследования переформирования верхнего и нижнего бьефов Туямуньского гидроузла для выяснения следующего: а) изменений в русле реки при временной эксплуатации (общий размыв и плановые деформации русла); б) обеспеченности водоподачи в бесплотинные водозаборы ниже гидроузла; в) необходимости регулирования русла у головы канала Клычбай; г) появления деформации русла у существующих ирригационных каналов в условиях поступления осветленной воды из водохранилища; д) оптимального режима эксплуатации гидроузла, т.е. наиболее рационального использования регулирующей возможности русловой и наливной емкостей водохранилища с учетом влияния на качество воды;

организовать исследования русловых процессов на участке реки от Туямуньского до Тахиаташского гидроузлов в связи с частичным регулированием стока воды и попусками паводков из водохранилища с разработкой методики регулирования в новых условиях;

начать изучение русловых процессов в дельте Амударьи в связи с интенсивным падением уровня Аральского моря (для выяс-

нения возможности попятного размыва русла) и разработать мероприятия по сохранению и поддержанию хозяйств дельты.

Перечисленные выше вопросы НИР находятся в стадии разработки.

Т р е т и й п е р и о д. После начала полного регулирования стока Амударьи и распределения его между крупнейшими оросительными системами в среднем и нижнем течении прежде всего необходимо позаботиться о сохранении стабилизированного и постоянно действующего русла, имеющего ограниченные размеры по всей длине водотока. Такое русло с водовыделами в оросительные системы будет принимать стоки, видимо, в нескольких точках по длине. Основными из них, вероятно, будут верхний бьеф Туямуянского гидроузла со сбросом части стока в нижний бьеф и еще створ Джумуртау.

Осветленная вода, вступая во взаимодействие с относительно мутной водой Амударьи, должна вызвать соответствующие глубинные и плановые переформирования русла реки. Кроме того, качество воды самой Амударьи к этому времени значительно изменится, так как зарегулированное в определенных размерах русло реки, по всей вероятности, по уровенному режиму водной поверхности станет выполнять функцию естественного коллектора, собирая часть грунтовых вод повышенной минерализации.

В связи со сказанным, можно наметить следующие задачи научных исследований и поисков.

1. Прогнозирование русловых процессов для третьего периода жизни реки при полном регулировании стока и разработка мероприятий по стабилизации режима протекания потока.

2. Разработку схемы оптимального регулирования стока Амударьи водохранилищами (русловыми и наливными) Туямуянского гидроузла, включая расчеты:

а) по оценке русловой обстановки в бассейне Амударьи в условиях истощения собственных водных ресурсов (прогнозы раскладки наносов в среднем течении и переформирования русла в нижнем; разработка рекомендаций по ограничению интенсивности русловых процессов в среднем течении реки), а также г) составление схемы оптимального регулирования стока водохранилищами Туямуянского гидроузла, д) прогнозирование эксплуатационных

режимов крупнейших ирригационных каналов в новых условиях и разработку мероприятий по стабилизации их русла, предотвращающих необратимые деформации.

3. Разработку технологических схем режима работы водозаборных сооружений и гидроузлов по вододелению в целях автоматизации управления и регулирования водохозяйственного комплекса в среднем и нижнем течении р.Амударьи.

Все вышеперечисленные вопросы исследований должны решаться на высоком научном уровне. При этом высокоточные натурные измерения гидравлических элементов потока и параметров русла и их физическое моделирование необходимо сочетать с математическим моделированием.

В исследованиях необходимо обратить особое внимание на изучение трехмерной турбулентной структуры руслового потока. В динамике русловых потоков еще не решенным остается вопрос определения интенсивности руслового процесса при грядовом перемещении наносов. Интенсивность руслового процесса зависит, главным образом, от избытка скорости потока ($\frac{v}{v_0}$), который, в свою очередь, определяет устойчивость русла в поперечном профиле и в продольном направлении.

В условиях Амударьи при большом избытке скорости $\frac{v}{v_0} = 4 \dots 5$ всегда отмечается высокая интенсивность руслового процесса, благодаря чему наблюдается неустойчивость русла почти во всех расходах реки.

Поэтому в условиях интенсивного отбора воды бесплотинными водозаборами перегрузка речного потока донными наносами ниже участка водозабора приводит к интенсивному блужданию русла и необходимости его регулирования на значительной длине участка реки. Решение этого вопроса целесообразно проводить методами математического и физического моделирования в условиях плановой задачи гидравлики наносонесущего потока.

В каждом конкретном случае поставленные инженерные задачи можно решить современными приемами речной гидравлики и динамики русловых потоков, базируясь на достоверных данных натурных измерений.

Список использованной литературы

- Г.Абдураупов Р.Р., Нуритдинов З.Н. Образование и разрушение гряд при насыщении потока мелкопесчаными наносами. - Докл. ВАСХНИЛ, - М.: 1971. № 2, с.39-40.

2. Исмагилов Х.А. Морфометрические зависимости применительно к условиям среднего и нижнего течения р.Амударьи и по данным модельных исследований. - Сб. научн. тр./Среднеаз.НИИ ирригации, 1970, вып.120, с.127-131.
3. Какимов О.А., Ирмухамедов Х.А. Кинематическая структура потока у защитно-регулирующих сооружений: - Сб. научн. тр./Среднеаз.НИИ ирригации, 1970, вып.120, с.93-105.
4. Мухамедов А.М. Некоторые особенности р.Амударьи и причины размыва берегов (явление "дейгиша"). - Сб. научн. тр./Среднеаз.НИИ ирригации, 1970, вып.120, с.29-49.
5. Мухамедов А.М., Тузов В.Е. Особенности русловых деформаций р.Амударьи - "дейгиш". - Тр.Координационного совещания/Всесоюзный НИИ гидротехники, 1967, вып.36, с.268-283.
6. Мухамедов А.М., Ирмухамедов Х.А., Какимов О.А. К вопросу оценки размывающей способности руслового потока. - Сб. научн. тр./Среднеаз.НИИ ирригации. 1968, вып.117, с.92-109.
7. Мухамедов А.М., Ирмухамедов Х.А., Сеславина В.П. Лабораторные исследования по изучению дейгиша на р.Амударье в районе канала Ташсака и регулирования русла системой сквозных шпор. - Бюлл.научно-техн.инф./Среднеаз.НИИ ирригации, 1968, №6, с.10-16.
8. Мухамедов А.М., Уркинбаев Р.К. Применение теории источников и стоков при решении задачи об обтекании потоком жидкости сквозных шпор (решетки). - Сб. научн. тр./Среднеаз.НИИ ирригации, 1968, вып.117, с.16-27.
9. Мухамедов А.М., Исмагилов Х.А. Некоторые гидроморфологические зависимости рек Средней Азии. - Докл. ВАСХНИЛ. - М.:1978, №3, с.37-38.
10. Мухамедов А.М., Жураев Т.Ж. Распределение осредненных продольных скоростей по глубине потока р.Амударьи. - Докл. ВАСХНИЛ. - М.: 1973, №5, с.40-41.
11. Мухамедов А.М., Жураев Т.Ж. О коэффициенте шероховатости реки Амударьи. Сб. научн. тр./Среднеаз.НИИ ирригации, 1972, вып.135, с.182-187.

12. Мухамедов А.М., Исмагиллов Х.А., Жураев Т.Ж. О кинематико-морфологической зависимости р.Амударьи. – Сб.научн.тр./Среднеаз.НИИ ирригации, 1970, вып.124, с.55-61.
13. Мухамедов А.М., Абдураупов Р.Р., Нуритдинов З.Н. Некоторые вопросы кинематической структуры турбулентного потока. – Докл. ВАСХНИЛ – М.: 1974, № 8, с.39-40.
14. Мухамедов А.М., Ирмухамедов Х.А., Тузов В.Е., Когтева И.В. Некоторые результаты изучения гидравлических элементов и кинематики потока в зоне дейгиша. – Сб.научн.тр./Среднеаз.НИИ ирригации, 1970, вып.124, с.63-91.
15. Мухамедов А.М., Ирмухамедов Х.А., Каюмов О.А. Рекомендуемые способы защиты берегов р.Амударьи от размыва. – Сб.научн.тр./Среднеаз.НИИ ирригации, 1976, вып.151, с.6-11.
16. Мухамедов А.М., Абдураупов Р.Р., Тузов В.Е. Исследование русловых процессов у регулировочных сооружений Амубухарского канала 2-ой очереди. – Сб.научн.тр./Среднеаз.НИИ ирригации, 1970, вып.124, с.31-53.

З.Н.Нуритдинов, канд.техн.наук
Р.Ш.Ирмухамедов, В.Я.Марков
(САНИИРИ им.В.Д.Журина)

НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ КЫЗЫЛ- КУМСКОГО МАГИСТРАЛЬНОГО КАНАЛА

С целью разработки методики расчета гидравлических элементов канала нами в 1978-1982 гг. были проведены натурные исследования на Кызылкумском магистральном канале при различных эксплуатационных режимах.

Описание исследуемых участков канала

Кызылкумский магистральный канал (КзМК) расположен в среднем течении р.Сырдарьи; питается осветленной водой из Чардаринского водохранилища.

Детальные исследования выполнялись на пяти характерных участках канала, которые имели следующие границы: 1 – ПК 35... ПК 36; 2 – ПК 43 ... ПК 44; 3 – ПК 60 ... ПК 80; 4 – ПК 110; 5 и 6 – ПК 247 ... ПК 247 + 50. За изменением гидравлических эле-

ментов потока наблюдали в следующих створах участков: 1 - ПК 35; 2 - ПК 43; 3 - ПК 70; 4 - ПК 110; и 5 - ПК 247.

Участок 1 характеризуется значительными береговыми деформациями, а также близостью к головному регулятору КЗМК; участок 2 - развитой формой движения донных наносов, имеет песчаные и супесчаные берега, дно песчаное. Это позволило принять второй участок за основной. Здесь велись постоянные наблюдения за изменениями гидравлических параметров канала и донных гряд, проводились измерения кинематической структуры потока при различных наполнениях канала.

Третий участок исследований длиной 2 км в 1978-1979 гг. являлся основным. На этом участке производились наблюдения за изменением расходов воды и гидравлических элементов канала, а также эпюр распределения поверхностных скоростей по длине и ширине канала. Этот участок характерен прямолинейностью в плане, отсутствием береговых деформаций, супесчаными и песчаными дном. Однако слабое развитие грядовых форм на дне привело в 1980-1982 гг. к тому, что основным участком детальных исследований стал участок второй.

Для получения дополнительных данных и возможности сопоставления участков гидравлические элементы канала измерялись также в створе ПК 110 - участок 4. Этот участок характеризуется супесчаными и суглинистыми берегами, супесчаными и песчаными дном.

Участок 5 отличается от рассмотренных тем, что изменяя величину открытия затворов перегораживающего сооружения на ПК 269+30, здесь можно создавать равномерный режим движения воды, а также подпор или спад. Это позволяет получать в канале скорости, при которых происходит подвылка и остановка движения донных наносов в виде гряд при глубине потока более 1 м. Этот участок на длине 4 км имеет прямолинейное в плане русло. Берег состоит из сугликов, а дно из мелкого песка со средним диаметром 0,1 мм. Правый берег на всем протяжении зарос камышом, ширина полосы которого доходит до 8 м.

Методика исследований

При проведении натурных исследований на середине прямолинейного участка канала был выделен двухкилометровый участок, где в начале, середине и в конце разбиты створы. С обоих бере-

гов забивались металлические колья, устанавливались железобетонные реперы для фиксации уровней воды. Отметки железобетонных реперов нивелировались прямым и обратным ходом и привязывались к реперу государственной сети. Выбранный двухкилометровый участок был назван рабочим.

На одном из берегов рабочего участка канала при помощи теодолита и мерной ленты была проложена магистраль с пикетажем, которая служила постоянным началом при построении поперечных профилей канала. В закрепленных створах (через каждые 100 м) периодически производились съемка поперечников и измерения поверхностных скоростей течения воды в канале.

Уровень воды измеряли как непосредственной нивелировкой с привязкой к установленным железобетонным реперам, так и путем применения миллиметровой линейки, которой определяли высоту водной поверхности над верхом специальной металлической рейки, установленной вертикально на откосе канала и тоже привязанной к государственной высотной сети.

В середине рабочего участка был выделен участок детальных исследований длиной 100 м. Этот участок, в свою очередь, был разбит на створы через каждые 5 м, которые закреплялись металлическими кольями. Уклоны водной поверхности всех исследуемых участков определяли путем нивелирования уровней в створе детальных исследований, а также на расстоянии 1 км выше и ниже этого створа.

На участках детальных исследований при различных наполнениях каналов производили съемку поперечных (21 поперечник) и несколько (от 3 до 7) продольных профилей дна канала при помощи эхолота "Кубань". Путем повторных съемок, производимых через определенное время (1...3 сут), и совмещения полученных профилей определяли размеры и плановое расположение гряд, скорости их перемещения. Затем на основании полученных данных вычисляли расход донных наносов.

В начальном створе участка детальных исследований, который совпадал со средним створом рабочего участка, производили съемку поперечников наметкой и измеряли скорости течения по ширине и глубине потока. По полученным данным вычисляли гидравлические элементы и расходы воды в канале. Скорости течения воды измеряли вертушками Гр-21, Гр-99 пяти-десятиточечным способом на вертикалях, расположенных через 4 м друг от друга^х.

^х Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 2, ч. П. Д.: Гидрометеопиздат, 1975, с. 264.

Некоторые результаты натурных исследований

Рассмотрим изменения гидравлических элементов потока на исследуемых рабочих участках 2, 3, и 4.

Измерениями был охвачен диапазон расходов воды в период их увеличения от $82 \text{ м}^3/\text{с}$ (апрель) до $185 \text{ м}^3/\text{с}$ (июнь) и в период последующего спада от максимального до $7 \text{ м}^3/\text{с}$ (сентябрь), т.е. исследования были выполнены при различных эксплуатационных режимах КЗМК.

На рисунке приведены построенные по материалам измерения графики изменения $H_{\text{ср}} - f(Q)$, $V_{\text{ср}} - f(Q)$ и $i - f(Q)$ в створах ПК 43 и ПК 70. Из них следует, что средняя глубина и скорость течения в канале достаточно плавно и монотонно возрастают с увеличением расхода воды.

В створах ПК 70 и ПК 110 уклон водной поверхности изменяется по сложной кривой (рис. 1б), что объясняется влиянием переменного режима спад-подпор-спад в канале, связанного с истечением через нерегулируемое отверстие транзитного перепада ПК 120.

При минимальных расходах воды в створах ПК 110 и ПК 70 сказывается влияние на уклон водной поверхности кривой спада, в результате чего при расходах $20 \dots 35 \text{ м}^3/\text{с}$ на участках 3 и 4 уклон водной поверхности достигает своего максимума. При расходах $30 \dots 50 \text{ м}^3/\text{с}$ в створе ПК 110 и $40 \dots 60 \text{ м}^3/\text{с}$ в створе ПК 70 наблюдается влияние подпора, под воздействием которого уклон водной поверхности несколько снижается. А при расходах воды в канале более $70 \text{ м}^3/\text{с}$ подпор, вызываемый перепадом на ПК 120, уменьшается, что приводит к некоторому увеличению уклона водной поверхности (рис. 1-б и 2-а).

Из рис. 1а видно, что кривая при $i - f(Q)$ в створе ПК 43 с ростом расходов воды плавно увеличивается. Это обстоятельство указывает на то, что переменный режим спад-подпор-спад в канале не влияет на изменение уклона водной поверхности в створе ПК 43. В связи с этим уже в 1979 г. основные исследования были перенесены на участок 2.

Для расходов более $50 \text{ м}^3/\text{с}$ фактическое значение уклона превышает проектный $i = 0,00006$. При расходах $150 \text{ м}^3/\text{с}$ и более это превышение достигало 30 %.

Крепление размываемых берегов канала (ПК 20... ПК 35) в начале 1981 г. и пропуск максимальных расходов в течение дли-

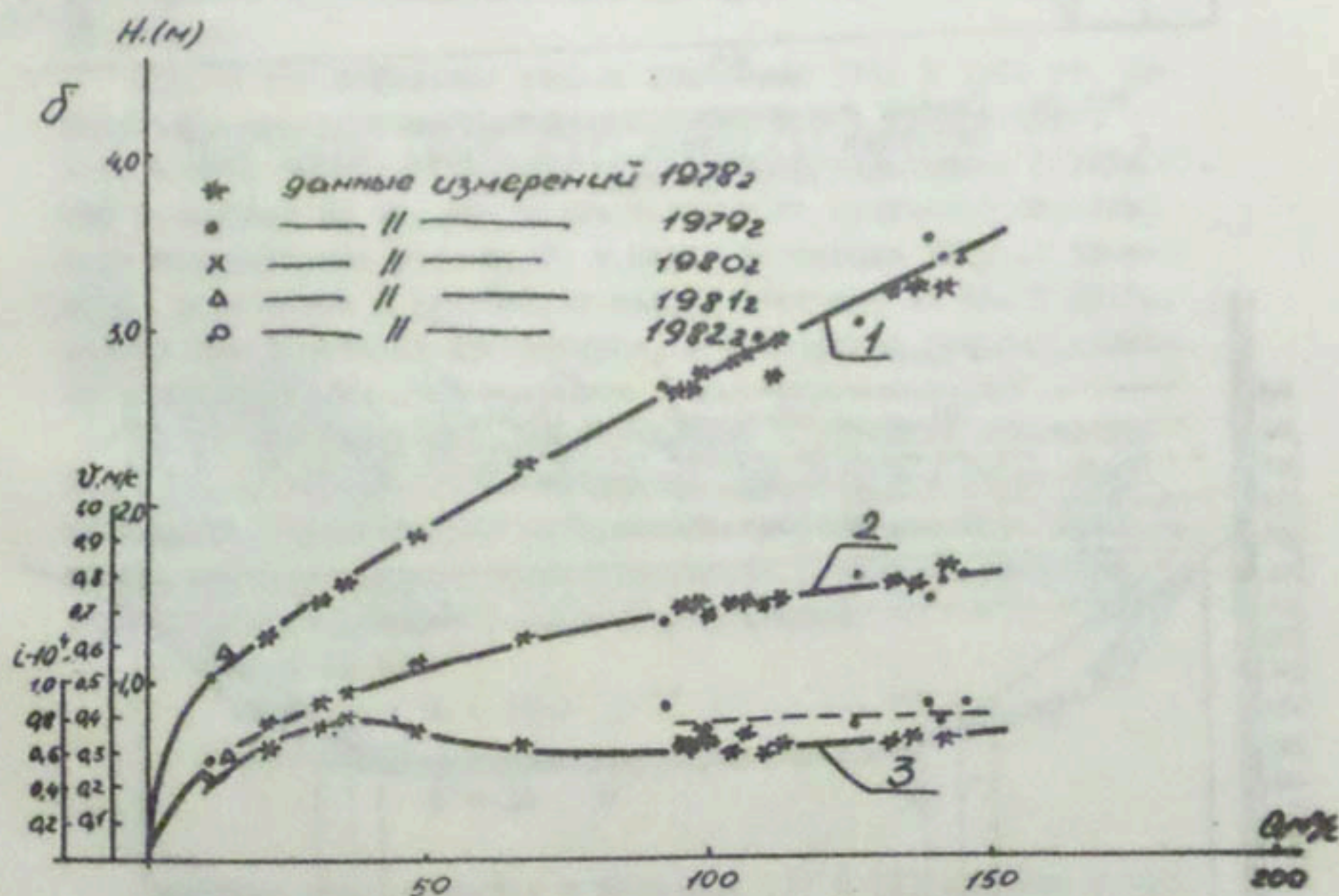
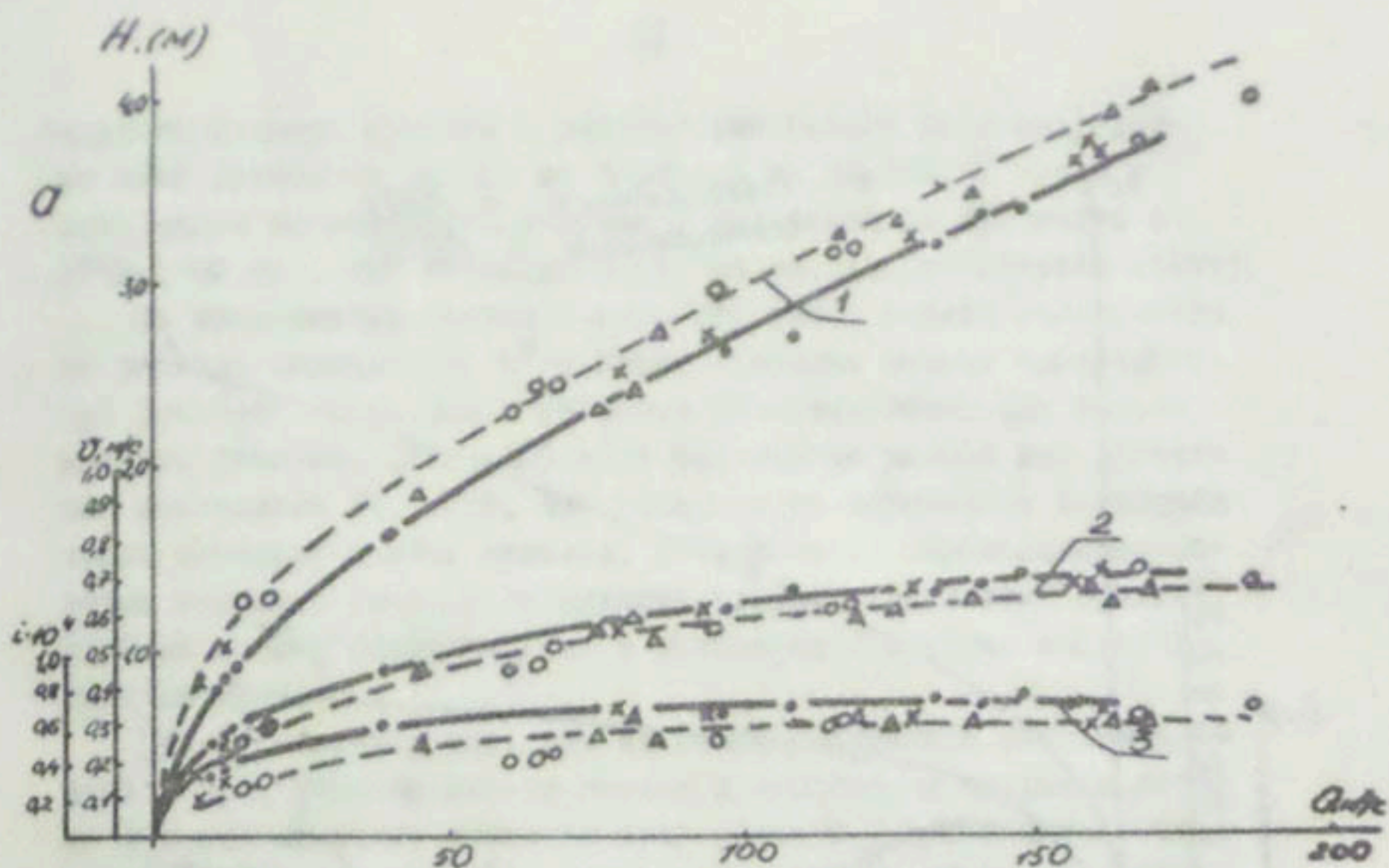


Рис. I. Графики изменения средней глубины, средней скорости и уклона водной поверхности в створе ПК 43 (а) и ПК 70 (б) КЗМК в зависимости от расхода воды: 1 - $H=f(Q)$; 2 - $v=f(Q)$; 3 - $i=f(Q)$.

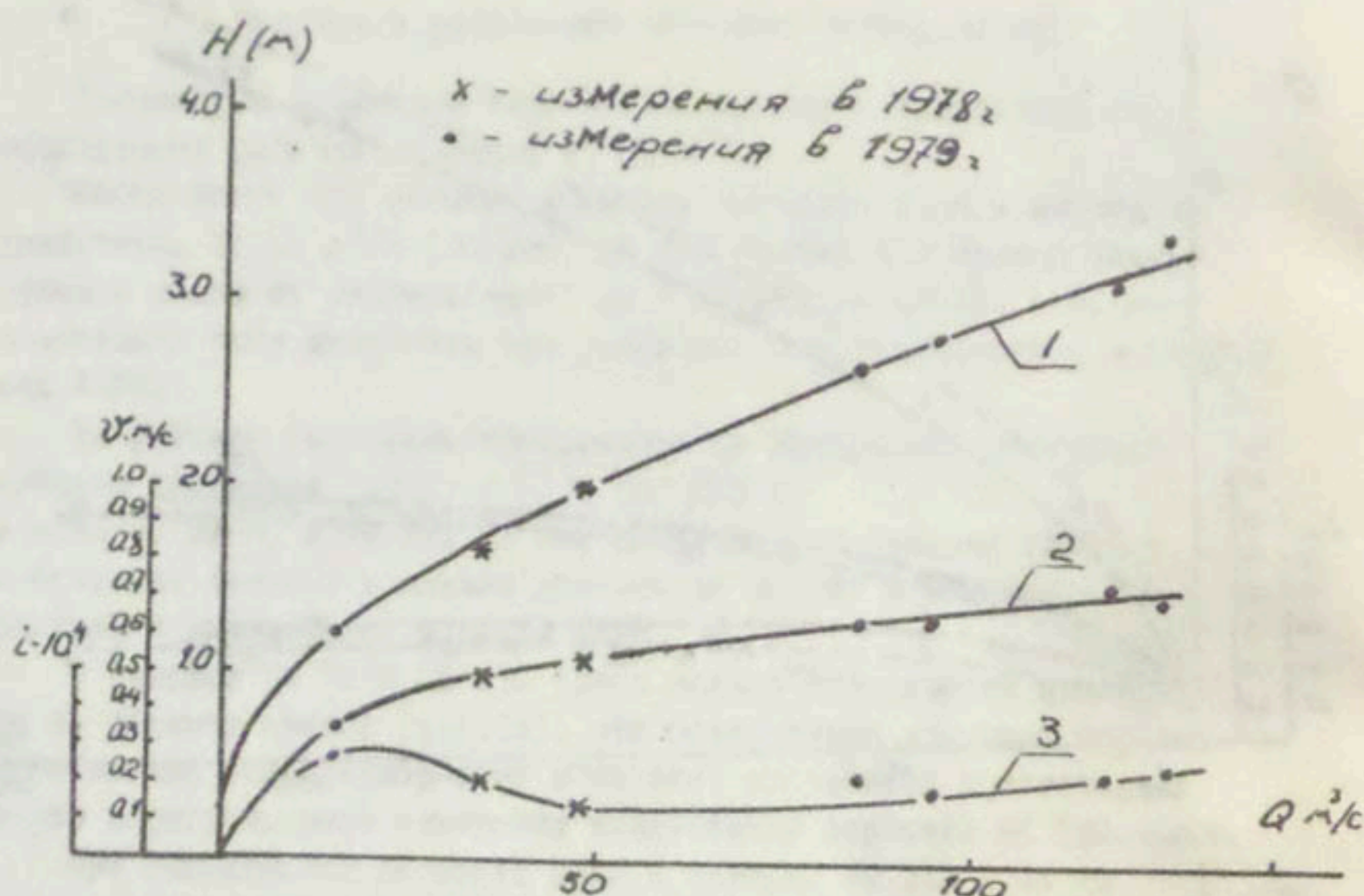


Рис. 2а. График изменения средней глубины (1), средней скорости (2), уклона (3) в створе ПК 110 КзМК в зависимости от расхода воды.

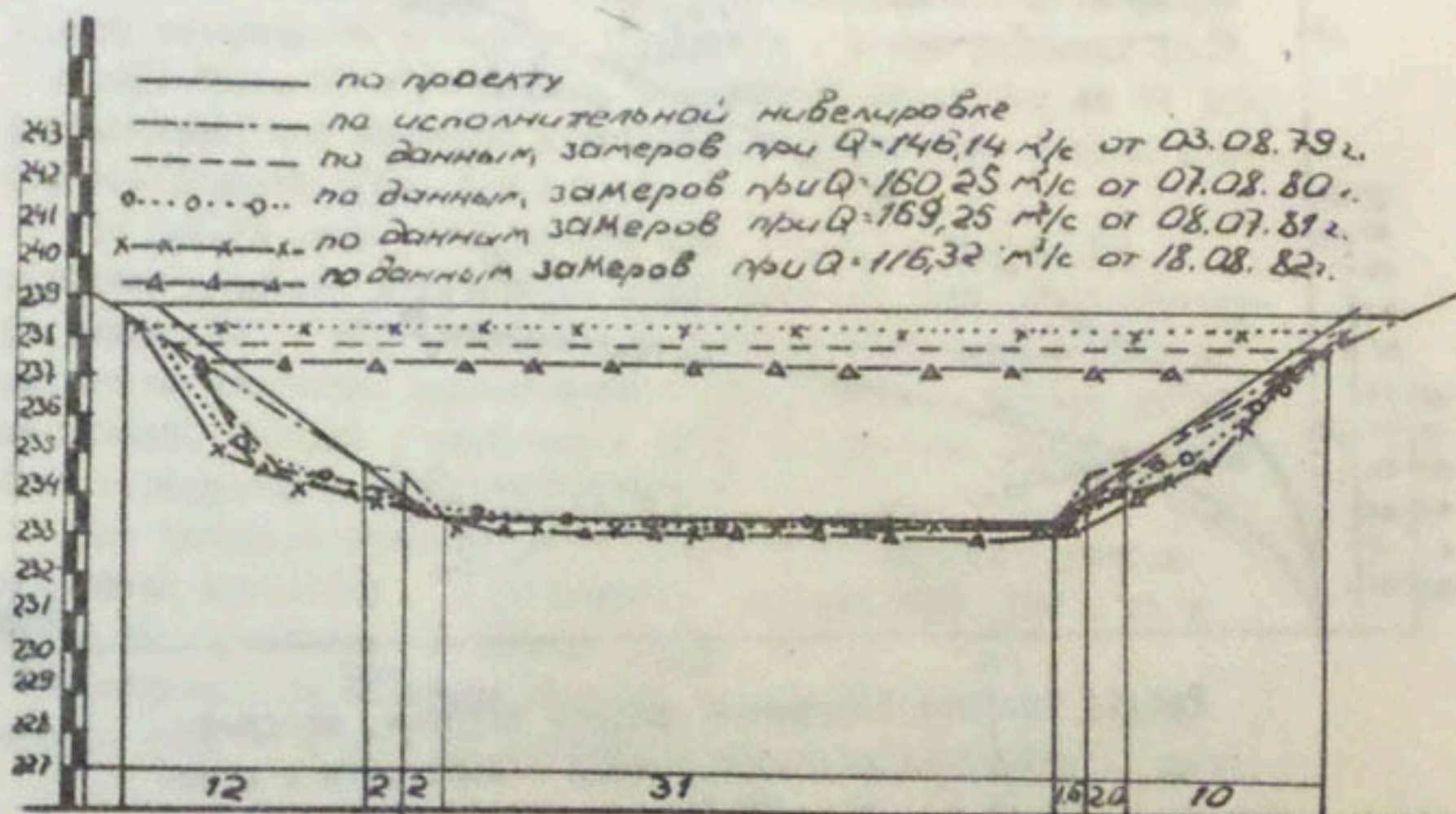


Рис. 2б. Поперечное сечение КзМК по данным проекта и измерений в створе ПК 43.

тельного времени привели к размыву дна канала на всем участке ниже крепления вплоть до перепада на ПК 120. В связи с этим уклон исследуемого участка 2 понизился по сравнению с 1979-1980 гг., что наглядно видно на рис. 1а (пунктирная линия).

По приведенным данным видно, что уклон водной поверхности до расхода порядка $100 \text{ м}^3/\text{с}$ имеет значение меньше проектного, при расходах более $100 \text{ м}^3/\text{с}$ уклон увеличивается. При максимальных расходах $170 \dots 185 \text{ м}^3/\text{с}$ превышение уклона над проектным составляет $10 \dots 15\%$, что объясняется повышением интенсивности движения донных наносов, в частности, образованием развитых песчаных гряд. В результате размыва дна канала средняя глубина потока увеличивается и уменьшаются средние скорости течения воды.

Это объясняется тем, что на всем прилегающем участке канала откосы сложены мелким песком и супесью, а скорости потока при максимальных расходах воды равны $0,7 \text{ м/с}$ и более, что значительно превышает неразмывающую скорость песка, особенно на откосе.

Однако сопоставление данных измерений 1981 и 1982 гг. показывает, что размыв откосов в 1982 г. почти прекратился, хотя в этот период по каналу шел максимальный расход ($185 \text{ м}^3/\text{с}$). Это указывает на то, что после частичного крепления берегов выше исследуемого участка 2, к концу вегетации 1981 г. произошло расширение и углубление канала в створе ПК 43. В 1982 г. размыв дна и откосов прекратился, и поперечное сечение канала не изменялось (рис. 2б).

Материалы измерений, произведенных в процессе исследований КЗМК в 1978-1982 гг., позволяют получить ряд гидроморфологических характеристик поперечного сечения канала. Зависимости, характеризующие изменение ширины канала от расходов воды, хорошо описываются степенной функцией:

в створе ПК 43

$$B = 36,3 Q^{0,1}; \quad (1)$$

в створе ПК 70

$$B = 32 Q^{0,1}. \quad (2)$$

Различие коэффициентов в формулах (1) и (2) связано с тем, что ширина канала в створе ПК 43 больше, так как берега этого участка сложены из песка и супеси, которые легко поддаются

размыву. Берега же в створе ПК 70 сложены из суглинков и не дают потоку расширяться.

Зависимости, характеризующие изменение ширины потока от средней глубины, также хорошо описываются степенными функциями, выраженными параболой с вертикальной осью, и имеют следующий вид:

для створа ПК 43

$$B = 46 H^{0,22} ; \quad (3)$$

для створа ПК 70

$$B = 40,5 H^{0,22} . \quad (4)$$

Показатели степени в этих зависимостях равны, а коэффициенты, как и в зависимостях (1) и (2), различны.

Полученные равенства (1...4) описывают поперечный профиль сечения КЗМК для двух грунтовых условий, т.е. для сечения, откосы которого состоят из мелкого песка и супеси, и для сечения, откосы которого состоят из суглинка.

В ы в о д ы

Исследования, приведенные на КЗМК, показали, что на участках с различными грунтовыми характеристиками ложа и откосов канала деформации русла происходят неодинаково. На участках, откосы которых сложены из мелкого песка и супеси, деформация берегов происходит значительно больше, чем на участках с суглинистыми грунтами. Это хорошо видно по полученным выше зависимостям (1...4) ширины потока от расхода воды и глубины потока.

Установлено, что регулятор на ПК 14 и транзитный перепад на ПК 120 влияния на изменение уклона водной поверхности на исследуемом участке 2 не оказал. В то же время переменный режим спад-подпор-спад на перепаде ПК 120 оказывал влияние на уклон на участках 3 и 4.

А.М. Мухамедов, чл.-кор. ВАСХНИЛ, докт. техн. наук

О.А. Каюмов, канд. техн. наук

А.Г. Сорокин, ст. научн. сотр.

(САНИИРИ им. В.Д. Журна)

О НЕКОТОРЫХ МЕРОПРИЯТИЯХ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ УХУД- ШЕНИЯ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОБСТАНОВКИ В НИЗОВЬЯХ АМУДАРЬИ

В последние годы значительно осложнилась водохозяйственная обстановка в низовьях р. Амударьи. Здесь возникла проблема обеспечения населения питьевой водой и ухудшилось мелиоративное состояние орошаемых земель, что привело к ощутимым ущербам в сельскохозяйственном производстве.

Основные причины создавшегося критического положения в низовьях: неконтролируемый сброс в реку сильно минерализованных коллекторно-дренажных вод с орошаемых массивов по среднему течению (Каршинский, Амубухарский и Туркменский прибрежный ВХР); чрезмерное осветление воды в русловом водохранилище Туямуунского гидроузла; недостаточные темпы реконструкции оросительных и коллекторно-дренажных систем.

По указанным причинам минерализация речной воды в низовьях за последние 15 лет возросла в два раза и в отдельные периоды маловодных лет достигала 2,0 г/л; увеличились, ориентировочно, на 1000 м³/га потери на фильтрацию в каналах; поднялись на 15...20 см уровни грунтовых вод и практически полностью прекратился вынос на поля плодородного амударьинского ила.

Положение осложняется тем, что в чаше Султансанджарского водохранилища, входящего в состав Туямуунского гидроузла, сосредоточено свыше 40 млн. т солей. Вследствие их растворения после начавшегося в 1984 г. заполнения этого водохранилища минерализация речной воды в низовьях возросла еще более.

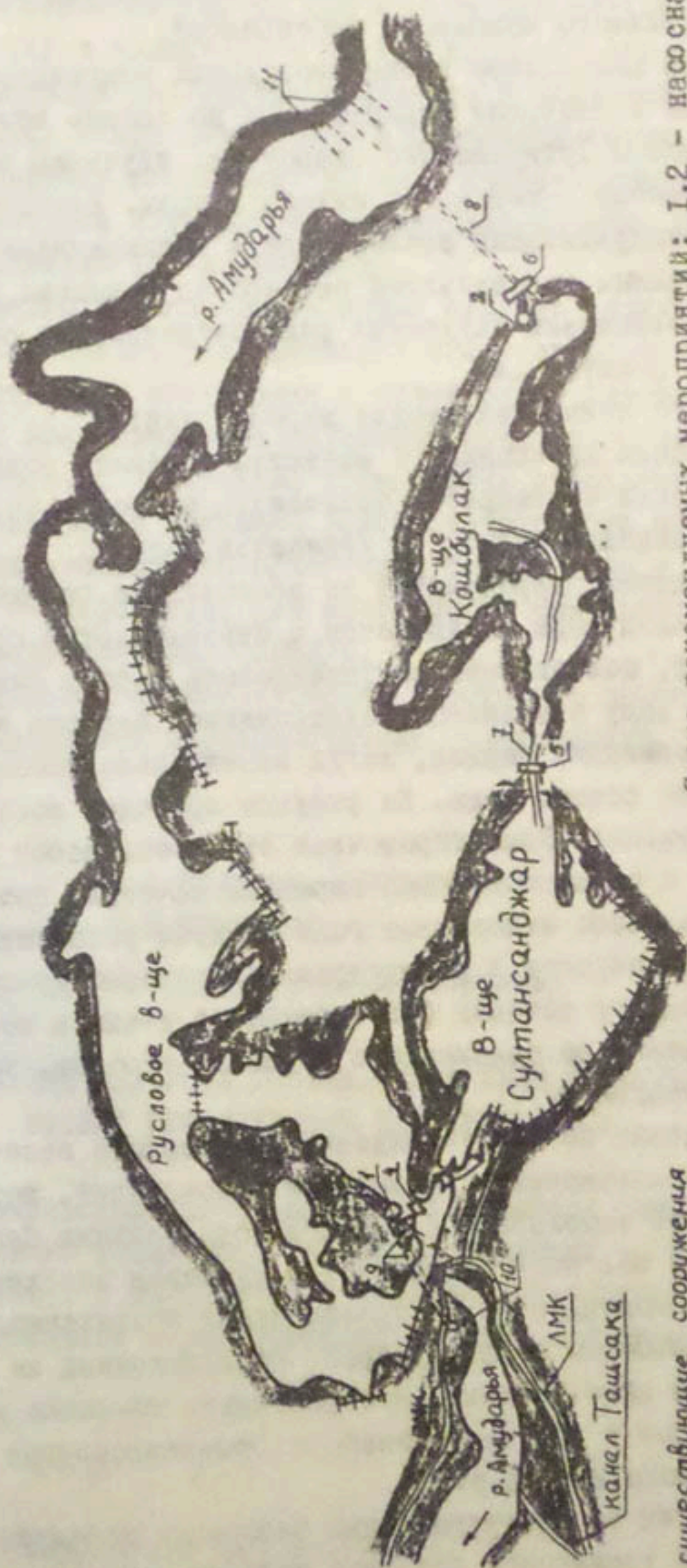
Республиканскими и областными организациями предпринимает-

ся ряд мер, направленных на предотвращение здесь ухудшения водохозяйственной обстановки. Наиболее крупные из них: строительство водопроводных систем Туямуш - Ургенч и Туямуш - Нукус стоимостью свыше 200 млн.руб; реконструкция Левобережного Туямушского канала - 18 млн.руб. и реконструкция Озерно-уравнительного коллектора - 48 млн.руб. Эти мероприятия еще далеки до завершения. Однако и по их окончании рассчитывать на ощутимый положительный эффект невозможно, так как основные причины создавшегося критического положения в низовьях все же остаются.

Более кардинальные меры на перспективу намечены Среднеазиатским гидрохлостом, который по заданию Минводхоза СССР завершил "Уточнение генеральной схемы охраны и комплексного использования водных ресурсов р. Амударьи". В уточненной генсхеме планируется ограничить сброс в реку коллекторно-дренажных вод в районе среднего течения. Предусматриваются также высокие темпы реконструкции оросительных и коллекторно-дренажных систем в низовьях.

Целесообразность разработанных проектных решений в целом не вызывает сомнений. Однако считать их вполне достаточными для коренного улучшения водохозяйственной обстановки в рассматриваемом районе не представляется возможным по следующим причинам.

Во-первых, предусматриваемые объемы сбросов коллекторно-дренажных вод в реку в районах среднего течения в особо маловодные годы приведут к увеличению минерализации речной воды в низовьях, и она может оказаться выше допустимой нормы для питьевых целей (более 1,0 г/л), в связи с чем проблема питьевого водоснабжения полностью не решается. Во-вторых, в уточненной генсхеме не рассмотрена проблема осветленной воды в низовьях и, соответственно, не учтено увеличение непроизводительных потерь воды в каналах на фильтрацию. В третьих, в проектных расчетах не учтено уменьшение гарантированной водотдачи Туямушского гидроузла вследствие интенсивного заиления руслового водохранилища. В четвертых, в уточненной генсхеме не предусмотрено увеличение оросительных норм в низовьях в связи с намечаемым здесь использованием для орошения поливной воды с повышенной минерализацией - 1,4...1,6 г/л (для сравнения: в районах среднего течения минерализация поливной воды 0,6...1,0 г/л).



— существующие сооружения
 --- рекомендуемые мероприятия

Схема рекомендуемых мероприятий: 1, 2 — насосная станция; 3, 4, 5, 6 — ГТ сооружение; 7, 8 — соединительный канал; 9 — трубопроводы; 10 — головные водопроводные станции; 11 — руслорегулирующие мероприятия; 12 — канал с осветленной водой.

Исходя из создавшейся критической обстановки в низовьях, представляется очевидным необходимость осуществления специального дополнительного комплекса мероприятий.

В САНИИРИ уже длительное время проводятся теоретические, экспериментальные и натурные исследования по оценке водорегулирующей способности Туямуьнского гидроузла, изучению динамики русловых процессов в верхнем и нижнем бьефах. Изучается также динамика минерализации речной воды в водохранилищах. На основании проведенных исследований разработан комплекс мероприятий по предотвращению ухудшения водохозяйственной обстановки в низовьях р. Амударьи.

В состав этого комплекса входят мероприятия:

- по обеспечению необходимого качества питьевой воды;
- предупреждению чрезмерного осветления речной воды;
- по предупреждению возможных дефицитов воды.

Суть рекомендуемых мероприятий по обеспечению необходимого качества питьевой воды заключается в строительстве специальных сооружений, позволяющих аккумулировать летнюю слабо-минерализованную воду в наливном водохранилище Капарас и использовать ее в меженный период, когда значительно увеличивается минерализация речной воды. На рисунке приведен состав необходимых сооружений. Ориентировочная стоимость работ 25 млн. руб. Кроме того, с целью повышения гарантии качества питьевой воды в низовьях в особо маловодные годы следует уменьшить на $0,7 \text{ млрд. м}^3$ объемы сбросов в р. Амударью коллекторно-дренажных вод в районах среднего течения (из Каршинской степи и зоны Амубухарского канала) по сравнению с объемами сбросов, принятых уточненной генсхемой.

Суть рекомендаций по предупреждению чрезмерного осветления речной воды заключается в реализации мероприятий, позволяющих осуществлять заполнение в паводок водохранилищ Султансанджар и Кожбулак без подпора уровней в русловом водохранилище. Для этого рекомендуется построить канал протяженностью 10...12 км с водозабором из р. Амударьи, расположенный на расстоянии 85...90 км выше плотины, и осуществить комплекс русло-регулирующих работ в районе водозабора. Ориентировочная стоимость работ около 20 млн. руб.

Суть мероприятий по предупреждению возможных дефицитов воды заключается в увеличении полезной емкости наливных водо-

хранилищ Султансанджар и Комбулак на 2,5 млрд.м³, в том числе за счет снижения ГМО до 114 м – на 0,5 млрд.м³, а также повышения НПУ в Комбулаке – на 2,0 млрд.м³. Для реализации этих предложений необходимо расширить и углубить соединительный канал между Комбулаком и Султансанджаром, построить перегораживающее сооружение на этом канале, джкер под левобережным каналом и насосную станцию для заправки воды в Комбулак до отметки 141 м (рисунок).

На основании изложенного можно сделать следующие выводы:

1. Из-за целого ряда факторов значительно осложнилась водохозяйственная обстановка в низовьях р. Амударья.
2. Для предотвращения ухудшения водохозяйственной обстановки в низовьях необходимо осуществить специальные мероприятия по обеспечению питьевой водой необходимого качества, предупреждению чрезмерного осветления речной воды и ограничению возможных ее дефицитов. Для этого могут быть использованы мероприятия, разработанные САНИИРИ.
3. В дальнейшем исследования необходимо продолжить в направлении детализации разработанных рекомендаций.

А.А.Кадыров, канд.техн.наук

С.Х.Махкамов

(САНИИРИ им.Д.Д.Хурина)

ОПЫТНОЕ ИЗУЧЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ШЕЗИ В ПЕСЧАНЫХ РУСЛАХ ПРИ ДВИЖЕНИИ ДОННЫХ НАНОСОВ

Гидравлический расчет каналов в решающей степени зависит от правильного учета всех факторов, влияющих на гидравлические сопротивления. В практических расчетах гидравлические сопротивления учитываются через коэффициент Шези C в формуле Шези:

$$v = C \sqrt{Ri} \quad (1)$$

где $C = f(n; R)$;

n – коэффициент шероховатости;

R – гидравлический радиус.

Как указывают многие авторы / 1,2,3/, в одном и том же створе канала, где наблюдается движение донных наносов, величина коэффициента шероховатости Π в течение года в зависимости от режима наносов колеблется в широких пределах.

Имеются попытки увязать коэффициент Шези C с коэффициентом гидравлического трения λ , так как для широких, приближающихся к плоским ($R \approx H$), потоков существует связь между C и λ в виде

$$\frac{C}{\sqrt{g}} = \left(\frac{2}{\lambda}\right)^{0.5} \quad (2)$$

Здесь λ — представляется как функция от относительной шероховатости русел $\frac{d}{h}$, где d — осредненное значение высоты выступов шероховатости, м.

Таким образом можно получить удовлетворительные результаты, но лишь для неподвижных русел, в которых есть возможность вычислить среднее значение высоты выступов шероховатости d . В размываемых руслах с движущимися наносами такой подход дает неудовлетворительные результаты.

В последние годы предпринимаются попытки [4,5] определения коэффициента Шези иными путями, не связанными с установлением численных величин коэффициента шероховатости Π .

По результатам лабораторных опытов В.С.Киороз [3] вывел формулу для безмерного коэффициента Шези и гидравлического трения потока при грядовой форме движения донных наносов, пренебрегая сопротивлением зернистой поверхности:

$$\frac{C}{\sqrt{g}} = 3,16 \left(\frac{\ell_r}{h_r}\right)^{1/2} \left(\frac{R}{h_r}\right)^{1/8} \quad (3)$$

Имеется ряд формул для определения грядового сопротивления русла, предложенных А.Полад-заде [5], Б.Ф.Снищенко [6] и др.

Недостатком формул типа (3) является то, что в них одна неизвестная величина заменяется другой, а иногда сразу двумя прогнозируемыми, как в данном случае, величинами ℓ_r , h_r .

Сложный механизм движения наносов в потоке требует продолжения исследований и получения более усовершенствованных формул для коэффициента Шези, учитывающих все основные факторы, обуславливающие гидравлические сопротивления в руслах с подвижным дном.

Закономерность образования русловых форм дна и влияние их на гидравлические сопротивления в потоках, транспортирующих наносы, изучалась многими исследователями [7,8,9,10,3,6].

Установлено, что гидравлические сопротивления в мелкопесчаных руслах транспортирующих наносы, складываются из сопротивлений зернистой поверхности и донных неровностей (макрошероховатостей). Выявлено также, что от степени насыщения потока наносами при различных значениях средней скорости потока, превышающей размывающую для данного грунта русла, гидравлические сопротивления изменяются в широких пределах.

Следовательно, для оценки величины гидравлических сопротивлений в каналах с несвязными мелкозернистыми грунтами дна следует изучать взаимосвязь коэффициента Шези как минимум со следующими характеристиками потока и русла:

M — насыщением потока наносами, кг/м^3 ;

F_r — режимом движения потока, как фактором грядо- или рифлеобразования, выражаемым числом Фруда;

$\bar{\Delta}$ — средней величиной высоты выступа, как комплексной характеристикой микро- и макрошероховатости русла

$d, h_r, \ell_r, \text{м.}$

Мы проводили исследования в гидравлическом лотке размером $0,4 \times 0,8 \times 12$ м при трех расходах: $Q_1 = 5$ л/с, $Q_2 = 10$ и $Q_3 = 15$. В качестве размываемого материала и наносов применялся речной песок со средневзвешенным диаметром $d_{cp} = 0,28 \text{ мм}$.

Формирование рельефа дна в виде рифелей и гряд, а также уклона квазиравномерного движения производили путем подачи в лоток постоянного расхода наносов до тех пор, пока не достигалось равенство подаваемого и вылавливаемого количества твердого материала.

Размеры неровностей дна определяли путем нивелирования его по оси лотка и построения пилообразных профилей. Осреднение выступов по длине рабочего участка давало среднее значение выступов макрошероховатостей — h_r .

Далее устанавливали осредненное значение подвижного слоя наносов $\bar{\Delta}$, численно равное приблизительно половине гряд. Толщину подвижного слоя наносов $\bar{\Delta}$ устанавливали путем снятия гипсовых слепков по длине и по всей ширине лотка. Впадины на слепке заполняли песком (рис. 1). Деление объема этого песка на размер слепка в плане давало толщину $\bar{\Delta}$ подвижного

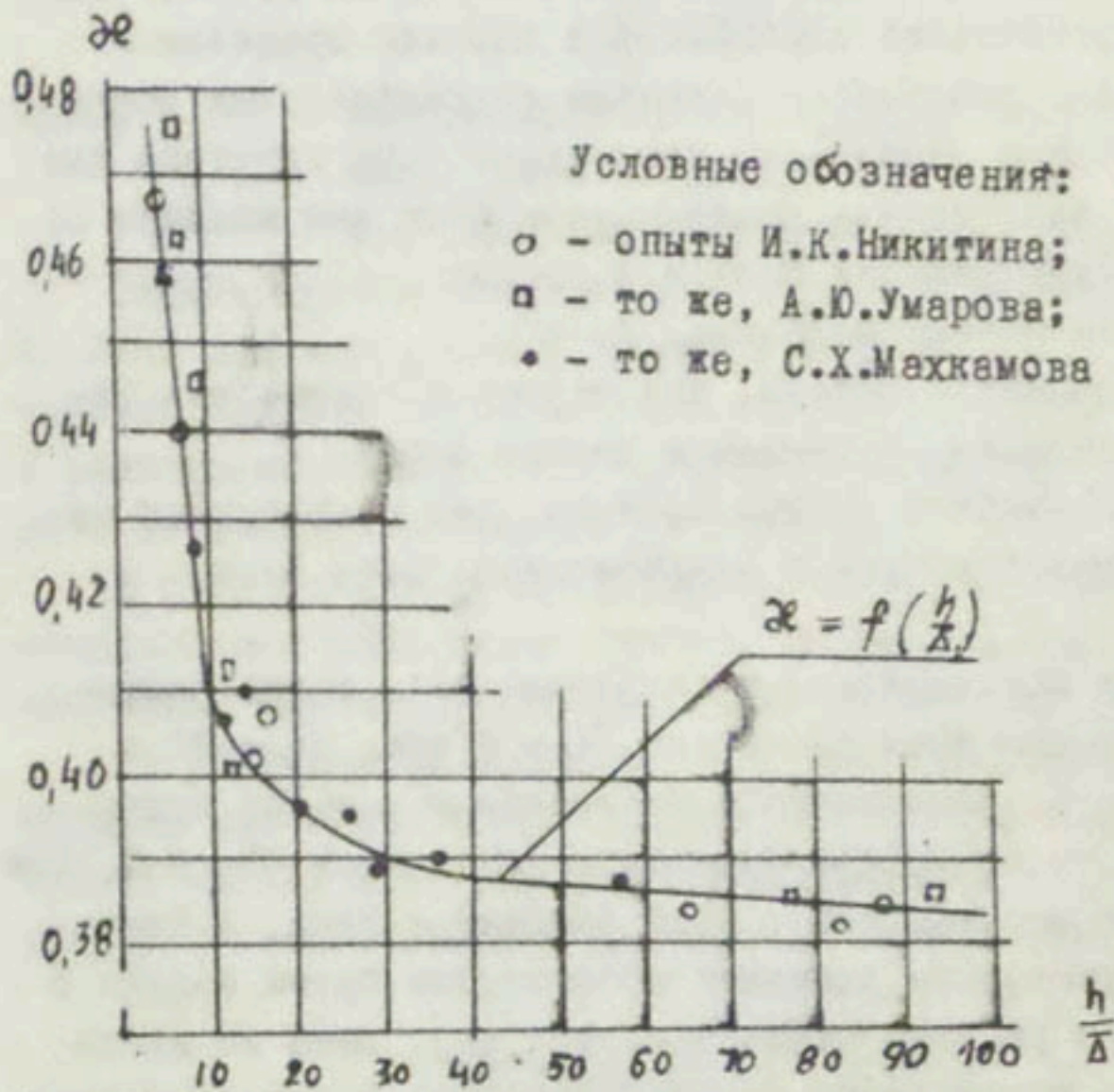
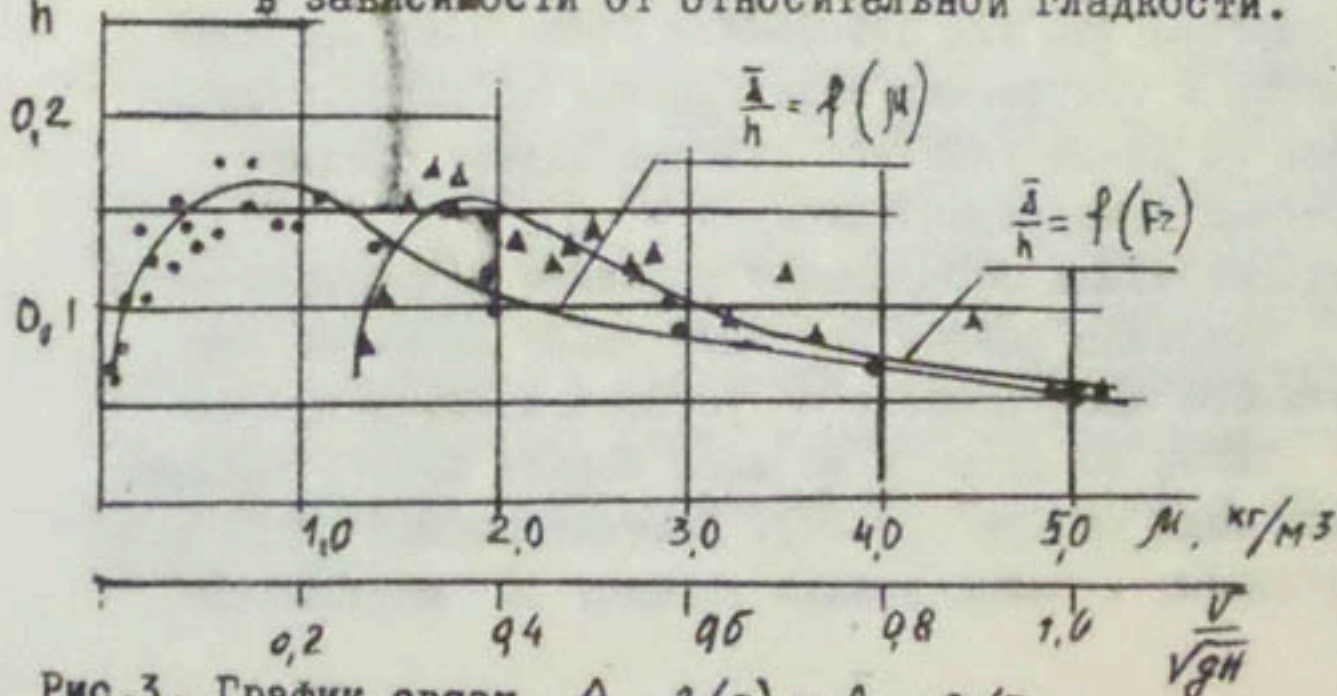
Рис.1. Методика определения $\bar{\Delta}$.

Рис.2. График изменения параметра Кармана в зависимости от относительной гладкости.

Рис.3. График связи $\frac{\Delta}{h} = f(\mu)$ и $\frac{\Delta}{h} = f(Fr)$.

слоя наносов.

Как показали опыты, что в зависимости от количества подаваемых наносов наблюдается изменение кинетической энергии потока или числа Фруда $\frac{U}{\sqrt{gh}}$. При $F_r = 0,3 \dots 0,4$ высота гряд, а следовательно, и значение коэффициента сопротивления достигает максимума. Далее по мере роста F_r отмечается уменьшение h_r или $\bar{\Delta}$, часть наносов переходит во взвешенное состояние. Аналогичный характер имеет и закон изменения коэффициента гидравлического трения λ .

Очевидно, что функциональная зависимость между λ и другими характеристиками русла и потока (d_{cp} , μ , F_r) довольно сложна.

В работе [4] приведена расчетная зависимость для коэффициента Шези, полученная на основе двумерной модели течения А.А.Кадырова, которую можно представить в следующем виде:

$$\frac{C}{\sqrt{g}} = \frac{2,3}{\mathcal{H}} \left(\lg \frac{h}{d_{cp}} + 0,48 \right), \quad (4)$$

где d_{cp} — осредненный диаметр частиц грунта русла, м;

h — глубина потока, м;

$\mathcal{H}$ — так называемая "постоянная Кармана", зависящая от относительной шероховатости, численные значения которой можно определить из графика (рис.2).

Зависимость (4) выведена путем соответствующих преобразований из логарифмического закона распределения осредненных скоростей по глубине потока, предложенного Ясмундом-Никурадзе для естественных потоков.

В случае наносонесущих потоков с подвижным дном в виде рифелей и гряд методически нерешенным остается вопрос о гидравлическом дне (плоскости условного дна) потока, где должна находиться нулевая точка эпилы. Степенной закон распределения скоростей на нулевой по глубине точке эпилы распределения дает нулевое значение осредненных местных скоростей.

В рассматриваемом случае плоскость условного дна представляется проходящей на уровне, примерно, половины высоты гряд, и на этой глубине эпира распределения осредненных скоростей не должна иметь нулевое значение. Этим объясняется выбор для изучения гидравлических сопротивлений русел с подвижным дном

в виде гряд или рифелей именно логарифмического закона распределения скоростей, на подходе к нулевой точке дающий некоторое конечное значение осредненных скоростей.

Необходимо отметить, что методическая сторона вопроса — правомерность изучения гидравлических сопротивлений через закон распределения скоростей по глубине потока — однозначно-го ответа не имеет [5].

Отличие (4) от аналогичных формул, например формулы А.М. Умарова [11], заключается в том, что в ней содержится "постоянная Кармана", зависящая от относительной шероховатости (в случае грядового рельефа дна — от высоты гряд) русла. Характерная особенность зависимости — отсутствие в ней коэффициента шероховатости n , но в нее вошла относительная гладкость русла через отношение глубины к осредненному диаметру частиц грунта.

При движении донных наносов в виде рифелей и гряд существенное значение приобретает сопротивление русла от этих макрошероховатостей. В связи с этим по опытным данным ($\mu = (0,1...5,0) \text{ кг/м}^3$) рассмотрена взаимосвязь между относительной шероховатостью русла $\bar{\Delta}/h$ и насыщением потока наносами. При этом вместо d_{cp} в формуле (4) ставилась величина $\bar{\Delta}$, зависящая, кроме величины d_{cp} , и от высоты рифелей и гряд и имеющая размерность длины.

По смыслу величину $\bar{\Delta}$ следует рассматривать как приведенную или эффективную высоту выступов шероховатости русла, количественно заменяющей фактическую шероховатость данного русла некой, равномерно распределенной шероховатостью, вычисленной по величине, например, коэффициента гидравлического трения λ . Идея такой замены была высказана и ранее [4].

Как видно из рис.3, при $\mu = 0,5...0,6 \text{ кг/м}^3$ величина $\bar{\Delta}/h$ имеет свое максимальное значение; число Фруда F_r при этом достигает величины $0,35...0,4$. Дальнейшее увеличение насыщения потока наносами приводит к повышению подвижности донных образований; часть наносов, перемещаемая по дну, постепенно переходит во взвешенное состояние и, как результат, величина относительной шероховатости уменьшается (рис.3).

Величина $\bar{\Delta}$ в формуле (4) определяется в зависимости от параметров русловых форм дна, т.е. от высоты и длины гряд. Поэтому задачей дальнейших исследований является определение

расчетной зависимости для параметров гряд.

Рядом авторов выведены формулы по определению параметров гряд, что отражено в литературных источниках. Существуют зависимости, устанавливающие связь высоты гряд с относительной скоростью (формула В.С.Кнороза) и глубиной потока (формулы С.Х.Абальянца, Б.Ф.Снищенко).

По данным исследований С.Х.Абальянца, высота гряды определяется по приближенной зависимости [1]

$$h_r = (0,12 \div 0,21) h^{2/3} . \quad (5)$$

Б.Ф.Снищенко [6] на основе большого количества опытных данных получил зависимость для высоты гряды ($h > 100$ см):

$$h_r = 0,2 + 0,1 h . \quad (6)$$

Исследования, проведенные нами, показали, что высота гряды зависит от глубины потока и крупности наносов. На это указывают и другие авторы [10,3,6]. Для установления связи

$h_r = f(h, d_{cp})$ нами обработаны опытные данные наших исследований, а также З.Н.Нуритдинова и Н.С.Знаменской [10].

На рис.4 опытные точки удовлетворительно расположились вокруг прямых при одинаковом показателе с разными коэффициентами постоянных, зависящими от крупности наносов:

$$h_r = a h^{0,7} , \quad (7)$$

где a — коэффициент, зависящий от механического состава наносов; в наших опытах изменялся в пределах 0,13...0,16.

Коэффициент a можно вычислить в зависимости от крупности наносов по уравнению

$$a = 0,03 d_{cp}^{-0,2} . \quad (8)$$

Решая совместно уравнения (7) и (8), получим формулу для определения высоты гряды:

$$h_r = 0,03 h^{0,7} d^{-0,2} \quad (9)$$

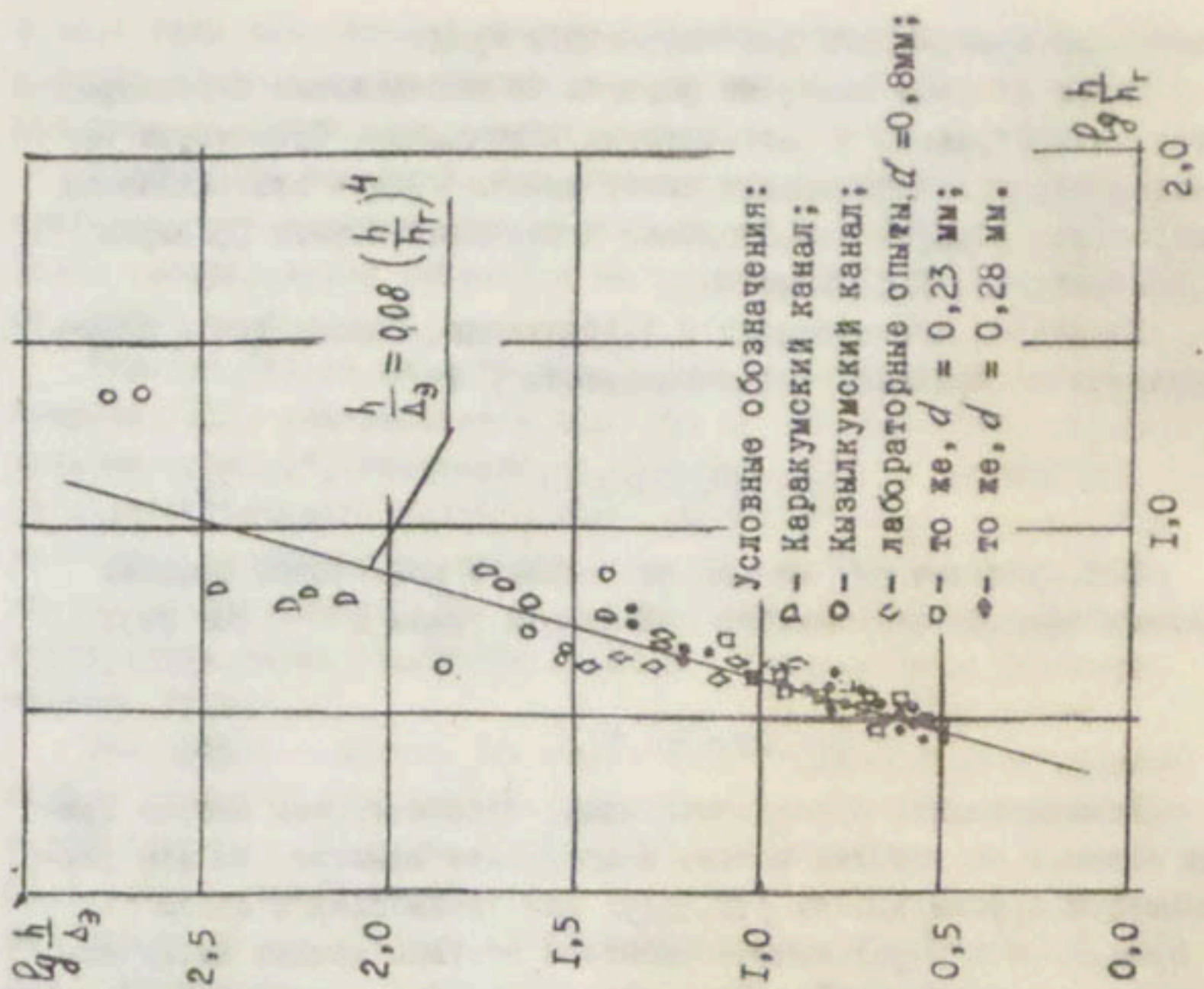


Рис. 5. График связи $\frac{h}{\Delta z} = f \left(\frac{h}{h_r} \right)$.

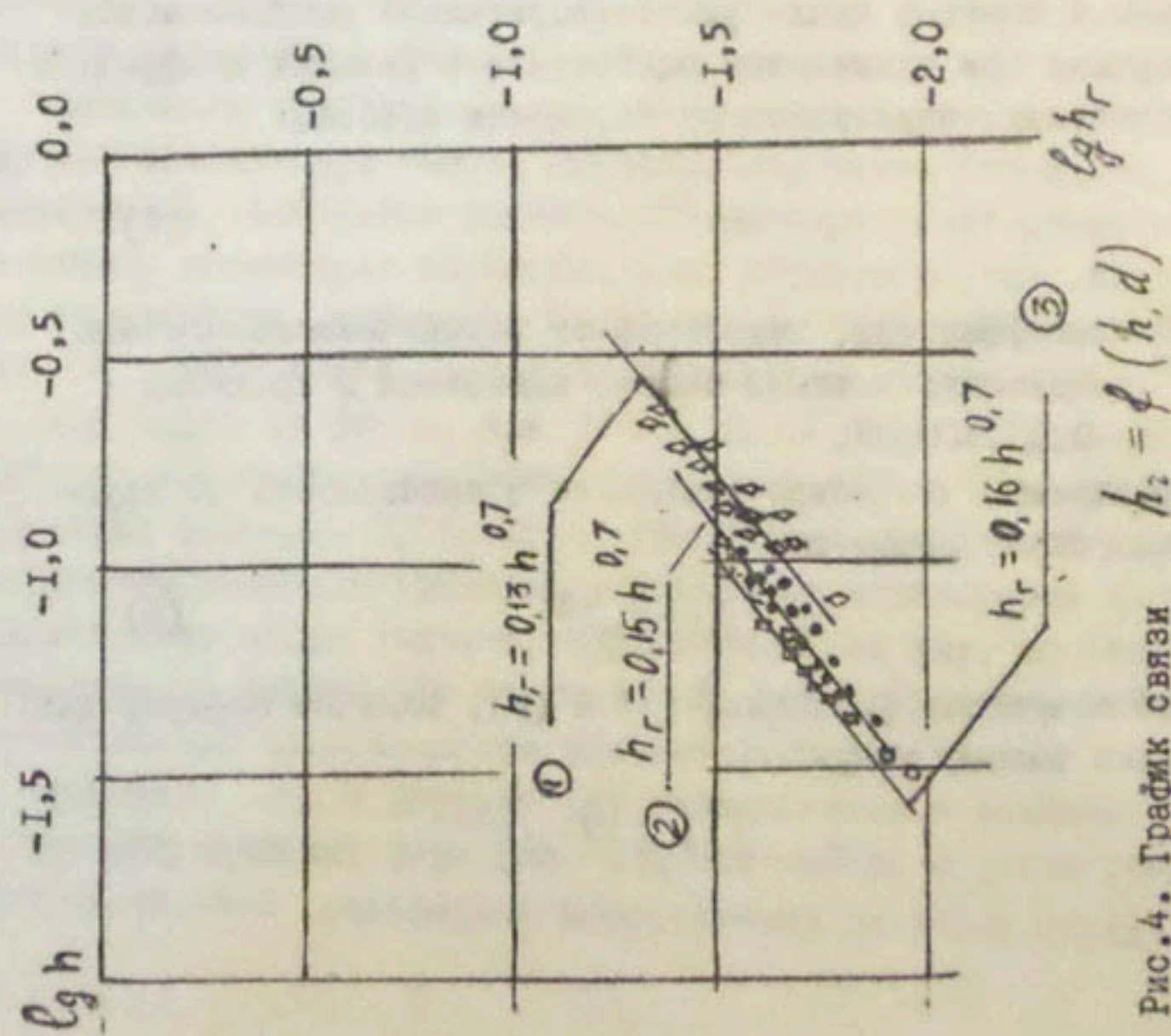


Рис. 4. График связи в логарифмических координатах:
1 - опыты Н.С.Знаменской, $d = 0,8 \text{ мм}$;
2 - то же, С.Х.Махамова, $d = 0,28 \text{ мм}$;
3 - то же, З.Н.Нуритдинова, $d = 0,23 \text{ мм}$

или относительная высота гряды

$$\frac{h_r}{h} = 0,03 \left(\frac{h}{d_{cp}} \right)^{0,2} h^{-0,5} \quad (10)$$

Постоянная величина в формулах (9) и (10) получена на основе лабораторных исследований, где поток оказывался близким к плоскому. Натурные каналы характеризуются пространственностью течения, колебанием уровня (расхода) воды, уклона, неодинаковыми поперечными сечениями и другими факторами, учесть которые одним коэффициентом невозможно.

При обработке материалов исследований возник вопрос о правомерности применения величины $\bar{\Delta}$ вместо средневзвешенной высоты диаметра наносов d_{cp} . Зная опытные величины C ,

h , $\mathcal{H}$, из формулы (4) можно определить эффективную высоту выступов шероховатости $\bar{\Delta}_3$.

На рис. 5 показана связь $\frac{h}{\bar{\Delta}_3} = f \left(\frac{h}{h_r} \right)$ в логарифмических координатах, которую можно аппроксимировать уравнением

$$\frac{h}{\bar{\Delta}_3} = 0,08 \left(\frac{h}{h_r} \right)^4 \quad (11)$$

С учетом сказанного, формулу (4) перепишем в виде

$$\frac{C}{\sqrt{g}} = \frac{2,3}{\mathcal{H}} \left(\lg \frac{h}{\bar{\Delta}_3} + 0,48 \right) \quad (12)$$

Таким образом, когда поток транспортирует влекомые наносы, на гидравлические сопротивления существенно влияют макрошероховатости дна русла (рифели и гряды).

При использовании опытных данных С.Х.Махмадова, результатов натурных наблюдений на Кызылкумском канале (САНИИРИ), на каналах им.В.И.Ленина (1977 г.), Кызкеткен (1976 г.), проведенных К.И.Баймановым, а также натурных наблюдений на каналах Южного Хорезма и Азмзбековской системы (1930 г.) [7], выполнены сопоставления величин расчетных коэффициентов Шези, вычисленных по формуле (12), с фактическими значениями коэффициента Шези (рис.6). Среднеквадратичные отклонения составили 6,6 % от фактических.

Зависимости (10), (11), (12) рекомендуются для расчетов применительно к мелкопесчаным руслам каналов, когда мутность потока находится в пределах $0,1 < \mu < 1,0 \text{ кг/м}^3$.

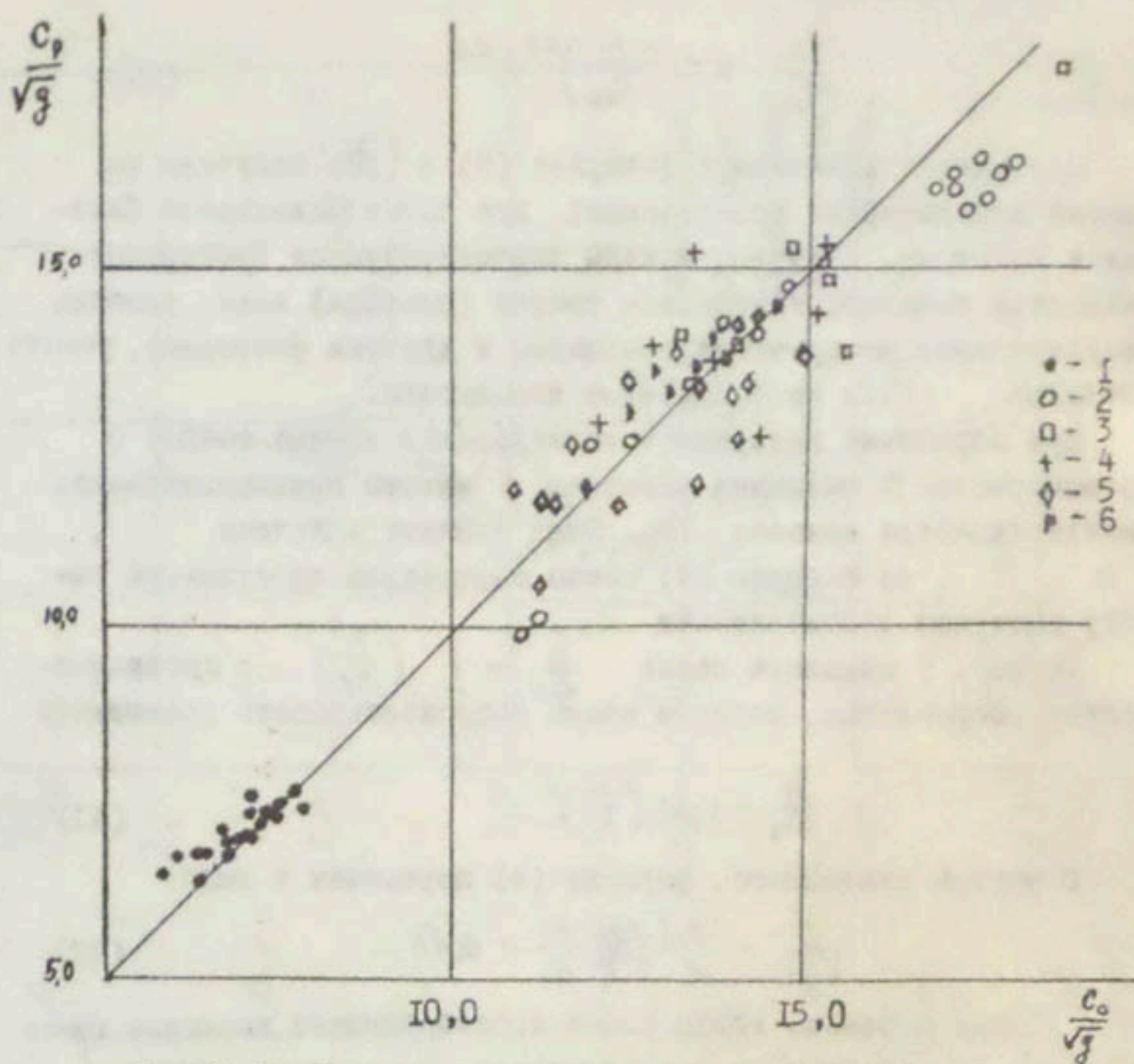


Рис.6. График сравнения величины расчетного коэффициента Шези с фактическими его значениями:

- 1 - лабораторные опыты С.Х.Махкамова;
- 2 - Кызылкумский канал (1978 г.);
- 3 - канал им. В.И.Ленина (1977 г.);
- 4 - канал Кызкеткен (1976 г.);
- 5 - каналы Азизбековской системы (1930);
- 6 - каналы системы южного Хорезма (1930 г.).

$$F_r = \frac{U}{\sqrt{gh}} \leq 0,4.$$

Сложный механизм взаимодействия взвесенесущего потока со своим макрошероховатым руслом обусловил введение в расчетные зависимости величины так называемой "эффективной высоты выступов шероховатости", численно зависящей, по-видимому, не только от высоты гряд или рифелей, но и от структуры потока (скоростного поля) в окрестностях макрошероховатостей, о чем свидетельствует характер связи (12).

Список использованной литературы

1. Абальянц С.Х. Устойчивые и переходные режимы в искусственных руслах. - Л.: Гидрометеоиздат, 1981. - 238 с.
2. Гриманин К.В. Динамика русловых потоков. - Л.: Гидрометеоиздат, 1979, 311 с.
3. Киороз В.Е. Влияние макрошероховатости русла на его гидравлические сопротивления - Известия ВНИИГ, Сб. научн. тр., 1959, т. 62, с. 75-96.
4. Кадыров А.А. О природе коэффициента Шези и путях его определения. - Сб. научн. тр. /Среднеаз. НИИ ирригации, 1978, вып. 157, с. 86-97.
5. Тохиров С. Гидравлические сопротивления в каналах с гравелисто-песчаными руслами: Автор. дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук. - 1985.
6. Кондратьев Н.Е., Попов И.В., Смищенко Б.Ф. Основы гидрометеорологической теории руслового процесса. - Л.: Гидрометеоиздат, 1982, 271 с.
7. Абальянц С.Х. Движение взвесей в открытых потоках. - Сб. науч. тр. /Среднеаз. НИИ ирригации, 1958, вып. 96, 150 с.
8. Великанов М.А. Русловой процесс. - М.: Физматгиз, 1958, 346 с.
9. Гончаров В.Н. Динамика русловых потоков. - Л.: Гидрометеоиздат, 1962, 374 с.
10. Знаменская Н.Е. Экспериментальное исследование грядового движения наносов. - Науч. тр. /ГГИ, 1963, вып. 108, с. 89-114.
11. Умаров А.Ю. Особенности и метод расчета микро- и макроформ дна русла - Изв. АН УзССР, серия техн. наук, 1983, № 3, с. 53-57.
12. Полад-Заде А.П. Статические описания при исследовании шероховатости дна крупного канала. - Докл. ВАСХНИЛ, 1980, № 6, с. 41-43.

А.А.Кадыров, канд.техн.наук

(САНИИРИ им.В.Д.Журина)

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ УСТОЙЧИВЫХ РУСЕЛ КАНАЛОВ В МЕЛКОПЕСЧАНЫХ ГРУНТАХ

Морфометрические зависимости для русел естественных водотоков в русловой гидротехнике используются давно. Широко известны формулы В.Г.Глушкова, С.Т.Алтунина, Н.А.Ржаницына, М.Ф.Срибного, М.А. Великанова и др. На практике руслорегулировочных работ и при устройстве водозаборов успешно применяются две расчетные зависимости С.Т.Алтунина / 2 /:

$$\frac{B_y^m}{h_{cp}} = K, \quad (1)$$

$$B_y = A \frac{Q_p^{0,5}}{i^{0,2}}, \quad (2)$$

где B_y - ширина русла водотока по урезу при Q_p ;
 Q_p - "руслоформирующий расход", т.е. расход водотока (1...3) %-ной обеспеченности;
 h_{cp} - средняя глубина потока при Q_p ;
 i - осредненный уклон водотока.

Численные значения степени m , постоянной K и коэффициента A установлены С.Т.Алтуниным путем обработки большого количества фактического материала по среднеазиатским рекам.

Практический интерес представляет вопрос: существуют ли зависимости аналогичной структуры для устойчивых, аллювиальных, русел каналов, так как движение потока и его взаимодействие со своим руслом подчиняются одним и тем же законам во всех случаях движения воды в земляном русле, независимо, естественное оно или искусственное, хотя в каналах из-за ряда причин (различия в гидрографе реки и графиках водоподачи в канал, наносного режима и т.д.) русловые процессы выражены менее, чем в реках.

Для выяснения этого вопроса можно было бы воспользоваться

общеизвестным способом – собрать достаточное количество фактического материала по действующим каналам, классифицировать по определенным признакам, обобщить и попытаться определить численные значения m , k , A , а также степеней при Q и i . Но это очень трудный и недешевый путь.

Нами предпринята попытка решить эту задачу другим путем – на основе использования разработанной нами ранее структурной двумерной модели открытых потоков (о ней подробно изложено в работе [1]).

Общепринято представление о том, что скоростная структура турбулентного потока обусловлена взаимодействием потока со своим руслом, причем механизм взаимодействия двухсторонний (русло действует на поток, поток управляет своим руслом [2, 3, 14]), что особенно наглядно видно в случае, когда русло сложено из легкоразмываемых грунтов. Изучив статистические характеристики скоростного поля турбулентного потока по результатам измерений крупномасштабной турбулентности реальных потоков, выполненных разными авторами в лотках и естественных водотоках, И.Ф.Карасев [4] не только подтвердил наличие в таких потоках крупномасштабных структурных образований, но и дал количественные соотношения для приближенного определения их продольных и поперечных масштабов.

В связи со сказанным, вполне естественно предположить существование тесной взаимосвязи не только между размерами крупномасштабных структурных образований в потоке и размерами русловых образований (гряды, рифели и др.), но и морфометрическими характеристиками самого русла – B_y и h_{cp} (имеются в виду, прежде всего, аллювиальные русла, что отмечается многими авторами [5, 6, 7, 2 и др.]).

В предлагаемой схематизации безнапорного потока предполагается, что осредненное скоростное поле турбулентного потока обусловлено как бы наложением на поступательное движение потока осредненных во времени и пространстве крупномасштабных структурных образований. Другими словами, при введении осредненного скоростного поля через его составляющие (эпюры распределения продольных и вертикальных составляющих) автоматически учитывается влияние крупномасштабных структурных образований в потоке. Реальный турбулентный безнапорный поток заменяется

фиктивным (модельным) потоком таким образом, чтобы частицы последнего в своем поступательном движении совершали попеременно подъем и спуск от дна до поверхности и обратно (как бы совершали скачок протяженностью $\mathcal{L}_h = 2\ell_h$).

При такой схематизации траектория каждой частицы фиктивного плоского потока есть линия тока потенциального течения, скоростное поле которого образовано эпюрами составляющих скорости $\bar{U}_x$ и $|\bar{U}_y'|$ заменяемого реального потока; тогда модельный поток не противоречит известным уравнениям гидравлики открытых потоков и имеет вполне определенные количественные показатели:

$$\begin{aligned} U &= c\sqrt{h_i} \\ \tau &\approx \rho |\bar{U}_x'|_{cp} |\bar{U}_y'|_{cp} = \rho U_*^2 \\ |\bar{U}_y'|_{cp} &= 0,71 U_* ; |\bar{U}_x'|_{cp} = 2 |\bar{U}_y'|_{cp} \\ \ell_h &= \frac{U}{|\bar{U}_y'|_{cp}} \cdot h = 1,41 \frac{U_{cp}}{U_*} \cdot h = \frac{2}{\sqrt{\lambda}} \cdot h \end{aligned} \quad (3)$$

$$(\ell_h \cdot |\bar{U}_y'|_{cp} = U h = q ; \text{ м}^3/\text{с на п.м.})$$

При построении эпюры $|\bar{U}_y'|$ для последующего вычисления $|\bar{U}_y'|_{cp}$ мы воспользовались уравнением И.К.Никитина [8], предложенным им для выражения закона распределения по глубине среднеквадратичных отклонений пульсации скорости по оси OY . Для перехода от среднеквадратичных отклонений к осредненной по модулю величине (по абсолютной величине) вертикальной пульсационной составляющей скорости использовали приближенное соотношение [13]:

$$\bar{\Phi}_y = \sqrt{\overline{U_y'^2}} \approx 1,25 |\bar{U}_y'| . \quad (4)$$

Как видно из системы (3), важной характеристикой модельного потока является величина ℓ_h или $\mathcal{L}_h = 2\ell_h$, так как она непосредственно связана с осредненным скоростным полем потока через U_{cp} и $|\bar{U}_y'|_{cp}$ и через них с сопротивлением русла потоку.

Необходимо отметить, что описанная выше схематизация безнапорного потока является развитием идей (усовершенствованием

модели) Н.А.Бернадского – А.С.Образовского [9,10], с той разницей, что наша схематизация характеризуется вполне определенными количественными соотношениями.

Опираясь на изложенные выше соображения о существовании взаимосвязи между масштабами низкочастотных (крупномасштабных) структурных образований в потоке и основными морфометрическими характеристиками устойчивого русла (B_y , h_{cp}), в порядке допущения можно записать:

$$B_y = a_0 \ell_h = a_0 \frac{U}{|U_y'|_{cp}} \cdot h = 1,41 a_0 \frac{U}{U_*} h, \quad (5)$$

где a_0 – коэффициент пропорциональности (в общем случае переходной коэффициент);

$U_* = \sqrt{gh_i}$ – динамическая скорость потока.
После несложных преобразований имеем:

$$B_y = A \frac{Q^{0,5}}{l^{0,25}}, \quad (5a)$$

где $A = \left(\frac{1,41 a_0}{\sqrt{gh}} \right)^{0,5}$.

Зависимость (5a) структурно идентична с приведенной выше зависимостью С.Т.Алтунина, нашедшей широкое применение в практике русловой гидротехники.

Для расшифровки численных значений коэффициентов (параметров) A , a_0 , K и степени m воспользуемся данными многочисленных натурных измерений (более 340), выполненных полевыми отрядами ТуркменНИИГима и других НИИ на Каракумском канале им. В.И.Ленина. Этот канал, будучи одним из крупнейших в СССР, имеет свои характерные особенности:

– в канал забирается мутная амударьинская вода, но, проходя через Келифские озера – отстойники, – она осветляется; в связи с этим наблюдаемый ниже этого участка ограниченный транспорт наносов в канале, в том числе и донных в виде рифелей и

гряд — результат взаимодействия потока со своим легкоразмываемым руслом, вызывающего деформации последнего, а также поступления частиц барханных песков, сдуваемых ветром с окружающего пространства, с откосов канала под действием атмосферных осадков и т.д.;

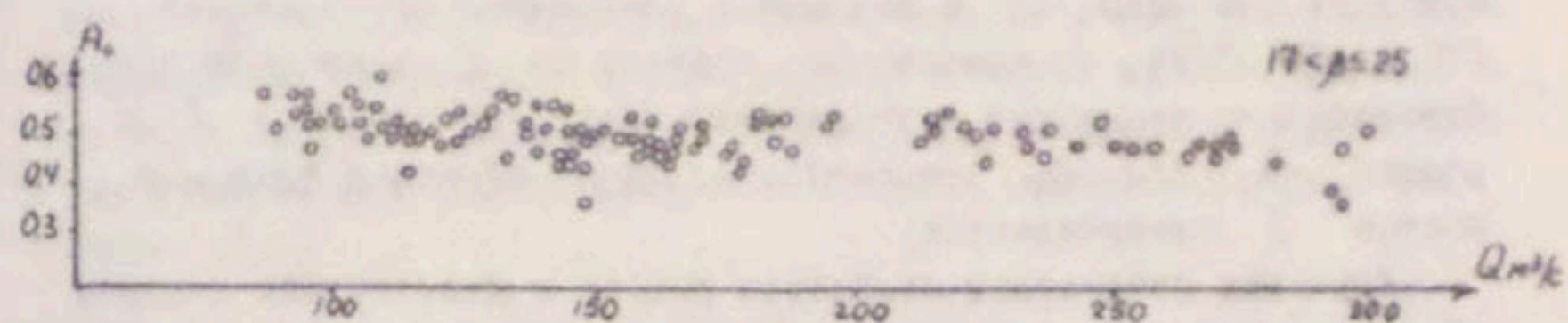
— трасса канала на большом протяжении проходит через барханные пески, но в поперечном сечении русла канала, особенно по глубине, встречаются грунты разного механического состава — от мелких песков по всему сечению до связных грунтов — на части смоченного периметра;

— пропускная способность канала увеличивалась по очередям путем уширения и частичного углубления русла, поэтому в некоторых случаях морфометрические характеристики русла канала B_y и h_{cp} , если даже они определены предварительно на основе приближенных гидравлических расчетов, несут в себе отпечаток случайности, или, точнее, связаны между собой случайным образом.

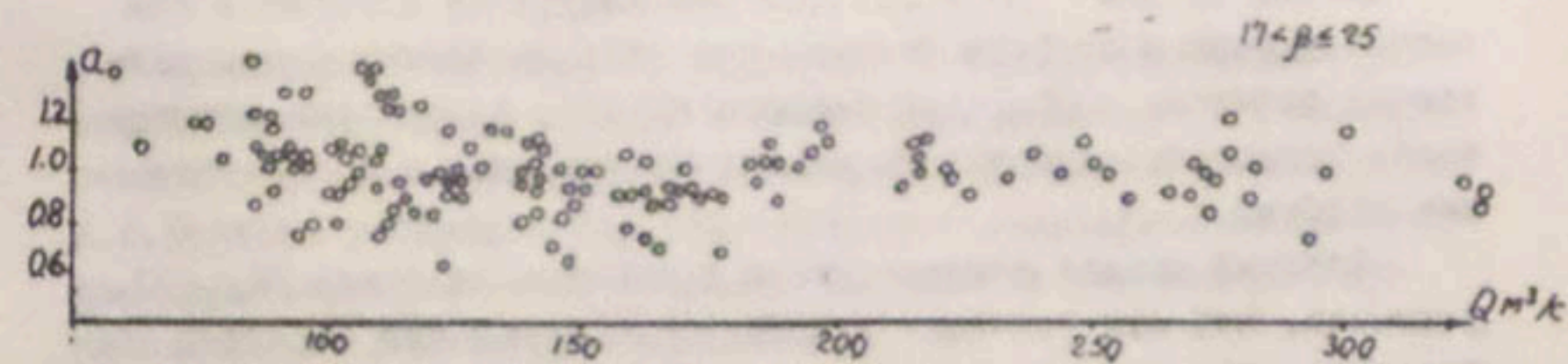
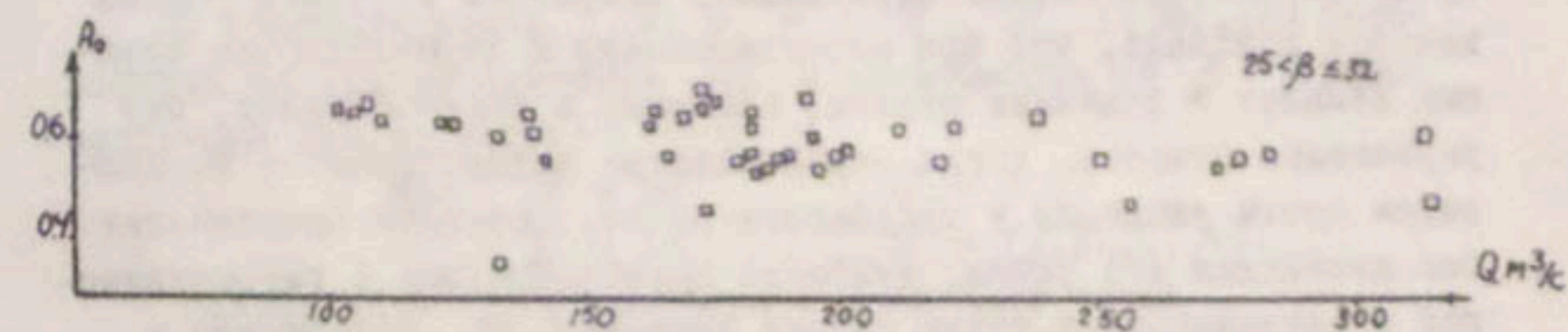
Отмеченные выше характерные особенности практически невозможно учесть при гидравлических расчетах каналов непосредственно путем выбора, например, коэффициентов или их корректировки. В связи с этим было принято решение при обработке данных измерений по Каракумскому каналу использовать все до единого, без классификации по каким-то отдельным признакам. Это позволило в первом приближении интегрально в численных значениях A , a_0 , K и m указанные выше характерные факторы.

Были построены графики связи $A = f_1(Q, \beta)$ и $a_0 = f_2(Q, \beta)$. На рисунке приведена часть графиков для значений β в диапазоне от 17 до 25, при которых поток в своем русле протекает гидравлически устойчиво, без раздвоения динамической оси с образованием парных винтовых (циркуляционных в поперечном сечении) течений, а также в диапазоне $25 < \beta \leq 32$, при котором отмеченная тенденция раздвоения динамической оси потока усиливается и при значениях $\beta = 32 \dots 33$ — становится устойчивой, что подтверждается появлением двух максимальных значений осредненных местных скоростей в изотах равных скоростей для сечения потока, построенных по данным измерений в действующих каналах /II/. Здесь $\beta = \frac{B_y}{h_{cp}}$ так называемый параметр формы русла.

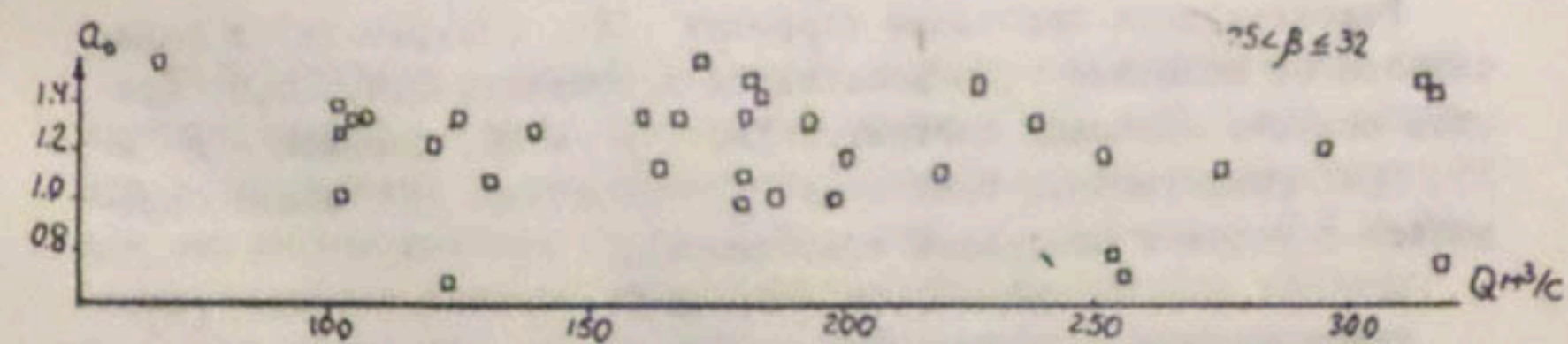
Рассматривая характер графиков связи Ia и Ib, можно отметить, что численно как A , так и a_0 не проявляют четкую зависи-



a)



b)



Графики связи: а - $A_0 = f(Q, \beta)$; б - $a_0 = f(Q, \beta)$.

мость от величины Q в диапазоне измеренных его значений (70...400 м³/с), но существенно зависят от β ; имеется слабо выраженная тенденция к уменьшению численных значений A с ростом Q (для α_0 эта тенденция имеет обратный знак - с ростом Q увеличивается).

Изучение скоростной структуры потока в действующих каналах (Кызылкумский в КазССР, Шават, Ташсака - в низовьях Амударьи) путем построения изоток осредненных скоростей с учетом режима наносов показало, что при проектировании и строительстве крупных каналов в земляных руслах, особенно в мелкопесчаных, без укрепления откосов, когда строительство осуществляется по очередям путем уширения и углубления русла, оставляя практически без изменения его уклон, наиболее целесообразные с гидравлической и экономической точек зрения значения β колеблются в пределах 20...35.

Нижний предел $\beta = 22...25$ рекомендуется принимать при расчетах первой очереди канала; при этих значениях устанавливаются значения $U_{дон}$ для данного грунта, гидравлично-экономически целесообразные уклоны канала по участкам и соответственные глубины.

Верхний предел рекомендуется принимать не более 30...32, учитывая, что эти значения неизбежно появятся при расчетах последующих очередей канала при его уширении и незначительном углублении (или когда h_{cp} остается без изменения).

Рекомендуемые численные значения A (см. рис. 1а) в зависимости от величины β колеблются в пределах 0,4...0,6. При этом меньшее значение соответствует $\beta = 20$, большее - $\beta = 35$. При промежуточных значениях β величину A можно определять с помощью следующей зависимости:

$$A = 0,14 + 0,013\beta. \quad (6)$$

При расходах $Q > 400$ м³/с для учета, как было указано выше, хотя и слабой, но бросающейся в глаза тенденции уменьшения A с ростом Q , рекомендуется вводить поправочный коэффициент, определяемый из приближенной зависимости

$$K = 1,02 - 0,00005 Q, \quad (7)$$

из которой вытекает, что при $Q = 400$ м³/с $K = 1$.

Обработка данных измерений по Каракумскому каналу в диапа-

зоне $\beta = 20 \dots 35$ показала, что зависимость (5а) дает удовлетворительные результаты при показателе степени уклона, равном 0,24, а не 0,25. Поэтому для расчетов рекомендуется зависимость (на степень при уклоне оказывает влияние наносный режим и значение β)

$$B_y = A \frac{Q^{0.5}}{i^{0.24}} \quad (8)$$

Из графиков связи $a_0 = f(Q, \beta)$ (рис. 16) установлены численные значения a_0 в зависимости от β , рекомендуемые для расчетов:

$$\begin{array}{ll} \text{при } \beta = 20 & a_0 = 0,8 \\ \beta = 35 & a_0 = (1,2 \dots 1,4). \end{array}$$

Зависимость (5) представим в следующем виде:

$$\frac{B_y}{h_{cp}} \cdot \lambda^{0.5} = 2 a_0 \quad (9)$$

Основываясь на анализе структуры потока (корреляции пульсационных скоростей течения в продольном и поперечном направлениях и данные о распределении средних скоростей по глубине), И.Ф.Карасев установил [4] существование квазимономерного потока, характеризуемого отсутствием внутренних условий для его расчленения, в следующих пределах:

$$1 < \beta \cdot \lambda^{0.5} < 4,5. \quad (10)$$

С.Х.Абальянц в своей работе [1] приводит характерные для крупных каналов в мелкопесчаных грунтах ($d_{cp} = 0,2$ мм) значения коэффициента гидравлического сопротивления, соответствующие скоростям течения (0,7...1,0) м/с: $\lambda = 0,009 \dots 0,014$. Они подтверждаются данными измерений на среднеазиатских каналах. При этих значениях λ из (10) вытекает, что гидравлическая устойчивость потока обеспечивается, если значения β находятся в следующих пределах:

$$(8,47 \dots 10,6) < \beta < (38,1 \dots 47,8).$$

Нижний предел β не вызывает сомнений, хотя при этих значениях β отмечаются интенсивные деформации русла по смоченному периметру в целом, приводящие в итоге к некоторому расплыванию профиля [12]. При значениях $\beta = (38 \dots 48)$, как показали построенные изотакхи осредненных скоростей по данным натур-

ных измерений в крупных каналах /II/, в потоке имеют место два и более "винтовых" течения, характеризующихся двумя и более максимумами местной скорости в поперечном сечении.

Зависимость (9) путем несложных преобразований, выражая коэффициент гидравлического трения через формулу Шези по Н.Н. Павловскому при значениях коэффициента шероховатости $\lambda = 0,020 \dots 0,025$, можно представить как морфометрическую:

$$\frac{B_y^{(0,8 \dots 0,83)}}{h} \approx 10 \dots 13.$$

На основе анализа данных натурных измерений на Каракумском канале для предварительных расчетов рекомендуется следующая уточненная зависимость:

$$\frac{B^{0,82}}{h_{cp}} = (9,5 \dots 12,5), \quad (II)$$

причем, цифра 9,5 принимается при значении $\beta = 25$, а 12,5 - для $\beta = 32$. Для промежуточных значений β значение переменной может быть определено путем интерполяции.

Последнее соотношение (II) интересно сравнить с известной обобщенной формулой С.Т.Алтунина /6/, предложенной им для естественных водотоков:

$$\frac{B_y^m}{h_{cp}} = K, \quad (I2)$$

где K - переменная величина для аллювиальных устойчивых в плане русел изменяется от 8 до 12, в среднем равно 10; на реках с легкоразмываемыми берегами K увеличивается до 16...20;

m - переменный показатель степени для руслообразующего расхода, изменяющийся от 1 до 0,5. Для равнинных и предгорных участков рек, русло которых сложено из песков, в том числе мелких, со спокойным протеканием потока m принимается равным 0,75...0,80.

С помощью зависимостей (8) и (II) определены численные значения B_y , h_{cp} и U при известных значениях уклона ($i = 1,5 \cdot 10^{-5}$; $2 \cdot 10^{-5}$ и $2,5 \cdot 10^{-5}$) и заданных расходах $Q = 700, 1000, 1270, 1800$ и $2400 \text{ м}^3/\text{с}$ для двух значений $\beta = 25$ и 32. Результаты вычислений сведены в табл. I и 2.

Таблица I

$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	$i^{0,24}$	$A = A_0 K_0$ при $\beta = 25$	B_y м	h_{cp} м	$\frac{B_y}{h_{cp}}$	U_{cp} м/с	$\omega = B_y h_{cp} C = \frac{U}{\sqrt{h_{cp} \cdot l}}$ м^2	$\eta = \frac{U}{c}$ по Форхгей- меру	$\eta = \frac{U}{c}$ по Ман- нингу	η при $h_{0,1}$
700	$(0,000010)^{0,24} =$	0,46	174,35	7,23	24,10	0,55	1260,55	0,028	0,0268	0,023
1000	0,0695	0,45	204,75	8,24	24,84	0,59	1687,14	0,028	0,0267	0,023
1270		0,44	225,60	8,98	25,26	0,63	2025,88	0,028	0,0265	0,0229
1800		0,43	262,49	10,10	25,98	0,68	2651,14	0,028	0,0266	0,0227
2400		0,42	296,05	11,16	26,52	0,73	3303,91	0,028	0,0264	0,0224
700	$(0,00002)^{0,24} =$	0,46	163,36	6,85	23,84	0,62	1119,01	0,0277	0,026	0,0228
1000	0,0745	0,45	191,00	7,79	24,51	0,67	1487,89	0,028	0,026	0,0228
1270		0,44	210,47	8,43	24,96	0,71	1774,26	0,028	0,026	0,0226
1800		0,43	244,87	9,55	25,64	0,76	2338,50	0,028	0,026	0,0227
2400		0,42	276,18	10,54	26,20	0,82	2910,93	0,028	0,026	0,0223
700	$(0,000025)^{0,24} =$	0,46	154,84	6,55	23,66	0,69	1014,20	0,027	0,025	0,0223
1000	0,0786	0,45	181,04	7,45	24,30	0,74	1348,74	0,0275	0,0257	0,0224
1270		0,44	199,49	8,07	24,71	0,78	1609,88	0,0276	0,0258	0,0221
1800		0,43	232,10	9,14	25,89	0,84	2121,39	0,0279	0,026	0,0224
2400		0,42	261,77	10,08	25,96	0,90	2638,64	0,028	0,0269	0,0222

Таблица 2

$Q,$	$i^{0,24}$	A при $\beta=32$ $A_0=0,556$	$A_0 K_0$	$B_y,$ м	$h_{cp},$ м	$\frac{B_y}{h_{cp}}$	$U_{cp},$ м/с	$\omega = B_y \cdot h_{cp} \cdot C = \frac{U}{\sqrt{h_{cp} \cdot i}}$	$\beta = 32$ $\frac{U}{C}$ по Фюрхгей- меру	$n = \frac{U}{C}$ по Manning- гу	$\frac{n}{h^{0,07}}$ при $h_{0,1}$
700	$(0,000015)^{0,24} =$	0,55	209,37	6,40	32,70	0,52	1339,90	53,06	0,0270	0,0257	0,0226
1000	$= 0,0695$	0,54	245,70	7,29	33,70	0,56	1791,15	53,84	0,0276	0,0258	0,0226
1270		0,53	271,76	7,92	34,30	0,59	2152,33	54,62	0,0276	0,0258	0,0225
1800		0,52	317,43	9,00	35,26	0,63	2856,87	54,31	0,0285	0,0260	0,0229
2400		0,50	352,44	9,81	35,92	0,68	3457,43	56,19	0,028	0,0260	0,0223
700	$(0,00002)^{0,24} =$	0,55	195,32	6,04	32,30	0,59	1179,73	53,63	0,0267	0,0251	0,0223
1000	$= 0,0745$	0,54	229,21	6,89	33,26	0,63	1579,25	54,78	0,0268	0,0251	0,0221
1270		0,53	253,52	7,47	33,80	0,67	1896,32	54,92	0,0270	0,0254	0,0222
1800		0,52	296,13	8,50	34,83	0,71	2517,10	54,61	0,0280	0,0261	0,0226
2400		0,50	328,79	9,27	35,50	0,79	3039,96	57,35	0,0272	0,0252	0,0217
700	$(0,000025)^{0,24} =$	0,55	185,13	5,78	32,02	0,65	1070,05	54,16	0,0262	0,0247	0,0220
1000		0,54	217,25	6,59	32,96	0,70	1431,67	54,68	0,0266	0,0250	0,0220
1270	$= 0,0786$	0,53	240,30	7,16	33,56	0,74	1720,54	55,22	0,0268	0,0251	0,0220
1800		0,52	280,68	8,14	34,48	0,78	2284,73	54,92	0,0276	0,0258	0,0224
2400		0,50	311,63	8,86	35,17	0,86	2761,04	57,71	0,0268	0,0249	0,0215

В ы в о д ы

1. Морфометрические зависимости для устойчивых русел крупных каналов в легкоразмываемых грунтах имеют структуру, аналогичную таковой для естественных водотоков. Численные значения коэффициентов и степеней, входящих в эти зависимости, должны быть подобраны на основе анализа данных натурных измерений в крупных каналах-аналогах. Приведенные в статье конкретные и численные значения A , a_0 , K и m соответствуют условиям крупных каналов в мелкопесчаных и супесчаных руслах типа Каракумского (практически осветленная вода, ограниченное движение донных наносов в виде гряд; строительство канала по очередям путем последовательного уширения и незначительного углубления при сохранении первоначальных уклонов).

2. При выводе зависимостей (8) и (II) за основу принята схематизация (модель) безнапорного турбулентного потока в двухмерной постановке, предложенная нами в работе / I /. Она может служить методической основой при решении ряда других гидравлических задач, в том числе задачи моделирования устойчивых участков песчаных каналов в размываемых моделях.

Список использованной литературы

1. Кадыров А.А. Структурные гидравлические модели открытых потоков и их приложения. В кн.: Сборник материалов по итогам научно-исслед. работ. Ташкентский политехнический институт, вып. 92.
2. Великанов М.А. Русловой процесс. - М.: Физматгиз, 1958 - 396с.
3. Гришанин К.В. Динамика русловых потоков. - Л.: Гидрометеонадат, 1979 - 312с.
4. Карасев И.Ф. Русловые процессы при переброске стока. - Л.: Гидрометеонадат, 1975. - 288 с.
5. Абальянц С.Х. Устойчивые и переходные режимы в искусственных руслах. - Л.: Гидрометеонадат, 1981. - 240 с.
6. Алтуниин С.Т. Регулирование русел. - М.: Сельхозиздат, 1982. - 352 с.
7. Алтуниин В.С. Деформация русел каналов. - М.: Колос, 1972. - 207с.

8. Никитин В.К. Турбулентный поток и процессы в придонной области. - Киев: Изд-во АН УССР, 1963. - 142 с.
9. Бернадский Н.М. Теория турбулентного потока и ее применение к построению течений в открытых водоемах. В кн.: Мат. по гидрологии, гидрографии и водоемам СССР. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1933, серия III, вып. XL.
10. Образовский А.С. Применение степенной зависимости к построению модели структурного механизма открытого турбулентного потока. - Тр. гидравлической лаборатории ВОДГЕО, вып. 4. - 1954.
11. Кадыров А.А., Нуритдинов З., Ирмухамедов Р. Натурные исследования формы русла и предельных скоростей течения на Кызылкумском магистральном канале. - Сб. науч. тр. /Среднеаз. НИИ ирригации, 1983, вып. 168, с. 128-143.
12. Мухамедов А.М., Жураев Т., Ишанов Х. Модельные исследования параметра формы русел песчаных каналов. - Сб. науч. тр. /Среднеаз. НИИ ирригации, 1983, вып. 168, с. 54-62.

XX
 XX

Д.А. Мухамедов, канд. техн. наук
 (САНИИРИ им. В.Д. Журиня)

НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БЕСПЛОТНОГО ВОДОЗАБОРА НА ЛМК КЫЗЫЛОРДИНСКОГО ГИДРОУЗЛА

Натурные исследования на Левобережном магготральном канале (ЛМК) Кызылординского гидроузла на участке отвода воды в межхозяйственный распределитель ЛМК-II^В проводились нами в течение последних трех лет с целью изучения кинематики потока и прогноза русловых деформаций на крупных каналах.

ЛМК Кызылординского гидроузла с максимальным головным расходом $Q_{\max} = 228 \text{ м}^3/\text{с}$ и длиной 89,9 км (без учета правой и левой веток) имеет пять перегораживающих сооружений и 65 водозаборов с суммарным забором воды порядка $100 \text{ м}^3/\text{с}$.

Исследуемый водозабор из ЛМК расположен между 4-м и 5-м перегораживающим сооружением. Расположение водозабора соответствует рекомендациям С.Т. Алтунина и других авторов [1,2,8], считающих (исходя из условий оптимального отбора воды и борьбы с донными наносами), что водозабор на криволинейном участке русла необходимо располагать у вогнутого берега. Проектные характеристики канала на данном участке следующие: уклон водной поверхности 0,00005, расход воды - $172 \text{ м}^3/\text{с}$ в начале участка (за 4-м перегораживающим сооружением) и $156 \text{ м}^3/\text{с}$ (перед 5-м перегораживающим сооружением), ширина канала по дну 35 м, максимальный водозабор в распределитель - $14 \text{ м}^3/\text{с}$.

Для ведения натурных исследований выбран участок длиной 1 км (500 м до отвода и 500 м ниже него). Весь участок разбит на 16 створов. Водозабор из канала осуществляется посредством бесплотного отбора в подводящий участок - "карман" - и далее, через пятисекционные щитовые отверстия, непосредственно в отвод. Угол отвода составляет 90° . Подводящий участок отвода крепле-

ний не имеет, а на данном участке магистрального канала имеется частичное крепление русла бетонными плитами: в начале только правого берега, а далее – только левого.

Натурные измерения, проводимые в соответствии с имеющимися нормативными материалами /5,6,7/, включали: проведение промеров и нивелировку русла канала в период стояния различных горизонтов воды; измерение уровней воды для определения продольного уклона водной поверхности; отбор проб донных отложений на различных участках канала; измерение скоростей течения воды по вертикали пятиточечным способом при помощи гидрометрических вертушек ГР-99 и ГР-21 на штанге. При этом вертушка с хвостовиком не закреплялась жестко на штанге, а перемещалась свободно по ней и за счет свободного вращения и наличия хвостовика устанавливалась по направлению течения потока.

Период работы канала приходится на апрель – сентябрь, причем постепенное наполнение канала до максимального расхода $228 \text{ м}^3/\text{с}$ и его опорожнение происходят в течение 15...20 дней, а в течение 3...4 месяцев в канале поддерживаются с небольшими отклонениями максимальные горизонты воды. Расходы воды непосредственно перед водозабором в этот период составляют 155...175, а величина водозабора в ЛМК – II^В $5...7 \text{ м}^3/\text{с}$. Уклоны водной поверхности составили 0,00008...0,00011, что в среднем вдвое превышает проектную величину.

Основные характеристики русла в исследуемых створах: максимальная глубина 3,5...5,5, средняя глубина 2,54...3,26, ширина канала по верху 53,5...67,5 м, площадь поперечного сечения 150...215 м^2 , смоченный периметр 72,3...95, гидравлический радиус 1,79...2,47 м, коэффициент формы русла 0,49...0,83.

На основании полученных эпюр распределения скоростей по вертикали, а также распределения донных и поверхностных скоростей в исследуемых створах установлено, что эпюра распределения поверхностных скоростей во всех измеренных створах (7...9) плавно увеличивается от левого берега (где расположен водозабор) к правому, достигая своего максимума на некотором расстоянии от него. Эпюра же донных скоростей имеет волнистый характер распределения и в ств.7 наблюдаются два ярко выраженных изгиба, а в створах 8 и 9 – по одному. Характер распределения скоростей по вертикали показывает, что в основном во всех из-

меренных вертикалях происходит увеличение скоростей от дна к поверхности потока, где отмечаются максимальные скорости, при этом $U_{дон} = 0,20 \dots 0,60$, а $U_{пов.} = 0,70 \dots 1,20$ м/с.

По данным натурных исследований установлено, что при наличии отвода на вогнутом берегу криволинейного участка канала (проходящего в легкоразмываемых несвязных грунтах) максимальные глубины располагаются ближе к выпуклому берегу канала, что отличается от традиционно известного расположения максимальных глубин и повышенных скоростей у вогнутого берега криволинейного участка русла, величины же скоростей потока у выпуклого берега также превышают скорости потока у вогнутого берега.

В самом отводе у верховой его грани наблюдается водоворотная зона, на наличие которой указывали некоторые авторы /1,2,8/. У низовой грани отвода проходит основной транзитный поток с повышенными скоростями, в результате чего на данном участке наблюдается зона размыва русла с глубиной до 1,5...1,8 м. У верховой же грани отвода, где расположена водоворотная зона, отмечается отложение наносов, состоящих в основном из мелких песчаных фракций.

На характер переформирования русла магистрального канала на исследуемом участке, кроме наличия водозабора, оказывает влияние ряд факторов: прохождение русла в легкоразмываемых песчаных грунтах, частичное крепление русла, наличие поворотов русла, превышение фактической величины уклона водной поверхности над проектной, наличие больших скоростей течения воды и др.

Общий характер русловых деформаций на данном участке проявляется в размыве верховой части берега и отложении наносов в низовой его части, размыве берега и отложении наносов в докной части канала, размыве у одного берега и отложении наносов у другого, размыве и уполаживании дна.

Русловые деформации различной величины наблюдаются на исследуемом участке, начиная со створа 6, и продолжаются до конечного створа 16.

Сравнение русловых переформирований на основе сопоставления планов участка за период май - август 1982 г. (первый период) и август 1982 г. - август 1983 г. (второй период) показывает, что увеличение зоны максимальных глубин в районе створов 7...10 и 12...13 в первом случае сменяется сокращением указанной зоны во вто-

ром, кроме того, во втором случае наблюдается увеличение зоны максимальных глубин на участке створов I4...I6.

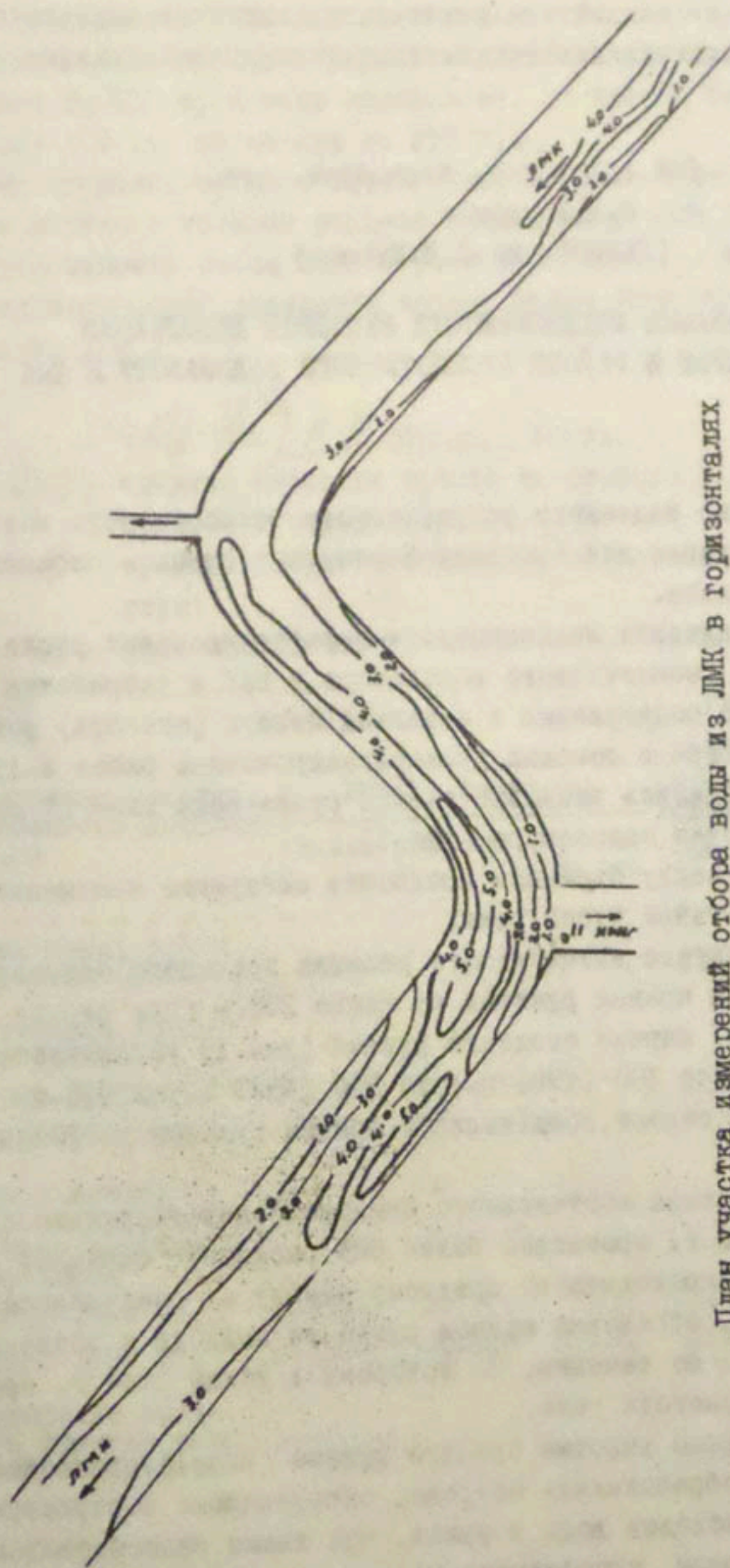
Это объясняется тем, что в течение первого периода наблюдаются максимальные расходы воды в канале и их постепенное снижение, а второй, более длительный период захватывает различные фазы работы канала: подъем и спад уровней, бездействие канала, наличие максимальных расходов воды. В качестве иллюстрации на рисунке представлен план участка измерений в горизонталях по данным исследований, проведенных в августе 1982г.

Подсчитанные суммарные объемы деформаций русла канала на различных его участках показывают, что на участке створов I...6 существенных деформаций не отмечается, на участке створов 6...I4 преобладает общий размыв русла, а с I4 до I6-го происходит отложение наносов. В общем же по участку за один год (второй период) отмечается небольшое превышение объема отложений над объемом размыва.

Суммарный объем деформаций, подсчитанных по участку за первый период, показывает, что при наличии в канале максимальных расходов и начальной сработке горизонтов воды на участке наблюдается общий размыв русла, а по истечении второго, более длительного, периода, включающего в себя различные фазы работы канала, суммарные объемы размыва и намыва отличаются на относительно небольшую величину, что указывает на относительный баланс наносов на данном участке.

Список использованной литературы

1. Алтуний С.Т. Регулирование русел рек при водозаборе. - М.: Сельхозгиз, 1950. - 248 с.
2. Алтуний С.Т. Водозаборные узлы и водохранилища. - М.: Колос, 1964. - 431с.
3. Алтуний В.С. Деформации русел каналов. - М.: Колос, 1972. - 120с.
4. Алтуний В.С. Мелиоративные каналы в земляных руслах. - М.: Колос, 1979. - 255с.
5. Методические рекомендации УТКС по сетевым русловым наблюдениям. - Л.: Гидрометеоиздат, 1981. - 112с.
6. Методические указания по проведению натурных гидравлических исследований на действующих земляных каналах. - М.: Совагипроводхоз, 1983. - 32с.



План участка измерений отбора воды из ЛМК в горизонталях
(с указанием глубин).

XX
 XX

Р.К.Уркинбаев, канд.техн.наук,
 Ш.Р.Хамдамов
 (САНИИРИ им.В.Д.Журина)

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ РУСЛОВОЙ ДЕФОРМАЦИИ р.АМУДАРЬИ В РАЙОНЕ БЕСПЛОТИННОГО ВОДОЗАБОРА В КМК

Обеспечение надежного регулируемого бесплотинного водозабора из Амударьи для орошения Каршинской степи – сложная инженерная задача.

В целях изучения интенсивности переформирования русла реки в районе бесплотинного водозабора в КМК и разработки мероприятий по поддержанию в меженный период (октябрь) устойчивого водозабора с помощью руслорегулировочных работ в 1982–1984 гг. проводились плановые съемки русла реки выше (3 км) и ниже (2 км) точки водозабора (рис. I)

За период между съемками произошли следующие изменения планового очертания русла реки.

1. В результате интенсивного размыва песчаного острова между средним и правым рукавом на длине 250 м (при ширине смыва до 300 м) ширина среднего рукава (рис. I) увеличилась во входном створе от 100 (1982 г.) до 250 (1983 г.) и 400 м (1984 г.), а в створе соединения с правым рукавом до 700 м (1984 г.).

2. В результате постепенного отмирания левого рукава (по которому в 1982 г. протекало более 60% расхода) основной речной поток стал проходить по среднему рукаву и, соединившись с правым рукавом, образовал единое русло на подходе к точке водозабора и ниже по течению, по которому в конце 1984 г. проходило до 90% расхода реки.

3. На головном участке правого рукава (рис. I) произошел изгиб русла и образовались острова, затрудняющие поступление значительных расходов воды в рукав, что также способствовало усилению тока воды, проходящего по среднему рукаву.

4. Прохождение основных расходов по среднему рукаву вызвало размыв левого берега в районе водозабора (на длине 1,5 км, по ширине до 600 м) и ниже водозабора, на правом берегу его (на длине 1,3 км, по ширине до 250 м).

Среднегодовой объем и интенсивность смыва берегов реки по длине и ширине в годовом разрезе приведены в табл. I.

Интенсивность смыва берега реки в зависимости от угла свала и гидравлических элементов потока может быть установлена по формуле [2]

$$S = 4,6 \left(1 - \frac{V_2^2}{V_1^2} \right) P \cdot V_1 \cdot \sin \alpha, \text{ м/сут.},$$

где V_1, V_2 - средние скорости потока на подходе и в створе вогнутого берега реки;

P - мутность воды на подходе к вогнутому берегу реки;

α - угол направления течения потока (угол свала).

Таблица I

Наименование участка, подверженного деформации	Полоса смыва, м			Объем смыва, тыс. м ³	Среднегодовая интенсивность смыва, см/сут.
	длина	ширина	высота от дна		
1. Пойма между левым и средним рукавом	800	75	3...4	210	0,20
2. Расширение среднего рукава					
а) 1982-1983 гг.	1950	100-250	3...4	1160	0,55
б) 1983-1984 гг.	1900	75	4...5	642	0,20
3. Размыв левого острова правого протока у точки водозабора					
а) 1982-1983 гг.	300	70	5...6	116	0,19
б) 1983-1984 гг.	1500	70-600	5...6	2475	0,82
4. Расширение среднего протока ниже точки водозабора	1300	250	5...6	1788	0,68

Для определения среднесуточной интенсивности смыва левого берега с 19.10 по 23.10.1983 г. при следующих гидравлических элементах потока: средняя скорость - $V = 0,72$ м/с; средняя глубина - $H = 2,2$ м; мутность - $\rho = 2,65$ кг/м³ и угол свала потока к берегу $\alpha = 30^\circ$ проводились наблюдения, результаты которых показали, что интенсивность деформации (смыва) за указанный период изменилась от 4 до 1,17 м/сут (табл.2).

Таблица 2

Период наблюдения, ч	Полоса смыва, м		Высота берега от среднего дна, м	Объем смыва, тыс.м ³	Интенсивность смыва, м/сут
	длина	ширина			
18	1350	3	2	8,1	4
53		3	2	8,1	1,36
20,5		3	2	8,1	3,51
53		4	5	27,0	1,81
20,5		3	5	20,3	2,93
53		4	6	32,4	1,81
20,5		1	6	8,1	1,17

Русловые деформации, как правило, происходят в сочетании с глубинными (размывом дна или его подъемом в результате отложения наносов). Для получения достаточно достоверных данных о глубинных деформациях нами на участке русла реки длиной около 800 м были выполнены съемки дна эхолотом "Кубань" (рис.2) и получены данные об изменении среднего дна во времени (интенсивность глубинной деформации) на исследуемом участке реки (табл.3).

Из приведенных данных (табл.3) видно, что глубинные деформации в районе бесплотинного водозабора в ЮМК происходят непрерывно и связаны с изменением расхода (водности) и уровня воды. При этом в период паводка наблюдается подъем среднего дна, хотя в отдельные его периоды, особенно в начале половодья, возможно небольшое (по сравнению с подъемом) понижение, обуславливаемое размывом. После окончания паводкового периода и в начале

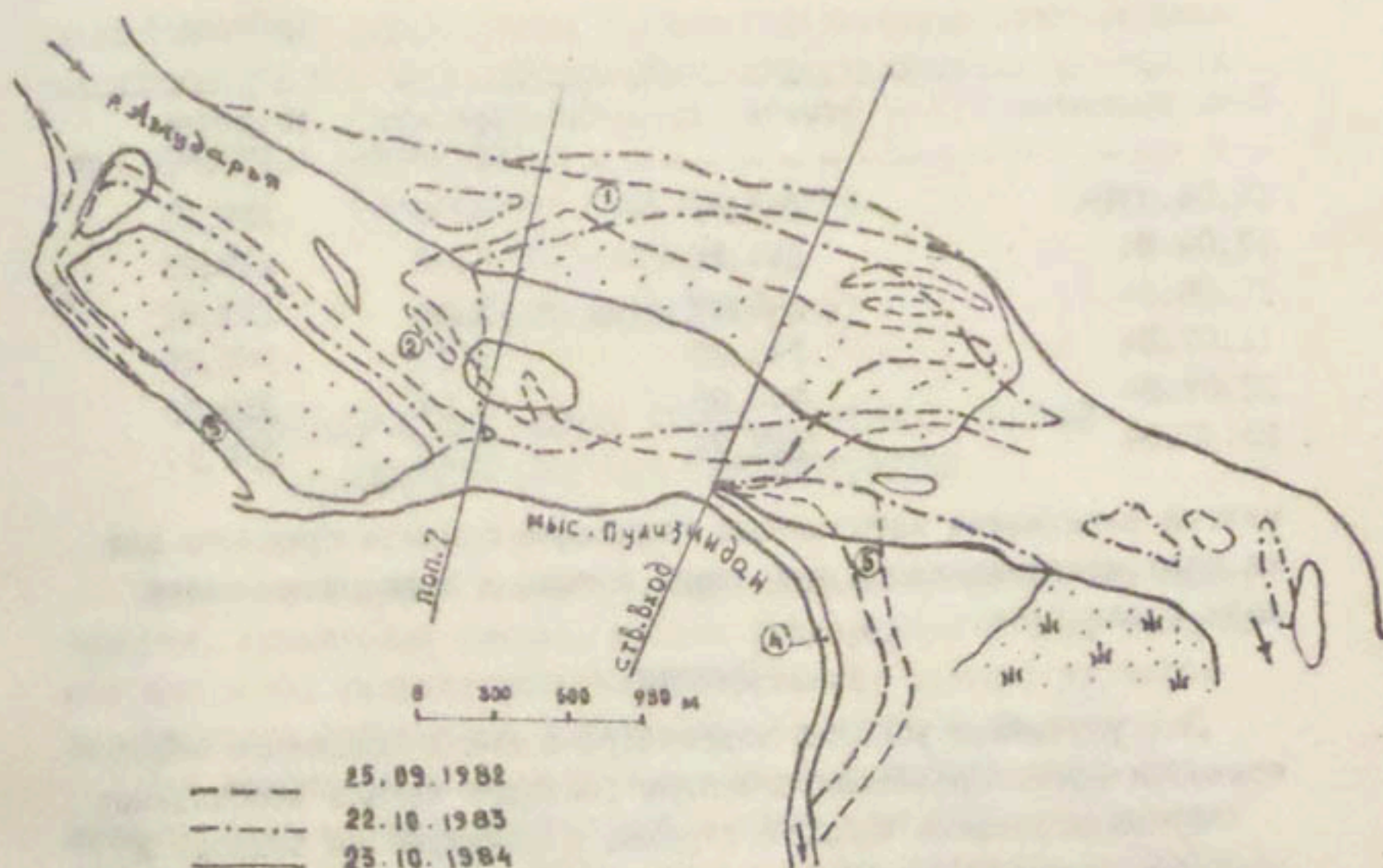


Рис. 1. План участка р. Амударья в районе водозабора в КМК: 1 - левый рукав; 2 - средний рукав; 3 - правый рукав; 4 - "новый" водозабор; 5 - "старый" водозабор.

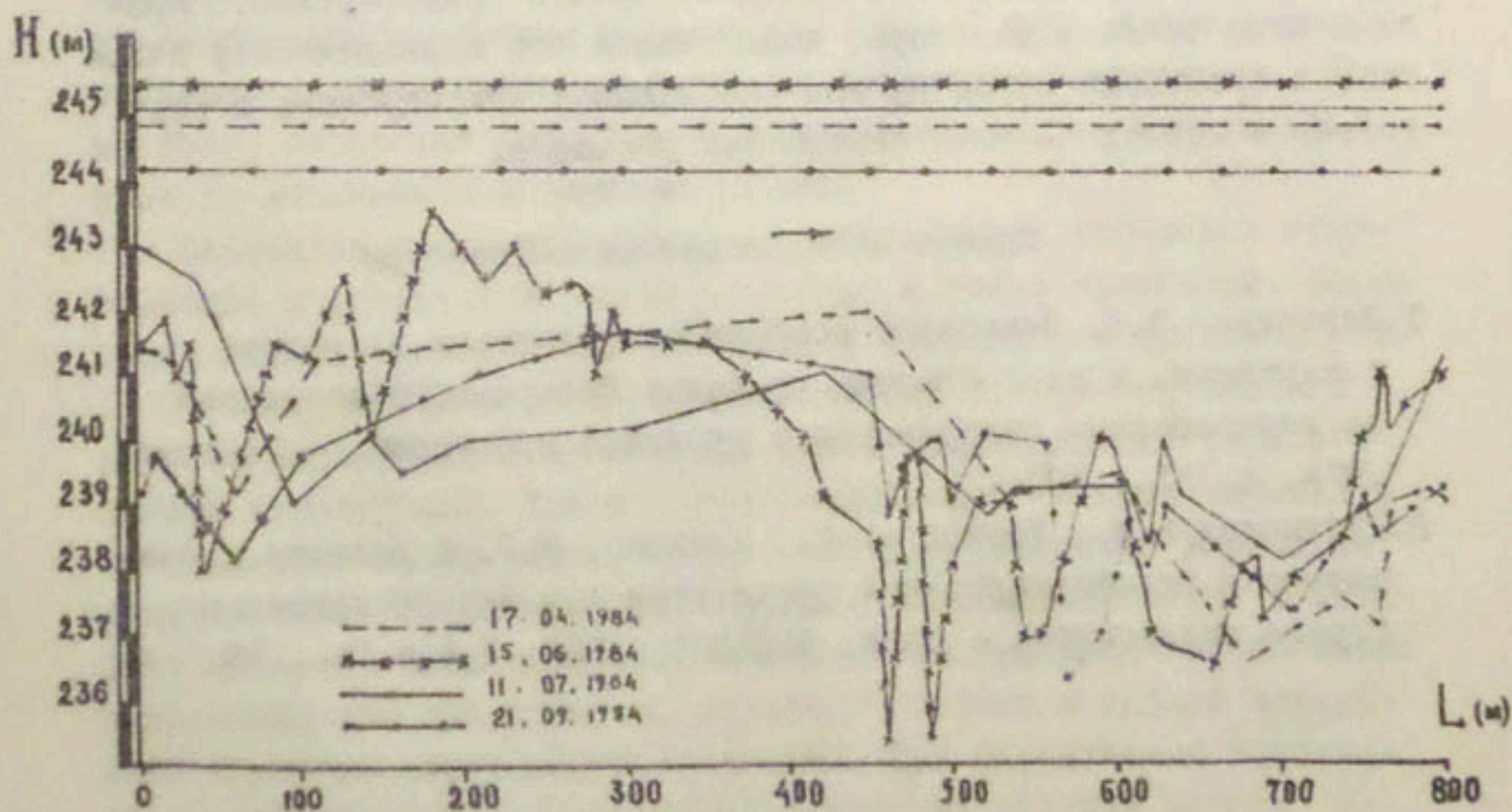


Рис. 2. Продольный профиль реки в районе бесплотинного водозабора в КМК (от поперечника 7 до входа).

Таблица 3

Дата измерения	Отметка горизонта	Средняя глубина, м	Отметка среднего дна
15.04.1984	243,75	3,90	239,85
17.04.84	244,59	4,96	239,63
15.06.84	245,27	5,66	239,61
11.07.84	245,20	5,20	240,00
21.09.84	244,00	5,00	239,00
23.10.84	243,78	5,21	238,57

межени начинается интенсивное понижение отметки среднего дна за счет меандрирования руслового потока в легкоразмываемом ложе русла реки.

Выводы

Для улучшения условий водозабора в КМК и повышения обеспеченности гарантированных плановых расходов канала необходимо:

- а) поддерживать большие глубины в Амударье на подходе к входному створу канала;
- б) систематически производить руслорегулировочные работы в русле среднего рукава;
- в) предотвращать возможность отмирания правобережного протока ниже точки водозабора, поддерживая его периодической очисткой и производя сброс пульпы работающими земснарядами в реку только в период высоких паводковых расходов.

Список использованной литературы

1. Лапшенков В.С. Некоторые особенности русловых процессов р.Амударьи. В кн.: Сборник докладов Всесоюзного совещания по водозаборным сооружениям и русловым процессам. - Ташкент: 1974, с.353...360.
2. Мухамедов А.М., Уркинбаев Р., Хамдамов Ш.Р. К расчету интенсивности переформирования русла реки при непосредственном сбросе гидросмеси. - Докл. ВАСХНИЛ, 1985, № 4, с.34...36.

XX
 XX

М.Мирзиятов канд.техн.наук,

А.Э.Туракулов

(САНИИРИ им.В.Д.Журина)

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ БЕРЕГОЗАЩИТНОГО СООРУЖЕ- НИЯ С ПОВЫШЕННОЙ ШЕРОХОВАТОСТЬЮ

Деформация русла часто приводит к катастрофическому смыву берегов, культурных земель, эрозии плодородной почвы, разрушению построек, гидротехнических сооружений, выводит из строя водозаборные сооружения, оросительные каналы и др.

Для защиты берегов от размыва ранее использовались различного рода местные сооружения и крепления (преимущественно сипайные, таштуганые, тетраэдрные, а также каменная наброска), выполненные из местных материалов. Применяемые в последующие годы железобетонные и бетонные плиты и монолитная бетонная облицовка также не отвечали практическим требованиям, так как из-за больших скоростей течения ($V \geq 2...3$ м/с) и истирания крупными донными наносами бетонная облицовка разрушалась. Кроме того, основания бетонных сооружений не всегда закладывались до максимальной глубины размыва.

Сказанное свидетельствует о необходимости улучшения существующих и создания новых конструкций и типов креплений, более совершенных, экономически выгодных и удобных для производства.

В лаборатории защитно-регулирующих сооружений САНИИРИ ведутся исследования по подбору типов рациональных, берегозащитных конструкций. Трест "Сурхангидрострой" запроектировал и на основании наших рекомендаций построил несколько вариантов защитных сооружений на реках Сурхандарьинской области. В 1982-1984 гг. нами были проведены натурные исследования построенных сооружений для выявления их защитных свойств и выбора наилучшего варианта конструкций креплений. При определении устойчивости камней на откосе и сопротивления их водному потоку использовали метод торможения потока, создавая повышенную шеро-

ховатость в виде камня, валуна, бутобетонных поперечных б-лок, деревьев, посаженных на откосе. В процессе исследований установлены значения сопротивления камней и валунов, свай и бетонных кубиков, уложенных на откосе берега реки. Предложе-на зависимость допустимой скорости потока для камня, располо-женного на подводном откосе,

$$U_{max} = \sqrt{2gd \left(\frac{\gamma_n - \gamma}{\gamma} \right)} \sqrt{\frac{2 K_{\phi}}{3(C_x + C_z + C_{\phi} \alpha)}} \quad (I)$$

где U_{max} - максимальная скорость, которой способен сопро-тивляться камень, находящийся на подводном откосе;

d - средний диаметр камня;

γ_n и γ - удельный вес камня и воды;

$K_{\phi} \approx 0,35$ - коэффициент формы камня;

$C_x \approx C_y \approx 0,43$ - коэффициент лобового сопротивления;

$C_z \approx 0,13$ - коэффициент подъемного усилия.

Пределом применимости формулы (I) является угол откоса, равный углу естественного откоса грунта α_{ep} ; при $\alpha > \alpha_{ep}$ грунт откоса сползает. Для грунта берегов р. Сурхандарьи (гра-вий, мелкий камень, галька) угол естественного откоса равен $\alpha_{ep} = 35 \dots 40^\circ$.

По предложенной формуле можно установить крупность камней по высоте откоса при заданных продольной скорости и глубине потока. При глубине потока $h = 4,0$ м, скорости $U_{ep} = 3,0$ м/с и угле откоса $\alpha = 30^\circ$ диаметр камня у уреза воды $d_1 = 0,2$, в середине откоса $d_2 = 0,4$ и у подошвы откоса $d_3 = 0,6$ м.

Исследования показали, что при резком свале потока на от-кос камни крупностью $0,5 \dots 0,6$ м не могут удержаться на от-косе и начинают сползать к его подошве. В целях создания ус-тойчивой конструкции сооружений разработаны варианты крепления берега с использованием местных строительных материалов. Посад-кой деревьев на откосе также создают дополнительное сопротив-ление потоку.

Крупные камни и валуны, вдавленные в грунт откоса и засы-панные суглинком, создают дополнительную сопротивляемость сдвигу, опусканию или опрокидыванию, сводя к минимуму гидро-

динамические воздействия потока.

Исследованиями установлено, что в самом начале попадания воды на сооружение размыв происходит очень интенсивно, особенно при скоростях потока, значительно превышающих размывающие скорости для данного грунта. В начальный момент времени между выступами камней и стволами деревьев образуются микроворонки размыва, вызванные повышенными скоростями течения. В нижних частях откоса такие явления не наблюдаются. С увеличением уровня воды в паводок размыв дна распространяется по глубине закрепленного откоса и ширине русла реки. При продольном обтекании откоса увеличение глубин потока распространяется по всей длине закрепленного участка. Размытый материал выносится из этой продольной зоны размыва и откладывается ниже по течению в виде ленточных гряд наносов.

Форма и глубина размыва дна у защитно-регулирующих сооружений зависят, главным образом, от коэффициента застройки и стеснения, угла свала потока к сооружению, состава грунта дна и кинетичности потока (числа Фруда). При проведении натурных исследований была определена величина глубины размыва в зоне действия берегозащитного сооружения с учетом перечисленных факторов (таблица).

Основными задачами гидравлического расчета являются определение сопротивления, создаваемого продольной шероховатой дамбой, установление ширины тьюфака и глубины местного размыва в зависимости от угла свала потока к продольному защитному сооружению.

Тело, расположенное в потоке, оказывает сопротивление течению воды $/I/$, т.е.

$$R = \eta \frac{U^2}{g} \omega, \quad (2)$$

где η — коэффициент обтекания тела;
 ω — площадь миделевого сечения тела.

Величина сопротивления зависит от скорости движения потока и размеров обтекаемого тела. Подсчеты показали, что сопротивление течению воды валуна равно $R_0 = 0,055$ кг/м; свай — $R_c = 0,08$ кг/м; и куба — $R_k = 0,092$ кг/м.

Значение коэффициента застройки конструкции защитного со-

Натурные и модельные данные гидравлических элементов потока на реках
Тупаланг и Сурхандарья

$Q, \frac{M^3}{C}$	H_{max}, M	h, M	$\frac{H_{max}}{h}$	$\frac{U_i}{M/C}$	$\frac{U_\delta}{M/C}$	$\frac{U_i}{U_\delta}$	$U_\delta^2 \left[U_\delta - U_i \right] P = \frac{U_\delta - U_i}{U_\delta}$	U_i^2	gh	gH_{max}	$F_{r1} = \frac{U_\delta^2}{gh}$	$F_{r2} = \frac{U_i^2}{gH_{max}}$	α
р. Тупаланг (бытовые условия)													
126	1,01	0,70	1,44	1,44	2,07				6,86		0,30		
158	0,8	0,77	1,04	0,65	0,42				7,55		0,056		
174	1,72	1,29	1,34	1,05	1,1				12,64		0,087		
р. Тупаланг с защитными конструкциями													
172	0,72	0,60	1,20	0,8	1,22	0,66	1,49	0,42	0,34	0,64	5,89	7,06	0,25 0,091
172	1,14	0,9	1,27	0,85	1,29	0,66	1,66	0,63	0,49	0,72	8,82	11,17	0,19 0,064
153	1,10	0,95	1,16	0,62	1,12	0,55	1,25	0,63	0,57	0,38	9,31	10,78	0,13 0,035
153	1,15	1,0	1,15	0,92	1,15	0,8	1,32	0,23	0,2	0,85	9,8	11,27	0,13 0,075
128	0,9	0,70	1,28	0,75	1,43	0,73	2,05	0,68	0,47	0,56	6,86	8,82	0,3 0,063
92	1,68	0,54	1,07	0,55	1,02	0,54	1,04	0,47	0,46	0,30	5,29	6,66	0,17 0,045
187	1,06	0,8	1,32	0,81	1,45	0,70	2,10	0,64	0,44	0,66	7,84	10,39	0,27 0,063
р. Сурхандарья с новыми конструкциями													
228	1,13	1,0	1,13	0,99	1,40	0,72	1,96	0,41	0,29	0,98	9,8	11,07	0,2 0,088
270	1,02	0,88	1,16	1,25	1,54	0,81	2,37	0,29	0,19	1,56	8,62	10,0	0,27 0,156
150	0,65	0,65	1,0	0,55	1,15	0,48	1,32	0,6	0,52	0,30	6,37	6,37	0,20 0,047

Продолжение таблицы

Q $\frac{H_{max}}{H}$	H_{max} m	h m	$\frac{H_{max}}{h}$	U_i m/c	$\frac{U_i}{U_c}$	U_c^2	$U_i - U_c$	$P = \frac{U_i - U_c}{U_c}$	U_i^2	$g h$	$g H_{max}$	$Fz_1 = \frac{U_i^2}{g h}$	$Fz_2 = \frac{U_c^2}{g H_m}$	α
2,6	1,4	1,85	1,33	2,3	0,58	5,29	0,97	0,42	1,77	13,72	25,48	0,385	0,07	45°
1,9	1,1	1,72	1,2	2,1	0,57	4,41	0,9	0,43	1,44	10,78	18,62	0,409	0,077	38°
1,3	1,0	1,3	0,69	1,4	0,49	1,96	0,71	0,51	0,48	9,8	12,74	0,2	0,038	
0,84	0,65	1,29	0,45	0,96	0,47	0,92	0,51	0,53	0,2	6,37	8,23	0,144	0,024	60°
1,22	0,5	2,44	0,45	1,54	0,29	2,38	1,09	0,71	0,2	4,9	11,96	0,485	0,017	30°
0,5	0,42	1,19	0,25	0,74	0,34	0,55	0,49	0,66	0,06	4,12	4,9	0,133	0,012	35°
1,0	0,60	1,66	0,8	1,22	0,65	1,49	0,42	0,34	0,64	5,88	9,8	0,253	0,065	
1,14	0,90	1,27	0,85	1,29	0,66	1,66	0,44	0,34	0,72	8,82	11,17	0,188	0,064	35°
1,40	0,95	1,16	0,81	1,12	0,72	1,26	0,31	0,28	0,66	9,31	10,78	0,135	0,061	
1,15	1,0	1,15	0,92	1,15	0,8	1,32	0,23	0,25	0,85	9,8	11,27	0,135	0,075	35°
0,92	0,82	1,12	0,81	1,12	0,72	1,25	0,31	0,28	0,66	8,04	9,02	0,155	0,073	
1,0	0,80	1,25	0,81	1,15	0,70	1,32	0,34	0,30	0,66	7,84	9,8	0,168	0,067	

Модель с новыми конструкциями (Q, H и U даны в л/с, см и см/с)

16	5	3,2	14	30	0,47	900	16	0,53	196	4900	15680	0,18	0,012	
19	8	2,4	60	100	0,6	10000	40	0,40	3600	7840	18620	0,13	0,19	
26	14	1,85	90	120	0,75	14400	30	0,25	8100	13720	25480	1,04	0,32	

оружения находится из уравнения

$$P = \frac{U_\delta - U_i}{U_\delta} . \quad (3)$$

Опытные значения P для исследованных конструкций приведены в таблице.

Скорость потока при повышенной шероховатости сооружения определяется по зависимости

$$U = (1 - P) U_\delta . \quad (4)$$

Ширину защитного сооружения проектируют с двойным откосом в зависимости от максимальной глубины потока, т.е.

$$l = (H_p - H_{op}) \sqrt{1 + m^2} , \quad (5)$$

Глубина местного размыва в зависимости от кинетичности потока, застройки сооружения и угла свала потока к берегу для конструкции защитного сооружения определяется по формуле

$$\frac{H_{max}}{h} = 24 F_z^{0,63} P^{0,65} \alpha^{1,13} . \quad (6)$$

Как видно из приведенных данных, наличие повышенной шероховатости на откосе сооружения в виде валунов и деревьев создает дополнительное сопротивление обтекающему их потоку, способствует гашению энергии и скорости потока и уменьшает глубину местного размыва.

Конструкции защитных сооружений, построенные на реках Сурхандарья, Тупаланг, Дашнаабад и Шерабад, успешно защищают берега от размыва. Общая длина их составляет более 20 км. Полученный экономический эффект от внедрения – более 1260 тыс. руб.

Список использованной литературы

1. Избаш С.В., Халдре Х.Ю. Гидравлика перекрытия русел рек. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1959. – 208с.
2. Туракулов А.Э., Мирзиятов М. Конструкции берегозащитных сооружений с повышенной шероховатостью для условий предгорных участков р.Сурхандарья. Сб. науч. тр./Среднеаз.НИИ ирригации, Ташкент, 1984, с. 140–147.

Я.С.Мухамедов, О.Н.Тихонова
(САНИИРИ им.В.Д.Журина)

ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ПОТОКА ПРИ ПЕРЕМЕННОМ РЕЖИМЕ В КАНАЛАХ С МАШИНЫМ ВОДОПОДЪЕМОМ

Забор воды в Каршинский магистральный канал (КМК) осуществляется с помощью бесплотинного водозабора, расположенного у скалистого мыса Пулизиндан. Подводящая часть КМК делится на три участка.

Головной участок канала длиной 1,4 км имеет незначительную ширину $B = 55...61$ м. Скорость потока U изменяется в зависимости от периода и достигает 0,7...1,2 м/с. Благодаря большой транспортирующей способности потока здесь осаждаются наносы крупнее 0,1 мм (до 28 % от объема поступивших наносов). Доке участка канала сложено известняком.

За скальным участком расположен отстойник длиной 3,6 км, шириной от 150 до 220 м глубиной от 1,5 до 8,5 м. Осаждение наносов в отстойнике происходит вследствие уменьшения транспортирующей способности потока, в первую очередь за счет выпадения крупных частиц. Здесь осаждаются наносы с $d_{cp} = 0,1...0,015$ мм. Интенсивность осаждения зависит от объема резервной емкости отстойника.

За отстойником находится подводящий канал длиной 15,8 км, основные характеристики которого приведены в работе / 5 /. Нами сделана попытка определения коэффициента гидравлического сопротивления потока C для этого участка. Применение формулы Шези при расчете коэффициента C для данного участка канала сопряжено с определенными трудностями. В настоящее время, как известно, отсутствует единая концепция по вопросу о сопротивлении в руслах рек и каналах, как нет единого мнения о выборе формулы для определения коэффициента гидравлического сопротивления. Имеющиеся в настоящее время результаты натурных и модельных исследований по сопротивлению русел, сведенные в эмпирические и полуэмпирические формулы, в ряде случаев не отвечают

практическим требованиям. Кроме того, большинство гидроморфометрических зависимостей между элементами руслового потока и расчетных формул для коэффициентов сопротивления C и λ получено по материалам модельных исследований для условий плоских потоков с подвижным дном. Предпочтение данному методу исследований обычно отдается вследствие некоторого недоверия к качеству полевых гидрометрических материалов. Поэтому формулы для C и λ не могут быть применены при оценке сопротивления движению в естественных речных руслах и каналах без соответствующей проверки.

Режим жидкого и твердого стока на изучаемом участке имеет ряд особенностей, отличающих его от равномерного.

Подводящая часть ИМК работает при подпорном режиме, образуемом первой насосной станцией (средний уклон дна $\mathcal{J}_g$ изменяется от 0,09 до 0,11‰, в то время как уклон водной поверхности $\mathcal{J}$ — от 0,01 до 0,06 ‰), что способствует снижению скоростей в канале.

Уровенный режим в подводящем канале определяется уровнем р.Амударьи. Уклон водной поверхности зависит от состояния канала и числа одновременно работающих агрегатов. С увеличением последних уклон водной поверхности увеличивается.

Расход воды в канале зависит только от числа одновременно работающих насосных агрегатов и конструктивных особенностей первой насосной станции. Часто земляной участок Каршинского канала работает не в полную силу своей пропускной способности. Отношение измеренных расходов воды Q к пропускной способности канала Q_p изменяется от 0,28 до 1,592. Q_p для равномерного режима определяется по формуле

$$Q_p = C_p \omega \sqrt{R \mathcal{J}},$$

где C_p — коэффициент гидравлического сопротивления, вычисленный по формуле Г.В.Железнякова;

$\omega, R, \mathcal{J}$ — соответственно измеренные площадь поперечного сечения, гидравлический радиус, уклон водной поверхности потока.

Режим твердого стока определяется мутностью Амударьи у точки водозабора в Каршинский магистральный канал и состоянием канала. В межениный период, когда мутность Амударьи незначитель-

на ($\rho = 1...2 \text{ кг/м}^3$) осаждение поступивших наносов происходит, в основном, в пределах головного участка канала и отстойника. Земснаряды полностью справляются с очисткой поступивших наносов. Поток из отстойника поступает иногда переосветленным, в результате чего происходит размыв земляного участка канала.

В паводок, когда мутность Амударьи увеличивается ($\rho = 2...6 \text{ кг/м}^3$ и более), земснаряды не справляются с работой по созданию резервной емкости для осаждения наносов. В этот период число одновременно работающих насосных агрегатов (а следовательно, и транспортирующая способность потока) увеличивается, в результате значительная часть наносов (до 30 % от объема поступивших) транзитом проходит отстойник и осаждается на земляном участке канала.

Таким образом, земляной участок канала работает в трех режимах потока в отношении взвешивания наносов, определяемых отношением фактической мутности (ρ) к критической ($\rho_{кр}$).

При $\rho / \rho_{кр} < 1$ - размывающий режим;

$\rho / \rho_{кр} = 1$ - критический;

$\rho / \rho_{кр} > 1$ - заиляющий.

Для изучения закономерностей изменения гидравлических сопротивлений в руслах канала были проведены специальные натурные исследования.

По трем створам канала было обработано 63 измеренных расхода воды в диапазоне изменения гидроморфометрических параметров:

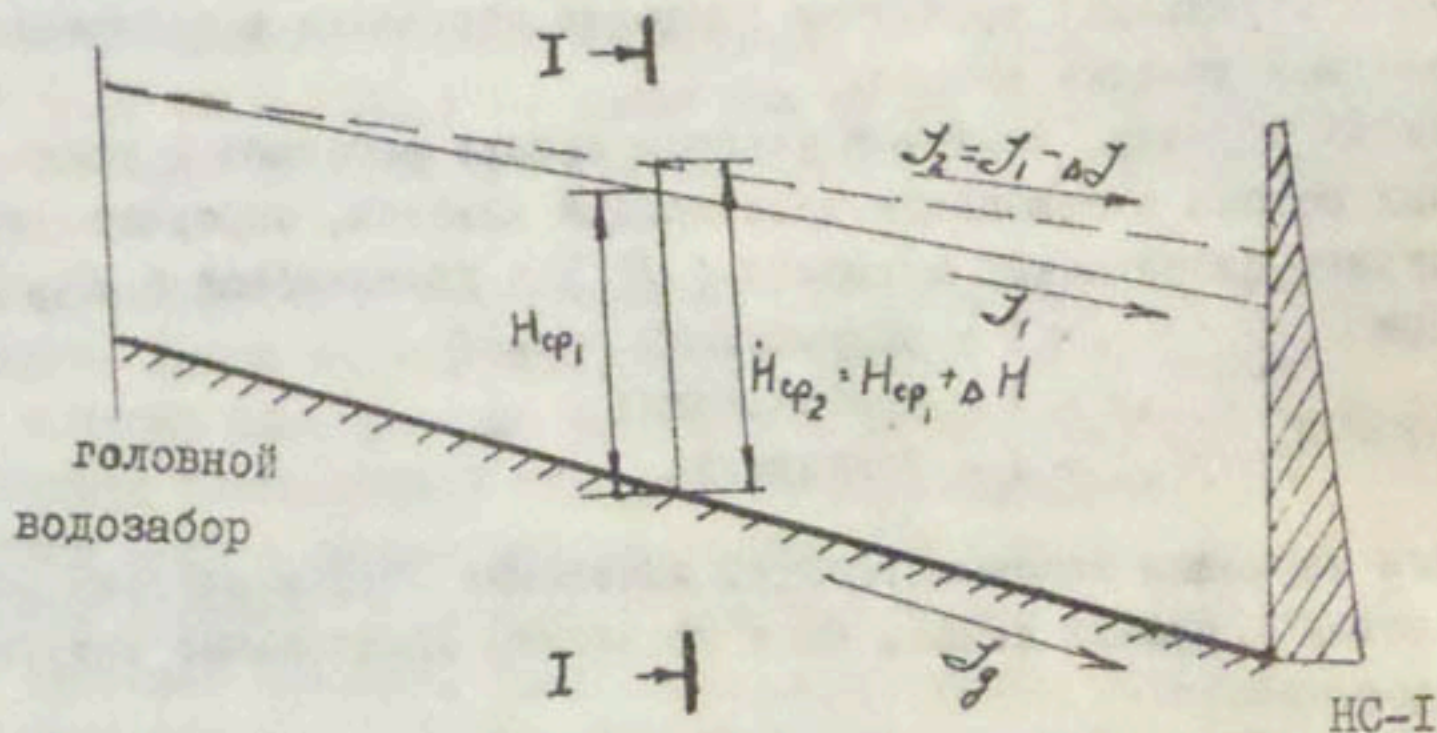
$U = 0,17...0,73 \text{ м/с}$; $H_{ср} = 1,7...5,25 \text{ м}$; $J = 0,01...0,06 \text{ ‰}$; $Q = 47,3...233 \text{ м}^3/\text{с}$.

Обработка гидрометрических данных заключалась в нахождении по формуле Шези скоростного множителя $C = \frac{U}{\sqrt{RJ}}$, где U - средняя скорость в сечении, м/с; R - гидравлический радиус, м; J - уклон водной поверхности.

Для определения закономерностей изменения скоростного коэффициента с глубиной наполнения русла анализировалась зависимость скоростного коэффициента Шези C от гидравлического радиуса R . Для всех створов тесная зависимость C от R отсутствовала. На поле точек намечалась некоторая тенденция к обратной связи, причем, нижняя граница соответствовала минимальным расходам, верхняя - максимальным.

Отсутствие зависимости $C = f(R)$ объясняется следующим. Как сказано выше, расход на исследуемом участке канала определяется числом одновременно работающих агрегатов. Рассмотрим работу канала в сечении I-I (рисунок) при включении всех шести насосных агрегатов ($Q_1 = N Q_a = 6 \cdot 40 = 240 \text{ м}^3/\text{с}$). Если считать условия в головной части водозабора постоянными, то в сечении I-I поток занимает площадь ω_1 , ширина потока по урезу воды B_1 , средняя глубина потока H_{cp1} , уклон водной поверхности J_1 , скорость потока U_1 . По формуле Шези определяем скоростной коэффициент $C = C_0$.

При отключении одного из агрегатов расход потока резко уменьшается: $Q_2 = (N - 1) \cdot Q_a = 5 \cdot 40 = 200 \text{ м}^3/\text{с}$,



что приводит к снижению потерь напора и уклона водной поверхности. Поток в сечении I-I в этом случае занимает площадь $\omega_2 = \omega_1 + \Delta \omega$; ширина потока по урезу $B_2 = B_1 + \Delta B$; средняя глубина $H_{cp2} = H_{cp1} + \Delta H_{cp}$; уклон водной поверхности $J_2 = J_1 - \Delta J$; скорость потока $U_2 = U_1 - \frac{Q_a}{\omega_2}$. Вычисленный при новых условиях коэффициент скорости $C_2 < C_1$. При отключении всех агрегатов $C = 0$.

Изменения геометрических размеров сечения при отключении одного агрегата сравнимы с ошибками измерений, поэтому ими можно пренебречь. Тогда одному и тому же гидравлическому радиусу R соответствуют различные значения гидравлических сопротивлений потока C при изменении расхода.

На основании изложенного можно сделать вывод, что в каналах с машинным водоподъемом для определения коэффициента гидравли-

ческого сопротивления C нельзя применять формулы, связывающие C только с геометрическими размерами русла — гидравлическим радиусом R и коэффициентом шероховатости N , т.е. формулы типа $C = f(R, n)$, $C = f(H_{cp}, n)$, $C = f(H_{cp}, \Delta)$.

К.В.Гришанин в своей работе [1] делает вывод, что... "главные свойства потока выражаются совокупностью двух безразмерных величин (критериев подобия): числа Фруда ($\frac{V^2}{gH}$) и отношения глубины к ширине сечения (H/B), т.е.

$$C = f(F_z, H/B)^n. \quad (1)$$

Графики зависимости $C = f(F_z)$, построенные по измеренным расходам, показали тесную связь между коэффициентом гидравлического сопротивления C и числом Фруда F_z . В каждом створе наметились три кривые по типу режима потока в отношении взвешивания наносов. Для первого створа, где интенсивность русловых процессов наибольшая, три кривые наиболее ярко выражены.

Для учета влияния неравномерности режима потока, образуемой за счет подпора насосной станцией, предлагаем в формулу (1) ввести параметр $\frac{\omega}{\omega_p}$, где ω_p — площадь сечения, которую занял бы поток при равномерном режиме, когда уклон дна равен уклону водной поверхности; ω — площадь сечения, занимаемая потоком в натуральных условиях, т.е.

$$C = f(F_z, H/B, \omega/\omega_p). \quad (2)$$

При обработке на ЭВМ марки БЭСМ-4М данных натуральных измерений для трех режимов потока в отношении взвешивания получены следующие эмпирические зависимости.

$$\text{Для режима заиления } (\rho / \rho_{кр} \geq 1) \quad (3)$$

$$C = 77,1 F_z^{0,004} \cdot (H/B)^{0,096} \cdot (\omega/\omega_p)^{-0,978},$$

коэффициент корреляции $\gamma_{xy} = 0,999$.

$$\text{Для критического режима } (\rho / \rho_{кр} = 1)$$

$$C = 52,7 F_z^{0,297} (H/B)^{-0,397} \cdot (\omega/\omega_p)^{0,086},$$

коэффициент корреляции $\gamma_{xy} = 0,943$.

Для режима размыва ($\rho / \rho_{кр} < 1$)

$$C = 74,6 \cdot \gamma_z^{0,050} \cdot (H/B)^{0,037} \cdot (\omega/\omega_p)^{-0,764} ,$$

коэффициент корреляции $\gamma_{xy} = 0,985$.

Выводы

1. Расход воды в каналах с машинным водоподъемом не всегда равен пропускной способности канала.

2. Методика определения истинных значений коэффициента шероховатости n по зависимости $C = \frac{1}{n} R^y$ при работе канала ниже пропускной способности дает завышенные значения этого коэффициента.

3. При определении коэффициента гидравлического сопротивления потока C необходимо различать тип русловых процессов: размыв, критический, заиление.

4. Существующие формулы для определения коэффициента гидравлического сопротивления выведены для равномерных режимов и не отражают особенностей гидравлических процессов при переменном режиме в каналах с машинным водоподъемом.

5. Нами предложена следующая структурная формула для определения коэффициента гидравлического сопротивления потока в земляных каналах, работающих в переменном режиме:

$$C = f(\gamma_z, H/B, \omega/\omega_p).$$

Список использованной литературы

1. Гришанин К.В. Основы речной гидравлики. - В кн.: Речная гидравлика и русловые процессы. - М.: 1976, ч. I, с. 3..24.
2. Железняков Г.В. Теория гидрометрии. - Л.: Гидрометеопиздат, 1976. - 342 с.
3. Зудина Н.И., Прохоренко С.И. Об особенностях гидравлических сопротивлений в руслах блуждающих рек. - Труды IV Всесоюзного гидрологического съезда, 1976, т. II, с. 272-279.

А.Б.Дмитриев

(САНИИРИ им.В.Д.Журина)

ОТМОСТКА НА УЧАСТКАХ ПЕРЕФОРМИРОВАНИЯ ГРАВЕЛИСТО- ГАЛЕЧНИКОВЫХ РУСЕЛ РЕК

Под отмосткой подразумевается постепенное укрупнение состава поверхностного слоя донных отложений. В бытовых условиях на реках, не имеющих базального слоя, отмостка имеет сезонное значение: формируется в меженный период, а разрушается во время весенних и летних паводков под воздействием наносонесущего потока. При регулировании русел, а также в процессе общего размыва отмостка переходит в разряд структур многолетнего формирования и приобретает значение показателя устойчивости донных отложений на размыв.

В существующих методах расчета размыва гравелисто-галечниковых отложений, разработанных С.Т.Алтуниным и И.А.Бузуновым [1], А.В.Магомедовой, Ц.Б.Мирцхулава [2] и В.С.Лапшенковым [3], отмостка оценивается по изменению состава отложений на одном или нескольких фрагментах русла. Площадь каждого из таких фрагментов принимается равной $\omega = 1 \text{ м}^2$.

Расчетная глубина размыва на фрагментах зависит от укрупнения состава наносов на поверхности отложений, т.е.

$$H_p = \frac{\omega}{\sum f_i (\rho_{0,i} - \rho_{0,i} \eta_i)} , \quad (1)$$

где n - число фракций, принятое при определении фракционного состава отложений;

f_i - площадь укрывистости фракций;

$\rho_{0,i}$ - распределение массы грунта по фракциям (на каждый метр отложений);

η_i - вероятность вымыва фракций, изменяющаяся в пределах $0 \leq \eta \leq 1$.

Применение формулы (1) осложняется отсутствием исчерпывающих данных о связи площади проекции частиц (F) на дно с их формой, а также данных, отражающих соотношение вымываемых и неотриваемых масс донных отложений разной крупности.

В методах Алтунина и Бузунова, Магамедовой и Мирцхулавы допускается условная замена реальных частиц на равновеликие шары. Формирование отстойки рассчитывается по упрощенной схеме: допускается, что происходит поочередный полный вымыв ($\eta = 1$) одной или нескольких мелких фракций, при этом остальные более крупные наносы остаются в состоянии неотриваемой массы ($\eta = 0$).

В методе Лапшенкова установлены эмпирические зависимости массы, площади проекции и укрупненности частиц от среднего диаметра. Уравнения Лапшенкова в системе СИ будут иметь вид:

$$C = 885 d_{cp}^{2.86} \quad (2)$$

$$F_i = 2 d_{cp}^{2.23} \quad (3)$$

$$f_i = \frac{2.2 \cdot 10^{-3}}{d_{cp}^{2.83}} \quad (4)$$

В.С.Лапшенков предполагает, что при полном вымыве мелких фракций необходимо учитывать закономерный частичный вымыв и более крупных наносов, т.е. в пределах диаметров нескольких фракций вероятность вымыва уменьшается от 1 до 0.

Для повышения точности расчетов размыва гравелисто-галечниковых русел необходимо путем исследований установить динамику изменения вымыва из отстойки наносов разной крупности.

Указанная задача решалась в лаборатории отдела русл САННИРИ в 1981-1984 гг.

Для оценки крупности вымываемых наносов был введен относительный диаметр:

$$d_{отн} = d_i / d_{100} \quad (5)$$

где d_i - диаметр любой частично вымываемой фракции;
 d_{100} - диаметр наиболее крупной в составе полностью (на 100%) вымытых фракций.

В процессе исследований вымыв наносов из гравелисто-галечниковых грунтов рассматривался как случайное явление,

зависимое от многих факторов и, следовательно, подчиняющееся нормальному закону распределения. Поэтому формула для определения плотности распределения вымыва принималась в виде / 4 /

$$\varphi_u(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\frac{u^2}{\sigma^2}}, \quad (6)$$

где u - функция отклонения с центром $\bar{x}$ и дисперсией σ^2

$$u = \frac{x - \bar{x}}{\sigma}. \quad (7)$$

Вероятность случайных явлений находится как интеграл от плотности их распределения:

$$\Phi_u(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{1}{2}\frac{u^2}{\sigma^2}} du \quad (8)$$

Для вычисления интеграла (8) применялась специальная функция ошибок:

$$\operatorname{erf} z = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-\alpha^2} d\alpha, \quad (9)$$

где z - переменная величина, значение которой устанавливалось опытным путем в зависимости от относительного диаметра ($d_{отн}$);

α - аргумент принятой специальной функции.

Опыты по изучению процесса формирования отмостки проводились в двух плоских лотках: лоток I - с постоянным уклоном, длиной 28 и шириной 0,16 м; лоток 2 - с переменным уклоном, длиной 7,5 и шириной 0,28 м. Применялись грунты из гравия размером от I до 28 мм.

Моделировались реки Чирчик, Вахш и Сох (фрагменты стрежневой части русла). Масштабы изменялись от 1:5 до 1:50 н.в. Применялись расходы воды от 1,4 до 45 л/с, числа Фруда - от 0,2 до 0,6, числа Рейнольдса - более 9000.

В процессе опытов велись регулярные наблюдения за расходами и уровнями воды в начальном и конечном створах, а также по длине фрагментов. Основное внимание уделялось отбору проб наносов на сбросе лотка и из состава отмостки.

Вероятность вымыва определялась в результате сопоставления состава наносов в пробах, взятых на сбросе лотка и из отмостки, с составом исходного материала. Показателем отсутствия формирования отмостки считалось совпадение составов проб, отобранных на сбросе лотка и из отмостки, с составом исходного материала.

Всего выполнено II опытов. Первые два опыта были методическими, девять основных подразделялись на две серии. В первой серии (опыты 3...9) исследовалось формирование отмостки на фрагментах

участков русел в нижних бьефах гидроузлов и ниже карьерных выработок. Во второй серии (опыты IО и II) отмытка изучалась при регрессивном размыве на участках выше карьерных разработок.

Полученные в опытах 3...II значения вероятности вымыва в зависимости от относительного диаметра представлены на рисунке.

Статистическая обработка этих данных показала, что они описываются семейством кривых по формуле

$$\eta = 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\chi} e^{-\alpha^2} d\alpha \quad (IО)$$

Было установлено, что величина χ связана с относительным диаметром следующим образом:

$$\chi = 0,394 \psi (d_{отн} - 1), \quad (II)$$

где ψ — поправочный коэффициент, отражающий увеличение в отмытке числа частиц с наиболее выгодной по отношению к потоку ориентацией плоскости двух наибольших диаметров.

Точки, полученные для начального этапа формирования отмытки, сгруппировались у кривой I (рисунок), построенной по $\psi = 1$. Конечный этап процесса отразила кривая II с $\psi = 0,38$.

Расположение точек выше кривой II объясняется существенным различием частиц гравелистых наносов по параметру формы при одних и тех же средних диаметрах. Поэтому для расчетов отмытки на завершающем этапе ее формирования будет более правильным рекомендовать не кривую II, а огибающую кривую III, для которой переменная χ связана с относительным диаметром зависимостью

$$\chi = 0,15 (d_{отн} - 1,5) \quad (I2)$$

Поле экспериментальных данных графика на рисунке делится кривыми I, II, III на зоны "А, Б, В". Каждая из этих зон соответствует определенной устойчивости наносов на дне размываемого русла. При взаимодействии потока с наносами на уровне, соответствующем зоне "А", размывающая способность потока обеспечивает вымыв почти всех фракций, т.е. $\eta \approx 1,0$. При переходе условий размыва в зону "Б" происходит формирование отмытки. Левая граница этой зоны (кривая I) соответствует начальным этапам процесса, правая (кривая II) — завершающим.

Необходимо отметить, что в область "Б" легли точки, полученные при изучении отмытки в условиях прямого (опыты серии I) и регрессивного (опыты серии 2) размывов. Следовательно, механизм формирования отмытки в этих процессах одинаковый.

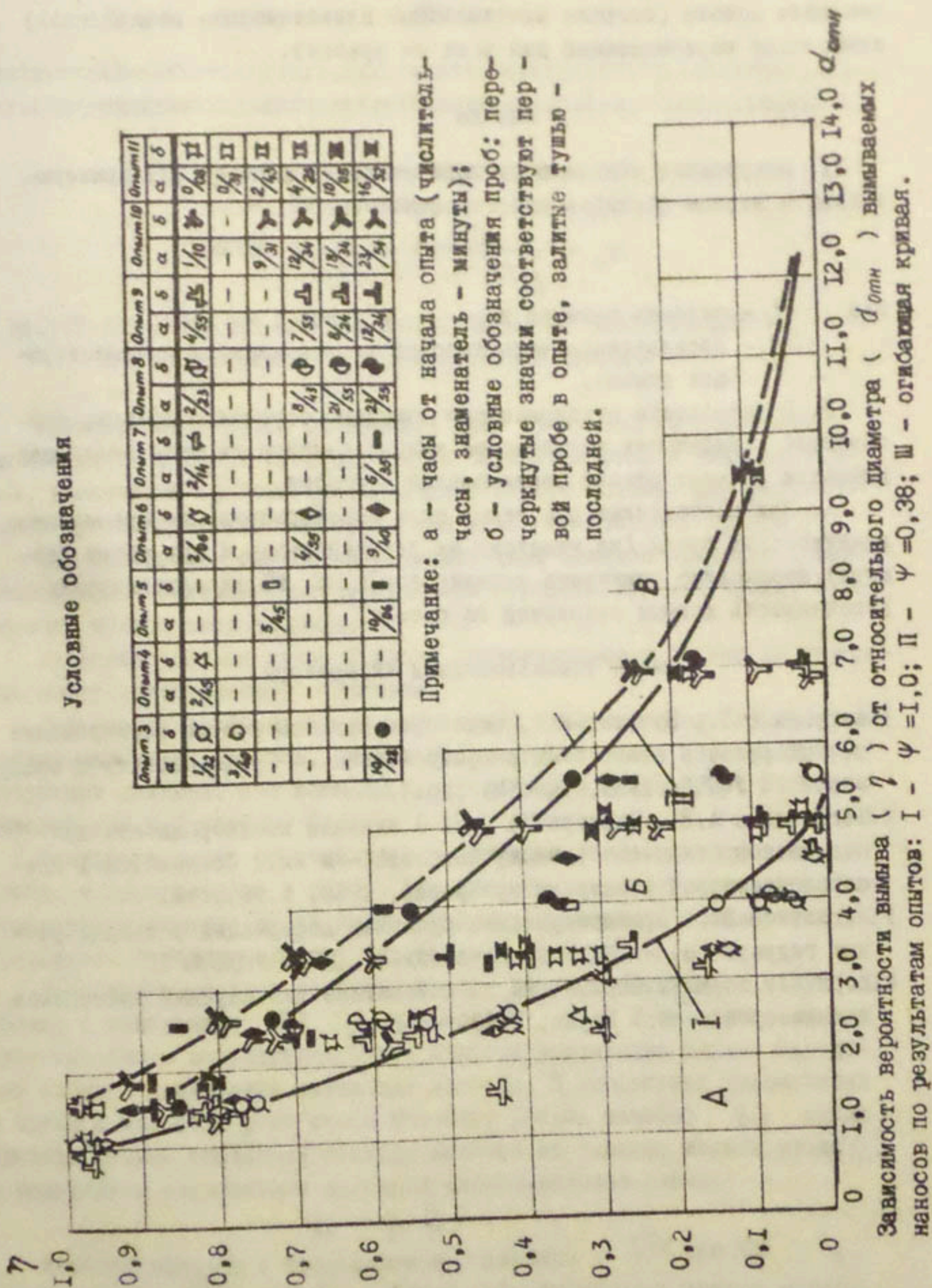
Зона "В" характеризует устойчивое состояние отмытки, когда

Условные обозначения

Опыт 3		Опыт 4		Опыт 5		Опыт 6		Опыт 7		Опыт 8		Опыт 9		Опыт 10		Опыт 11	
а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б
1/12	2/15	2/15	2/15	2/15	2/15	2/15	2/15	2/15	2/15	2/15	2/15	2/15	2/15	2/15	2/15	2/15	2/15
2/15	2/15	2/15	2/15	2/15	2/15	2/15	2/15	2/15	2/15	2/15	2/15	2/15	2/15	2/15	2/15	2/15	2/15
3/15	3/15	3/15	3/15	3/15	3/15	3/15	3/15	3/15	3/15	3/15	3/15	3/15	3/15	3/15	3/15	3/15	3/15
4/15	4/15	4/15	4/15	4/15	4/15	4/15	4/15	4/15	4/15	4/15	4/15	4/15	4/15	4/15	4/15	4/15	4/15
5/15	5/15	5/15	5/15	5/15	5/15	5/15	5/15	5/15	5/15	5/15	5/15	5/15	5/15	5/15	5/15	5/15	5/15
6/15	6/15	6/15	6/15	6/15	6/15	6/15	6/15	6/15	6/15	6/15	6/15	6/15	6/15	6/15	6/15	6/15	6/15
7/15	7/15	7/15	7/15	7/15	7/15	7/15	7/15	7/15	7/15	7/15	7/15	7/15	7/15	7/15	7/15	7/15	7/15
8/15	8/15	8/15	8/15	8/15	8/15	8/15	8/15	8/15	8/15	8/15	8/15	8/15	8/15	8/15	8/15	8/15	8/15
9/15	9/15	9/15	9/15	9/15	9/15	9/15	9/15	9/15	9/15	9/15	9/15	9/15	9/15	9/15	9/15	9/15	9/15
10/15	10/15	10/15	10/15	10/15	10/15	10/15	10/15	10/15	10/15	10/15	10/15	10/15	10/15	10/15	10/15	10/15	10/15
11/15	11/15	11/15	11/15	11/15	11/15	11/15	11/15	11/15	11/15	11/15	11/15	11/15	11/15	11/15	11/15	11/15	11/15
12/15	12/15	12/15	12/15	12/15	12/15	12/15	12/15	12/15	12/15	12/15	12/15	12/15	12/15	12/15	12/15	12/15	12/15
13/15	13/15	13/15	13/15	13/15	13/15	13/15	13/15	13/15	13/15	13/15	13/15	13/15	13/15	13/15	13/15	13/15	13/15
14/15	14/15	14/15	14/15	14/15	14/15	14/15	14/15	14/15	14/15	14/15	14/15	14/15	14/15	14/15	14/15	14/15	14/15
15/15	15/15	15/15	15/15	15/15	15/15	15/15	15/15	15/15	15/15	15/15	15/15	15/15	15/15	15/15	15/15	15/15	15/15

Примечание: а - часы от начала опыта (числитель - часы, знаменатель - минуты);

б - условные обозначения проб: перерывные значки соответствуют первой пробе в опыте, заливке тушью - последней.



Зависимость вероятности вымыва (γ) от относительного диаметра ($d_{отн}$) вымываемых наносов по результатам опытов: I - $\psi = 1,0$; II - $\psi = 0,38$; III - огибающая кривая.

скорость потока (включая максимальные пульсационные воздействия) становится неразмывающей для всех ее фракций.

Выводы

1. Полученные данные позволяют уточнить формулу (I) применительно к этапам формирования отмытки:

$$H_j = \frac{\omega}{\sum_{i=1}^n f_i (P_{oi} - P_{oi} \prod_{j=1}^i \eta_j)}$$

где H_j — глубина размыва на j -м этапе;
 $\prod \eta_j$ — произведение вероятностей вымыва на всех предшествующих этапах.

2. В результате экспериментов получено семейство кривых, описывающих зависимость вероятности вымыва наносов от относительного диаметра на всех этапах формирования отмытки.

3. При составлении расчетных схем переформирования гравелисто-галечниковых русел (на участках их регулирования и при общем размыве) необходимо учитывать наличие зон "А, Б, В", характеризующих устойчивость донных отложений на размыв.

Список использованной литературы

1. Алтунин С.Т., Бузунов И.А. Некоторые вопросы теории формирования речных русел в связи с их регулированием. — Труды института сооружений АН УзССР, 1955, вып. УП, стр. 52...54.
2. Магомедова А.В., Мирцхулава Ц.Е. О влиянии неоднородности при оценке сопротивления размыву наносов. — В кн.: Сб. докл. на X Всесоюзной селевой конференции. Ереван, 1968, с. 96...98.
3. Лапшенков В.С. Прогнозирование русловых деформаций в бьефах речных гидроузлов. — Л.: Гидрометеоиздат, 1979. — 165с.
4. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. — М.: Наука, 1970. — 514с.

Х.А. Ирмухамедов, канд. техн. наук,

Н.О. Пироговская

(САНИИРИ им. В.Д. Журина)

РАСЧЕТ ФОРМИРОВАНИЯ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ НА ПОВОРОТЕ ПРИ ЗАРЕГУЛИРОВАНИИ РУСЛА ПОПЕРЕЧНЫМИ ДАМБАМИ

Регулирование русла р. Амударьи ниже Туямуянского гидроузла производится в целях предупреждения блуждания реки и размыва берегов, увеличения транспортирующей способности потока. Для регулирования русла используются траверсные дамбы из местного грунта [1].

При построении системы траверсных дамб большое значение имеет установление закономерностей процесса переформирования русла, стесненного поперечными дамбами.

Зарегулированное русло в плане прямолинейное и только на поворотах имеет криволинейное очертание.

Для расчета деформации прямолинейных участков русла существует достаточно много методов, дающих удовлетворительное совпадение с натурными данными. Это методы, предложенные И.И. Леви [2], К.И. Россинским и И.А. Кузьминым [3].

Несколько иначе обстоит дело с методами расчета деформаций для русла, криволинейного в плане. Для решения задачи переформирования поперечного сечения русла постоянной ширины можно воспользоваться уравнением баланса наносов, построенным следующим образом.

Рассмотрим участок поворота русла. Возьмем бесконечно малую призму с основанием $dx dy$ и высотой h . Угол скоса θ от прямолинейного направления будем считать достаточно малым. Определим избыток количества выходящих наносов. В продольном направлении в связи с малостью угла скоса погонный расход наносов q_x можно принять равным объемному расходу наносов на единицу ширины русла q_r . В радиальном направлении погонный расход наносов равен:

$$q_y \approx q_r \operatorname{tg} \theta$$

Избыток наносов в продольном направлении - $\frac{\partial q_x}{\partial x} dx dy$, в радиальном - $\frac{\partial q_y}{\partial y} dx dy$. Общий избыток наносов должен компенсироваться соответствующим понижением дна в единицу времени, т.е.

$$dx dy \left(- \frac{\partial z}{\partial t} \right),$$

где z_g - отметка дна русла;

$\frac{\partial z_g}{\partial t}$ - понижение дна в единицу времени за счет размыва русла.

Теперь можно составить уравнение баланса наносов, которое после некоторых элементарных преобразований приобретет вид:

$$\frac{\partial q_{\tau}}{\partial x} + \frac{\partial(y q_{\tau} \operatorname{tg} \theta)}{y \partial y} = - \frac{\partial z_g}{\partial t}, \quad \text{м/с.} \quad (1)$$

Будем считать, что расход наносов вдоль потока не изменяется ($\frac{\partial q_{\tau}}{\partial x} = 0$). Угол скоса определяется следующим образом:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{U_{\theta}}{U_{\tau}} = \frac{0,72 \frac{h C^2 U_{cp}}{\tau g} [0,055 - 0,242(1-\eta)^2 + 0,134(1-\eta)^4 - 0,0086(1-\eta)^6]}{U_{cp} [1,12 - 0,36(1-\eta)^2]}$$

При $\eta = 0$

$$\operatorname{tg} \theta = -0,0432 \frac{h C^2}{\tau g},$$

где η - относительное расстояние от дна, определяемое равенством $\eta = \frac{z}{h}$.

Введя в (1) выражение для $\operatorname{tg} \theta$ и заменив dy на $d\eta$, а z_g на h , получим

$$-0,0432 \frac{C^2}{g} \frac{\partial(q_{\tau} h)}{\tau \partial \eta} = - \frac{\partial h}{\partial t}, \quad \text{м/с} \quad (2)$$

Подставив в (2) выражение погонного расхода наносов в реке по формуле Тузова / 4 /, полученной на основе исследований русловых деформаций в мелкопесчаных руслах,

$$q_{\tau} = 0,00004 \frac{Q h}{b d (\frac{U^2}{g h})^{0,5}}, \quad \text{м}^2/\text{с}, \quad (3)$$

где Q - расход воды в реке, м³/с;

d - средний диаметр донных отложений, мм;

b - половина ширины русла, м;

U - скорость потока, м/с;

g - ускорение свободного падения, м/с²;

h - глубина потока, м;

получим

$$0,17 \cdot 10^{-5} \frac{C^2 Q}{\sqrt{g} d b} \frac{\partial h^{2,5}}{\tau \partial \eta} = - \frac{\partial h}{\partial t}.$$

После дифференцирования по $\partial \eta$ имеем:

$$-4,25 \cdot 10^{-6} \frac{C^2 Q h^{1,5}}{\sqrt{g} d b U_{cp} \tau} \frac{\partial h}{\partial \eta} = - \frac{\partial h}{\partial t}. \quad (4)$$

После введения обозначения

$$A = 4,25 \cdot 10^{-6} \frac{C^2 Q}{\sqrt{g} d b U_{cp}} \quad (5)$$

уравнение (4) примет вид:

$$-A \frac{h^{1.5}}{\gamma} \frac{\partial h}{\partial \gamma} = - \frac{\partial h}{\partial t} \quad (6)$$

Полученное уравнение является квазилинейным уравнением первого порядка в частных производных, точное интегрирование которого, а также определение вида производной функции $h=f(\gamma, t)$ по начальным данным достаточно сложно. Поэтому воспользуемся методами приближенного интегрирования, а точнее методом конечных разностей.

Интегрирование (6) легко выполнить, если заменить переменную величину γ на γ_{cp} (радиус кривизны динамической оси потока), что вполне допустимо для сравнительно плавных поворотов русла. Тогда уравнение (6) примет вид:

$$- \frac{A h^{1.5}}{\gamma_{cp}} \frac{\partial h}{\partial \gamma} = - \frac{\partial h}{\partial t} \quad (7)$$

Решение уравнения (7) равнозначно решению системы

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial \gamma}{\partial t} = \frac{\partial \gamma}{\partial \left(\frac{A h^{1.5}}{\gamma_{cp}} \right)} \quad (8)$$

Частными интегралами системы будут:

$$\begin{cases} \gamma - \frac{A h^{1.5}}{\gamma_{cp}} = const \\ h = const \end{cases}$$

Общее решение системы можно представить в виде

$$\mathcal{F}\left(\gamma - \frac{A h^{1.5} t}{\gamma}, h\right) = 0 \quad (9)$$

где $\mathcal{F}$ — произвольная функция, вид которой определяется начальными условиями.

В начальный момент времени поперечное сечение русла имеет параболическую форму, определяемую уравнением

$$h = h_{max} \left[1 - \frac{(\gamma - \gamma_{cp})^2}{b^2} \right] \quad (10)$$

здесь h_{max} — максимальная глубина для данного поперечного сечения русла.

По аналогии можно предположить, что искомое решение будет иметь следующий вид:

$$h = h_{max} \left[1 - \frac{\left(\gamma - \gamma_{cp} - \frac{A h^{1.5} t}{\gamma_{cp}} \right)^2}{b^2} \right] \quad (11)$$

Найдем $\frac{\partial h}{\partial \gamma}$:

$$\frac{\partial h}{\partial \gamma} = - \frac{2 h_{max}}{b^2} \left(\gamma - \gamma_{cp} - \frac{A h^{1.5} t}{\gamma_{cp}} \right) \quad (12)$$

Подставив выражение (12) в уравнение (7), получим

$$\frac{A\sqrt{h}}{z_{cp}} \frac{2h_{max}}{t^2} \left(z - z_{cp} - \frac{A h^{3/2} t}{z_{cp}} \right) = - \frac{\partial h}{\partial t}. \quad (13)$$

Выражение (13) позволяет строить изменения поперечного сечения по времени под влиянием поперечной циркуляции при постоянной ширине русла по урезу воды.

Расчет проводится для разных значений расхода Q . После получения изменения глубин на нулевом шаге делается поправка значений глубины и производится новый расчет для следующего значения времени с использованием полученных глубин. Расчет ведется до тех пор, пока изменения глубин не станут величинами достаточно малыми.

Расчет выполняется на ЭВМ ЕС-1035, составлен алгоритм расчета и программа на языке РЛ - I.

Пример расчета

Расчет ведется для участка шириной $b = 550$ м, радиус кривизны динамической оси русла - 1500 м, внешний радиус кривизны - 1775, внутренний - 1225 м; средняя глубина на входном участке - 2,33, максимальная - 3,26 м; средняя скорость - 1,72 м/с; средний диаметр наносов - 0,2 мм; $g = 9,81$ м/с²; время изменялось от 12 до 120 ч, расход воды - от 500 до 3500 м³/с с шагом 500 м³/с.

Расчет выполнялся полностью для одного расхода. На графике приведено изменение поперечного сечения русла для расхода 2000 м³/с.

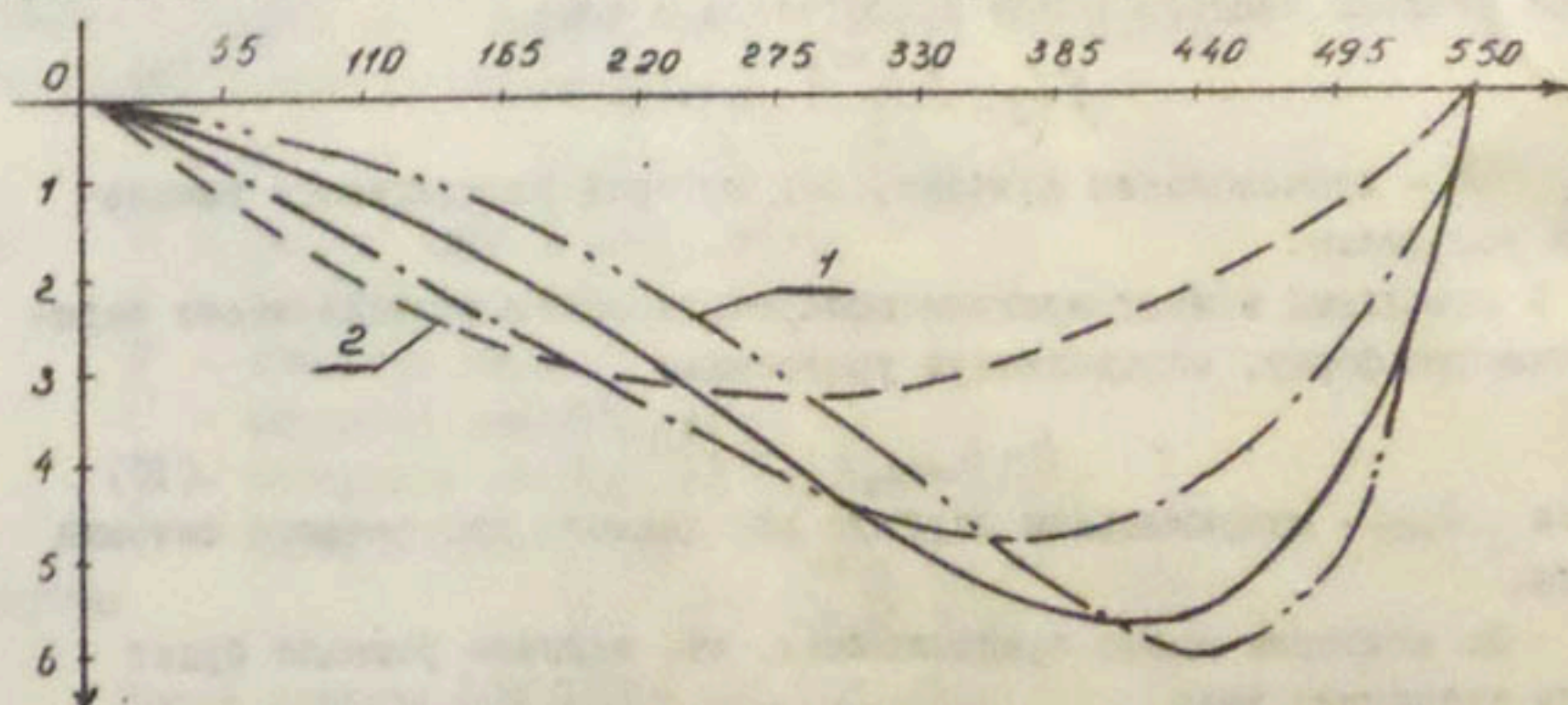


График изменения поперечного сечения русла по времени:

1 - форма поперечного сечения русла при $t = 200000$ с;

2 - форма поперечного сечения русла при $t = 0$.

Список использованной литературы

1. Тузов В.Е., Раджапов К.Ю. Регулирование русла реки Амударьи поперечными сооружениями из местного грунта. – Сб. научн. трудов/Среднеаз.НИИ ирригации, М.: 1983, вып. 168, с. 78...85.
2. Леви И.И. Динамика русловых потоков. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1957. – 252 с.
3. Россинский К.И., Кузьмин И.А. Балансовый метод расчета деформации дна потока. – Труды Гидропроекта. Сб. 12. – М.: 1964. – 265 с.
4. Тузов В.Е. К вопросу определения расхода донных наносов по объему русловой деформации. Сб. научн. трудов/Среднеаз.НИИ ирригации, 1968, вып. 114, с. 93...113.

А.М. Арифжанов
(САНИИРИ им. В.Д. Журина)

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КРУПНОСТИ ОТДЕЛЬНЫХ ФРАКЦИЙ НАНОСОВ ПО ГЛУБИНЕ ПОТОКА НА УЧАСТКАХ ВОДОЗАБОРА*)

С увеличением процента водозабора на орошение возрастает необходимость защиты оросительных каналов от завалов и заиления путем строительства ирригационных сооружений типа отстойников.

Однако задержание в отстойниках излишнего количества наносов, особенно мелких фракций (илистых частиц), лишает орошаемые площади ценных минеральных удобрений и увеличивает объем очистных работ. Отсюда рациональное решение указанной задачи связано с правильным распределением количества всех фракций наносов, поступающих в оросительные каналы.

В настоящее время существует три способа расчета распределения крупности речных наносов [1]:

- 1 – разделение наносов на отдельные фракции и пофракционный расчет;
- 2 – описание закона изменения крупности эмпирическими формулами;
- 3 – без учета неоднородности состава наносов с расчетом по средней крупности всего состава наносов.

* Работа выполнена под руководством К.Ш. Латипова, докт. техн. наук.

Первый способ фракционного расчета является наиболее перспективным и общепризнанным. В публикуемой работе расчет распределения крупности наносов основывается на данном способе.

Распределение частной мутности S_i по глубине, отражающей содержание в воде наносов i -той фракции, рассчитывается по формуле [2]

$$S_i = S_{ni} \exp \left\{ \frac{-3g(\rho_r - \rho) + 54\mu \frac{u_i}{d^2} (h - y)}{\rho_r A U_0^2} (h - y) \right\}, \quad (I)$$

где S_{ni} - мутность у дна;

U_0 - поверхностная скорость потока;

ρ, ρ_r - плотность несущей жидкости и твердой частицы, соответственно;

μ - коэффициент кинематической вязкости;

d - диаметр твердой частицы;

u - гидравлическая крупность;

A - безразмерный параметр, определяемый по формуле [3]

$$A = 0,079 \left(\frac{u_i}{U_0} \right)^{-0,517}.$$

Расчет распределения общей мутности выполняется сложением частных эпюр

$$S(\tilde{y}) = \sum_{i=1}^m S_i(\tilde{y}),$$

где m - число всех взвешенных в потоке фракций наносов.

Ввиду отсутствия совершенного измерительного прибора, определение значения S_{ni} связано с некоторыми трудностями. Предлагаем S_i определять по среднему значению мутности - $S_{срi}$.

$$S_{срi} = \frac{S_{ni}}{H} \int_0^H e^{-\alpha(H-y)} dy, \quad (2)$$

где H - глубина потока на вертикали;

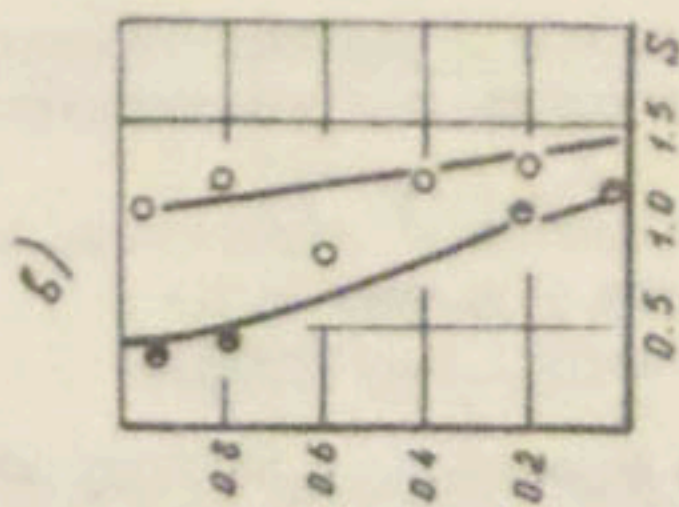
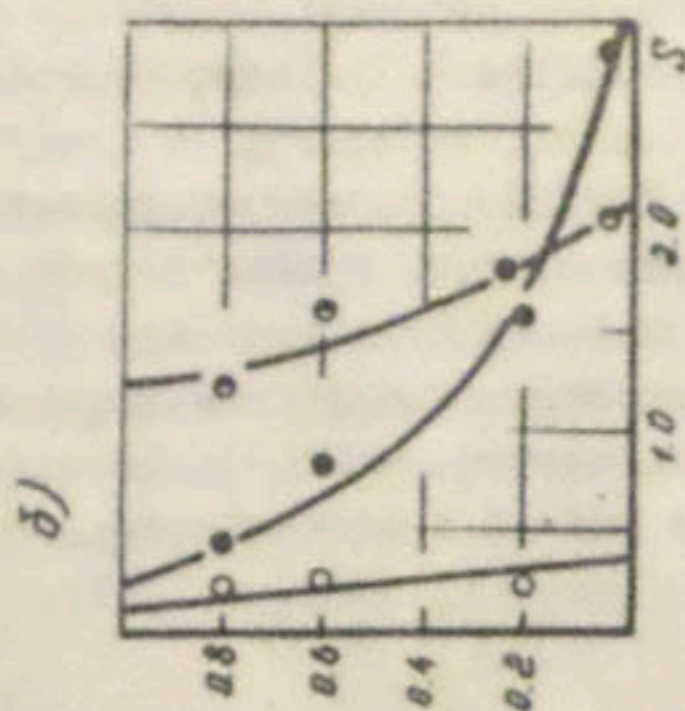
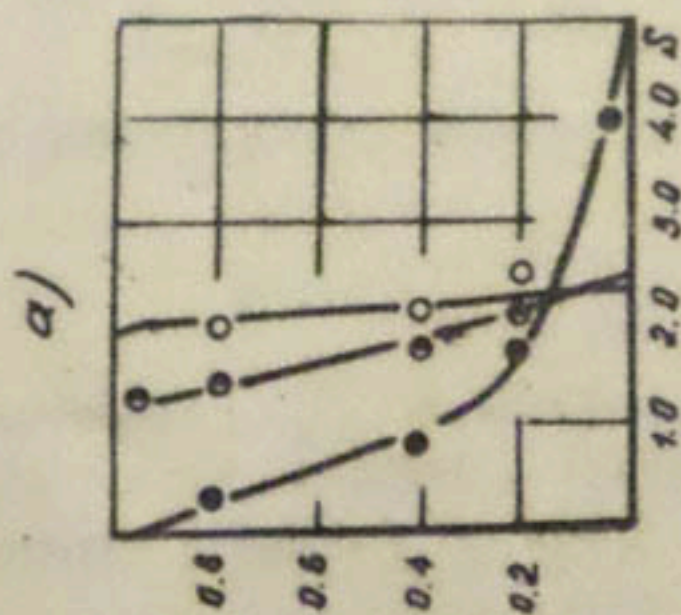
$$\alpha = \frac{3g(\rho_r - \rho) - 54\mu \frac{u_i}{d^2}}{\rho_r A U_0^2}.$$

Проинтегрировав (2) и определив S_{ni} , подставляем в (I) и получаем

$$S_i = \frac{S_{срi} \alpha H}{(1 - e^{-\alpha H})} \cdot e^{-\alpha(H-y)}. \quad (3)$$

Значение $S_{срi}$ может быть получено непосредственным гидрометрическим измерением.

Для определения глубины y_i , соответствующей среднему значению мутности $S_{срi}$, произведем следующие вычисления:



Натурные данные (а - р.Амударья; б - Каракумский канал; в - канал Кызкеткен)
и расчет по формуле (1) для частиц разных фракций (* $d=0,1\text{мм}$; $\circ d=0,05\text{мм}$;
 $\circ d=0,01\text{мм}$).

$$\left. \begin{aligned} S_{срi} &= S_{нi} e^{-\alpha(H-y)} \\ S_{срi} &= \frac{S_{нi}}{\alpha H} (1 - e^{-\alpha H}) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Решив систему уравнений (4), получим

$$y_i = H + \frac{1}{\alpha} \ln \frac{(1 - e^{-\alpha H})}{\alpha H}.$$

Сравнительный анализ формулы (1) и натуральных измерений показал удовлетворительные результаты (рисунок).

Список использованной литературы

1. Кузьмин И.А. Прогнозирование русловых процессов и режима наносов у водозаборных гидроузлов. - Тр. Гидропроекта, № 30, М.: 1973, с. 154-169.
2. Латипов К.Ш. Арифжанов А.М. К определению характера распределения взвешенных частиц наносов по глубине потока. - Изв. АН УзССР, серия техн. наук, 1984, № 3, с. 50-53.
3. Арифжанов А.М. Анализ экспериментальных и натуральных исследований распределения взвешенных частиц. - В кн.: Тезисы докладов научной конференции молодых ученых и специалистов, посвященной 60-летию ЛКСМ Узбекистана. Ташкент, 1985, с. 71-72.

В.А.Скрыльников, канд.техн.наук

А.Г.Локтионов

(САНИИРИ им.В.Д.Журина)

РАСЧЕТ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЯВЛЕНИЯ САМООТМОСТКИ ДНА КРУПНЫМИ ФРАКЦИЯМИ В ПЕРИОД ОБЩЕГО РАЗМЫВА РУСЛА

Процесс общего размыва русла характеризуется выносом всех наносов, включая и самые крупные, в начале деформации с размываемого участка.

По мере размыва русла, за счет уменьшения транспортирующей способности потока, на начальном участке остаются несмытыми наиболее крупные частицы, и размер несмытых наносов постепенно уменьшается, а площадь дна размываемого русла выстилается оставшимися наносами, образуя самоотмостку. Размыв прекращается, если вся площадь дна размываемого русла покрывается несмытыми наносами.

Доля наносов, уносимых с размываемого участка, может быть определена по формуле

$$\varepsilon = 1 - \left(\frac{\omega_{\delta}}{\omega_e} \right)^{\eta}, \quad (1)$$

где ω_{δ} - площадь бытового русла;

ω_e - площадь размытого русла;

D_{max}, d_{cp} - максимальный и средний диаметр смеси отложений наносов;

η - показатель степени; определяется по выражению

$$\eta = \frac{3.5}{D_{max}/d_{cp} - 1} = \frac{3.5 d_{cp}}{D_{max} - d_{cp}}. \quad (2)$$

Для общего размыва можно принять, что $B_{\delta} = B_e$, тогда из (1) получим:

$$\varepsilon = 1 - \left(\frac{H_{\delta}}{H_e} \right)^{\eta}. \quad (3)$$

Составляя соотношение $\frac{H_e}{H_{\delta}}$ с помощью формулы Шези, при условии, что $q = const$ и $n = const$, имеем:

а) для песчаных русел - $\left(y = \frac{1}{5} \right)$

$$H_e = H_{\delta} \left(\frac{J_{\delta}}{J_e} \right)^{0.295}; \quad (4)$$

б) для русел с галечниково-гравелистыми наносами - ($y = \frac{1}{4}$)

$$H_e = H_\delta \left(\frac{J_\delta}{J_e} \right)^{0,286} \quad (5)$$

Рассмотрим общий случай и примем для вывода расчетных формул выражение

$$H_e = H_\delta \left(\frac{J_\delta}{J_e} \right)^x \quad (6)$$

Из (2) и (5) можно записать:

$$\varepsilon = 1 - \left(\frac{J_e}{J_\delta} \right)^x \quad (7)$$

Для определения расхода наносов в начальном створе размываемого участка русла ранее получена формула [1]:

$$P = P_\delta \left[1 - \psi - K_n (1 - a^2) \left(1 - e^{-\frac{t_{np}}{\Phi_1}} \right) \right] \quad (8)$$

где P_δ - расход наносов в бытовых условиях;
 ψ - доля водозабора от бытового расхода воды;
 K_n - коэффициент безнаносного водозабора, учитывающий долю наносов, сбрасываемых в нижний бьеф;
 Φ_1 - характеристика заносимости верхнего бьефа; определяется по формуле [2]:

$$\Phi_1 = \frac{V_0}{2(1-a)A_0G_0} \quad (9)$$

Здесь V_0 - предельно заносимый объем верхнего бьефа;

$$a = \frac{V_{pH}}{V_H};$$

V_{pH} - объем русла с бытовой площадью сечения в пределах начальной длины кривой подпора;

V_H - начальный объем верхнего бьефа;

$$A_0 = \frac{1}{2} (1 + a^{2-1}) ;$$

G_0 - среднегодовое стока наносов.

В работе [3] приведены формулы для расчета гидравлических элементов устойчивого русла в мелкопесчаных грунтах.

Для расчета устойчивого русла в галечниково-гравелистых грунтах рекомендуются формулы:

$$H = \left\{ \frac{n \cdot Q^{0,63}}{1,15 [1 + 0,0604 \left(\frac{\varphi}{\varphi_0} - 1 \right)] \varphi^{0,3} d^{0,3}} \right\}^{\frac{1}{1,2+y}} \quad (10)$$

$$y = \frac{\varphi \cdot d}{H} \quad (11)$$

$$B = 1,15 \left[1 + 0,0604 \left(\frac{\varphi}{\varphi_0} - 1 \right) \right] \frac{Q^{0,37}}{J^{0,20}} \quad (12)$$

Для определения уклона водной поверхности на начальном участке размыва предлагается формула [4]:

$$J_e = \frac{P}{(1-\psi)P_\delta} (J_\delta - J_0) + J_0 \quad (13)$$

где J_e — уклон водной поверхности в начале размываемого участка;

J_δ — бытовой уклон водной поверхности;

J_0 — уклон, при котором отсутствует движение руслоформирующих (донных) наносов.

Решая совместно (7), (8) и (13), получим:

$$\varepsilon = 1 - \frac{\left\{ \left[1 - \frac{K_H}{1-\psi} (1-\alpha^2) (1-e^{-\frac{t_{np}}{\Phi_1}}) \right] (J_\delta - J_0) + J_0 \right\}^{\chi \eta}}{J_\delta^{\chi \eta}} \quad (14)$$

В работе [5] для определения доли наносов, которые не транспортируются потоком, предложена формула

$$\varepsilon = 1 - \left(\frac{d_i}{D_{max}} \right)^{1/m} \quad (15)$$

где d_i — наибольший размер частиц (камня) наносов, транспортируемых потоком на размываемом участке;

D_{max} — наибольший размер камня из отложений наносов, слагающих размываемое русло.

Из выражения (15) можно записать

$$d_i = D_{max} (1-\varepsilon)^m \quad (16)$$

Выражение (14) с учетом (16) запишем в виде

$$d_i = D_{max} \frac{\left\{ \left[1 - \frac{K_H}{1-\psi} (1-\alpha^2) (1-e^{-\frac{t_{np}}{\Phi_1}}) \right] (J_\delta - J_0) + J_0 \right\}^{\chi \eta m}}{J_\delta^{\chi \eta m}} \quad (17)$$

Показатель степени в (17), после подстановки η и значений χ и m , изменяется от 1,03 до 1,0, т.е. практически равен единице. Тогда (17) можно переписать в виде

$$d_i = D_{max} \frac{\left[1 - \frac{K_H}{1-\psi} (1-\alpha^2) (1-e^{-\frac{t_{np}}{\Phi_1}}) \right] (J_\delta - J_0) + J_0}{J_\delta} \quad (18)$$

В работе [1] получена формула для определения продолжительности периода общего размыва русла в нижнем бьефе гидроузлов до начала возникновения процесса завала:

$$t_{np} = \Phi_1 \ln \frac{2 K_H (1-a^2)}{K_H + \psi + K_H (1-a^2) - 1} \quad (19)$$

Величина снижения дна определяется по известной формуле

$$\Delta H_p = \Delta H_0 + H_e - H_\delta \quad (20)$$

где ΔH_0 – снижение горизонта воды в начале участка размыва;
 H_e – глубина воды в размыве русле;
 H_δ – бытовая глубина.

Снижение горизонта воды и длину участка размыва определим по формулам [4]:

$$\Delta H_0 = (J_\delta - J_0) (1-a^2) \frac{K_H}{1-\psi} \cdot S \cdot \left[1 - \frac{\Phi_1}{t_{np}} \left(1 - e^{-\frac{t_{np}}{\Phi_1}} \right) \right] \quad (21)$$

$$S = \sqrt{\frac{(1-\psi) t_{np} G_0 - \frac{T_1 \cdot K_H}{\gamma_n} \left[P_\delta t_{np} - P_\delta (1-a^2) \Phi_1 \left(1 - e^{-\frac{t_{np}}{\Phi_1}} \right) \right]}{BM}} \quad (22)$$

где T_1 – число секунд за период интенсивного движения руслоформирующих наносов в году;

$$M = \frac{(J_\delta - J_0) K_H (1-a^2)}{1-\psi} \left(\frac{\Phi_1}{t_{np}^2} + \frac{1}{2} - \frac{\Phi_1}{t_{np}^2} e^{-\frac{t_{np}}{\Phi_1}} - \frac{\Phi_1}{t_{np}} \right).$$

Глубина размыва русла определяется по формулам (4) или (5).
 Глубина размыва дна, по предложению И.А.Бузунова, для момента появления самоотмостки дна определяется по выражению

$$\Delta H_p = \frac{\pi \cdot (D_{max} + d_i)}{4 K_H (1-p) \sum q_e} - 0,01 d_i \quad (23)$$

где K_H – коэффициент неравномерности расположения крупных камней, равный 0,75...0,90;

p – порозность наносных отложений;

$\sum q_e$ – суммарный процент содержания всех фракций диаметром $d > d_i$.

Если глубина по формуле (23) будет больше, чем ΔH_p по предлагаемому методу, то самоотмостки дна крупными фракциями в пределах периода общего размыва t_{np} не наблюдается.

Список использованной литературы

1. Скрыльников В.А., Доктионов А.Г. Расчет продолжительности размыва русла в нижних бьефах низконапорных гидроузлов с учетом наносов, поступающих из верхнего бьефа. – Изв.АН УзССР, сер.техн. наук, 1984, № 4, с.43-46.
2. Скрыльников В.А., Пулатов А.Г. О расчете продолжительности занесения верхних бьефов низконапорных гидроузлов. – Изв.АН УзССР, сер.техн.наук, 1976, № 4, с.51-55.

3. Скрыльников В.А. Расчет гидравлических элементов устойчивых сечений крупных каналов в мелкопесчаных грунтах. – Гидротехническое строительство, 1983, № 2, с.32–34.
4. Скрыльников В.А., Локтионов А.Г. Расчет деформации русла в нижнем бьефе низконапорных гидроузлов. – В сб.: Развитие исследований в области русловой гидротехники в Средней Азии/Среднеаз. НИИ ирригации, Ташкент, 1984, с.67–72.
5. Скрыльников В.А. Некоторые закономерности процесса занесения верхних бьефов низконапорных гидроузлов. – Сб. научн. трудов/Среднеаз. НИИ ирригации, Ташкент, 1970, вып. 120, с.231–248.

А.Х.Садыков, Л.Х.Ирмухамедова
(САНИИРИ им. В.Д.Журина)

ПРОГНОЗ РАЗМЫВА БЕРЕГОВ МАЛЫХ ВОДОЕМОВ

Вопрос прогноза размыва неукрепленных берегов водоемов имеет важное прикладное значение [1,2,3,4,5]. В настоящей статье нами предпринята попытка уточнить метод прогноза размыва неукрепленного откоса, изложенного в [1].

На прудах различных рыбхозов Средней Азии и Казахстана были проведены натурные исследования неукрепленных низконапорных дамб из связных грунтов. В результате длительной абразии профили этих дамб имеют почти одинаковую форму [2]. Учитывая это, построим расчетную схему для прогноза коэффициента заложения неукрепленного откоса (рис.1.).

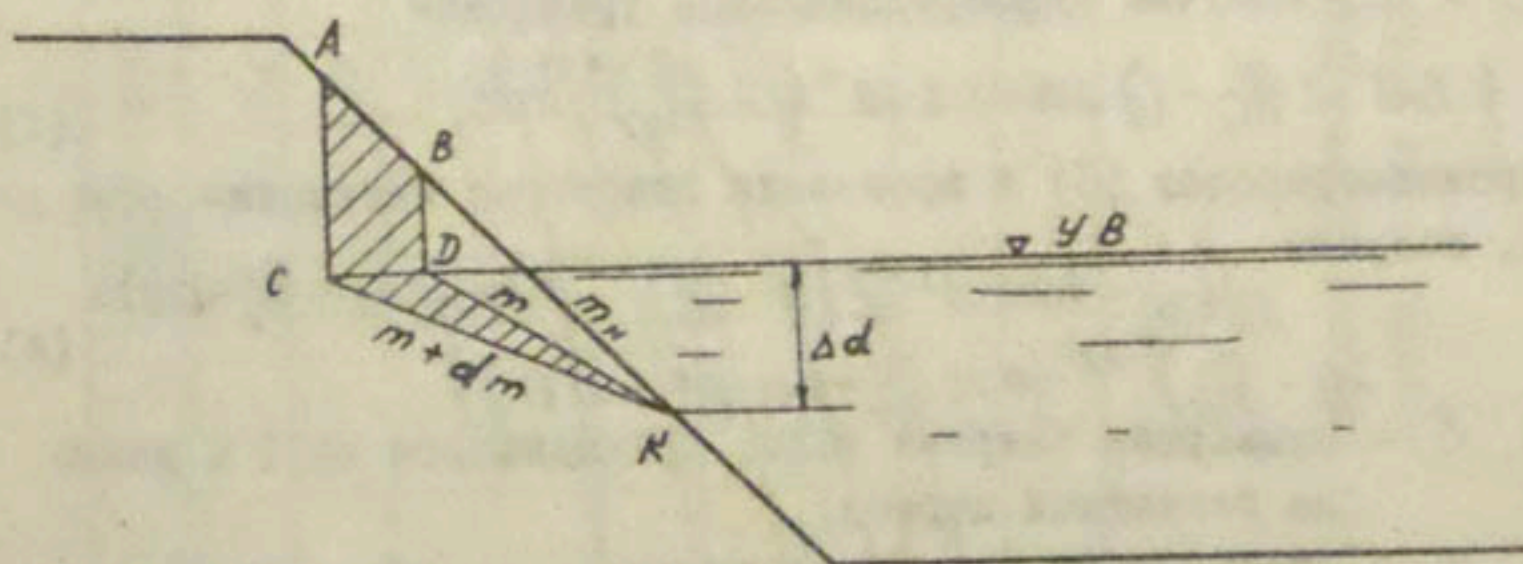


Рис.1. Расчетная схема прогноза коэффициента заложения откоса дамбы.

На схеме показан неукрепленный откос низконапорной дамбы с начальным коэффициентом заложения откоса m_H . Уровень воды в водоеме постоянный. Откос размывается на глубину Δd , которая зависит от высоты волн и характеристик грунта откоса. Профиль откоса с пологой волноустойчивой частью постоянно формируется.

Допустим, в некоторый момент времени напорный откос дамбы имеет профиль, очерченный линией ВДК, с коэффициентом заложения откоса пологой части m . Под воздействием абразии профиль примет вид АСК с коэффициентом заложения откоса пологой части $m + dm$. Очевидно, объем размытого грунта dW волнами, приходящийся на I м дамбы, равен площади АВДКС (заштрихованная часть на схеме).

Согласно расчетной схеме объем размыва можно выразить следующим образом:

$$dW = \frac{1}{2} \Delta d^2 \left(2 \frac{m}{m_H} - 1 \right) dm. \quad (1)$$

На основе лабораторных исследований фрагмента неукрепленного откоса в малом волновом лотке САННИИРИ установлена зависимость объема размыва от заложения откоса и энергии волн:

$$dW = 5,3 \cdot 10^{-6} \left(1 - \frac{m}{m_y} \right)^{4,27} d\mathcal{E}, \quad (2)$$

где dW — объем размытого грунта за определенный промежуток времени;

$d\mathcal{E}$ — энергия волн за этот промежуток времени;

m_y — коэффициент устойчивого заложения откоса для данного грунта;

m — коэффициент заложения откоса.

Из (1) и (2) получим дифференциальное уравнение

$$\frac{1}{2} \Delta d^2 \left(2 \frac{m}{m_H} - 1 \right) dm = 5,3 \cdot 10^{-6} \left(1 - \frac{m}{m_y} \right)^{4,27} d\mathcal{E}. \quad (3)$$

Принтегрировав (3) и произведя некоторые математические действия, получим

$$\frac{\mathcal{E}}{\Delta d^2 m_y} = 0,94 \cdot 10^5 \frac{m_y}{m_0} \left[\left(1 - \frac{m_2}{m_y} \right)^{-3,27} \left(0,88 \frac{m_2}{m_y} - 0,31 \frac{m_H}{m_y} - 0,27 \right) - \left(1 - \frac{m_1}{m_y} \right)^{-3,27} \left(0,88 \frac{m_1}{m_y} - 0,31 \frac{m_H}{m_y} - 0,27 \right) \right]. \quad (4)$$

Здесь $\mathcal{E}$ — суммарная энергия волн, приходящаяся на I м дамбы за расчетный период;

m_1 — коэффициент заложения откоса в начале расчетного промежутка времени;

m_2 — коэффициент заложения откоса в конце расчетного промежутка времени.

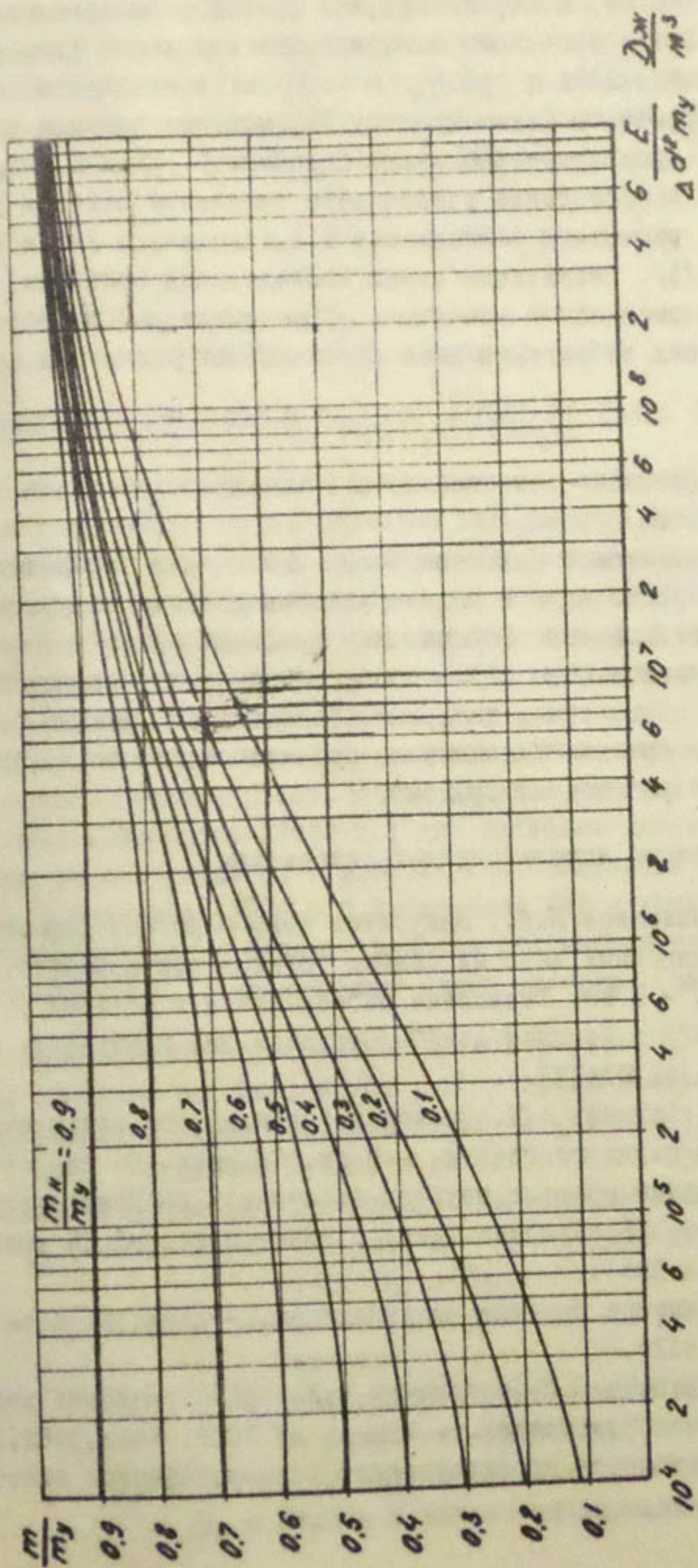


Рис.2. Графики определения изменения неукрепленного откоса из связного грунта после воздействия на него волн.

По зависимости (4) построим графики (рис.2). По этим графикам можно прогнозировать изменение коэффициента заложения неукрепленного откоса, зная величину $\frac{\varepsilon}{\Delta d^2 m_y}$ и $\frac{m_n}{m_y}$ и, следовательно, объем размыва грунта, а также границу перемещения размыва по откосу. Очевидно, предварительно нужно подсчитать $\varepsilon, \Delta d, m_y$. Для определения коэффициента устойчивого заложения откосов (m_y) существуют расчетная зависимость В.Л.Максимчука /4/ и графики В.А.Пышкина /3/. Результаты наших исследований показали, что по известным рекомендациям значения m_y занижены. На основании данных многолетних наблюдений нами предлагается расчетная зависимость

$$m_y = 2(m_1 - m_0), \quad (5)$$

где m_0 — коэффициент естественного заложения откоса для данного грунта.

Глубину размывающего действия волн Δd можно определить по рекомендованной ранее нами и подтвержденной данными натурных и лабораторных исследований формуле или графикам [2,5].

Полученная зависимость (5) и построенный по ней график подтверждают данные многолетних натурных исследований. Данные разработки включены в проект "Указаний по проектированию волноустойчивых откосов дамб рыбоводных прудов".

Список использованной литературы

1. Садыков А.Х., Белесков Б.И., Закурдаев А.К. Прогноз деформации откосов низконапорных дамб из слабых грунтов при воздействии ветровых волн. — В кн. "Развитие исследований в области русловой гидротехники в Средней Азии". /Среднеаз.НИИ ирригации, Ташкент, 1984, с.107—111.
2. Белесков Б.И., Садыков А.Х. Расчет неукрепленного волноустойчивого откоса из связного грунта. — В кн. "Сб.докл. по гидротехнике XVI конференции молодых научных работников ВНИИ гидротехники". Л., 1983, с.328—335. (Рукопись деп. в "Информэнерго" 14 ноября 1983г. № 1464ЭН-Д83).
3. Пышкин В.А. Динамика берегов водохранилищ. — Киев: Наукова думка, 1973. — 412с.
4. Пышкин В.А., Русаков С.В., Максимчук В.Л. Проектирование защитных сооружений на водохранилищах. — Изд-во АН УССР, Киев, 1962, 134 с.
5. Садыков А.Х. К вопросу проектирования волноустойчивых откосов

дамбь рыбоводных прудов. В кн.: Тез. докл. XI научно-практической конференции молодых ученых и специалистов Узбекистана по вопросам интенсификации сельского хозяйства в свете реализации Продовольственной программы СССР: Тез. докл., Ташкент, 15-16 июня 1983г. (1 часть), Ташкент, 1983, с. 166-167.

Х.А. Исмагилов, канд. техн. наук
(САНИИРИ им. В.Д. Журина)

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МУТНОСТИ В СЕЛЕВОМ ПОТОКЕ ПО ДЛИНЕ СЕЛЕХРАНИЛИЩА

Изучение распределения мутности в селевом потоке по длине селехранилища имеет важное значение для расчета формирования наносных отложений и процесса занесения-вавления, поскольку эта проблема связана со строительством и эксплуатацией большого количества селеводохранилищ и селехранилищ в предгорной зоне Средней Азии в целях защиты народнохозяйственных объектов от вредного воздействия наносоводных селевых потоков.

Распределение мутности в селевом потоке можно установить по уравнению баланса наносов. Метод баланса наносов впервые был использован Ф. Экспером (1922 г.) для русловых процессов. В дальнейшем оно рассматривалось в работах М.А. Беликанова [1], И.И. Леви [2], А.В. Караушева [3], В.С. Лапшенкова [4] и других.

Для составления баланса наносов рассмотрим участок селехранилища длиной Δx , ограниченный двумя створами (рис. 1).

Расход наносов через начальный створ равен $Q \cdot S$ (где Q - расход селевого паводка, m^3/c ; S - средняя объемная мутность) расходу наносов через конечный створ $Q (\bar{S} - \Delta S)$,

где ΔS - снижение мутности по длине Δx . Средний расход наносов, отложившихся на участке Δx , на единицу площади дна обозначим q_s , тогда расход на участке Δx будет равен

где $B_x = B_0 + K_1 x$ - ширина селехранилища на рассматриваемом створе;

$K_1 = 2 \operatorname{tg} \alpha$ - коэффициент, учитывающий расширение потока по длине селехранилища;

$\alpha = 8-11^\circ$ - угол расширения потока в плане [5];

B_0 - ширина в начале селехранилища.

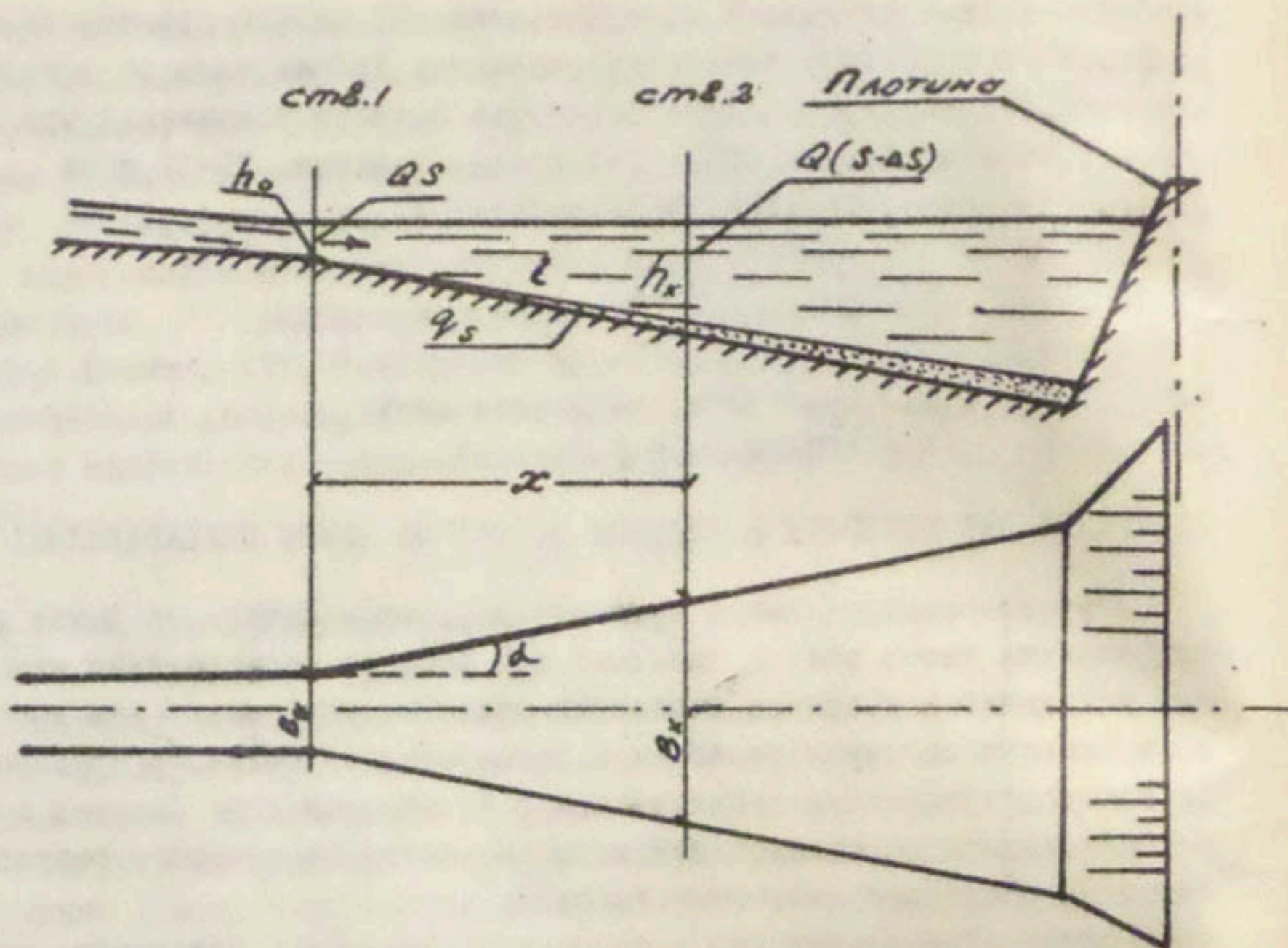


Рис. I. Расчетная схема для составления баланса наносов.

Отсюда уравнение баланса наносов будет иметь вид

$$Q \cdot S - Q(S - \Delta S) + q_s \cdot B_x \cdot \Delta x = 0.$$

Дифференциальное уравнение баланса наносов применительно к рассматриваемому условию имеет вид

$$Q \cdot dS_x - q_s \cdot B_x \cdot dx = 0. \quad (I)$$

(q_s — может быть приближенно оценено как секундный расход осадения наносов)

$$q_s = W_{ст} \cdot S,$$

где $W_{ст}$ — гидравлическая крупность наносов при стесненном падении "облако"-частиц. Она определяется по формуле,

полученной в результате проведенного эксперимента в условиях мутности потока $0,05 \leq S \leq 0,35$

$$W_{ст} = W (1 - KS^{0,67}) ,$$

где $K = \frac{0,035}{d}$ - коэффициент, учитывающий влияние изменения диаметра частиц наносов;

d - средний диаметр наносов, мм;

W - гидравлическая крупность наносов при свободном падении частиц.

Подставив выражения для q_s и затем для $W_{ст}$ в уравнение (1) получим

$$Q dS_x + W_x (1 - KS^{0,67}) S_x \cdot B_x \cdot dx = 0 . \quad (2)$$

Выражение (2) является дифференциальным уравнением распределения мутности турбулентного потока по длине селехранилища. Оно применимо для потоков, транспортируемых однородные по составу наносы.

На практике в селехранилище поступают потоки с разнородными наносами, и в чаше селехранилища происходит сортировка наносов, т.е. размеры частиц наносов уменьшаются в сторону плотины. Уменьшение гидравлической крупности наносов в чаше селехранилища определяется по формуле

$$W_x = W_0 \frac{V_x}{V_0} = \frac{Q/B_x h_x}{Q/B_0 h_0} = W_0 \frac{B_0 h_0}{(B_0 + K_1 x)(h_0 + ix)} , \quad (3)$$

где V_0 и V_x - скорости потока в начале селехранилища и на рассматриваемом участке;

$h_x = h_0 + ix$ - глубина воды на рассматриваемом участке;

h_0 - глубина воды в начале селехранилища;

i - уклон дна селехранилища.

Подставив уравнение (3) в уравнение (2), получим

$$Q dS_x + W_0 \cdot B_0 \cdot h_0 (1 - KS_x^{0,67}) \cdot S_x \frac{dx}{h_0 + ix} . \quad (4)$$

Интегрирование уравнения (4) производилось при $(1 - KS^{0,67}) = \text{const}$. Длина рассматриваемого нами селехранилища не превышала 500 м и для этого случая отклонение составило 5 %, что вполне допустимо.

Интегрируя уравнение (4), получим

$$\ln S_x = - \frac{W_0 \cdot B_0 \cdot h_0 (1 - KS_0^{0,67})}{Q \cdot i} \ln (h_0 + ix) + C , \quad (5)$$

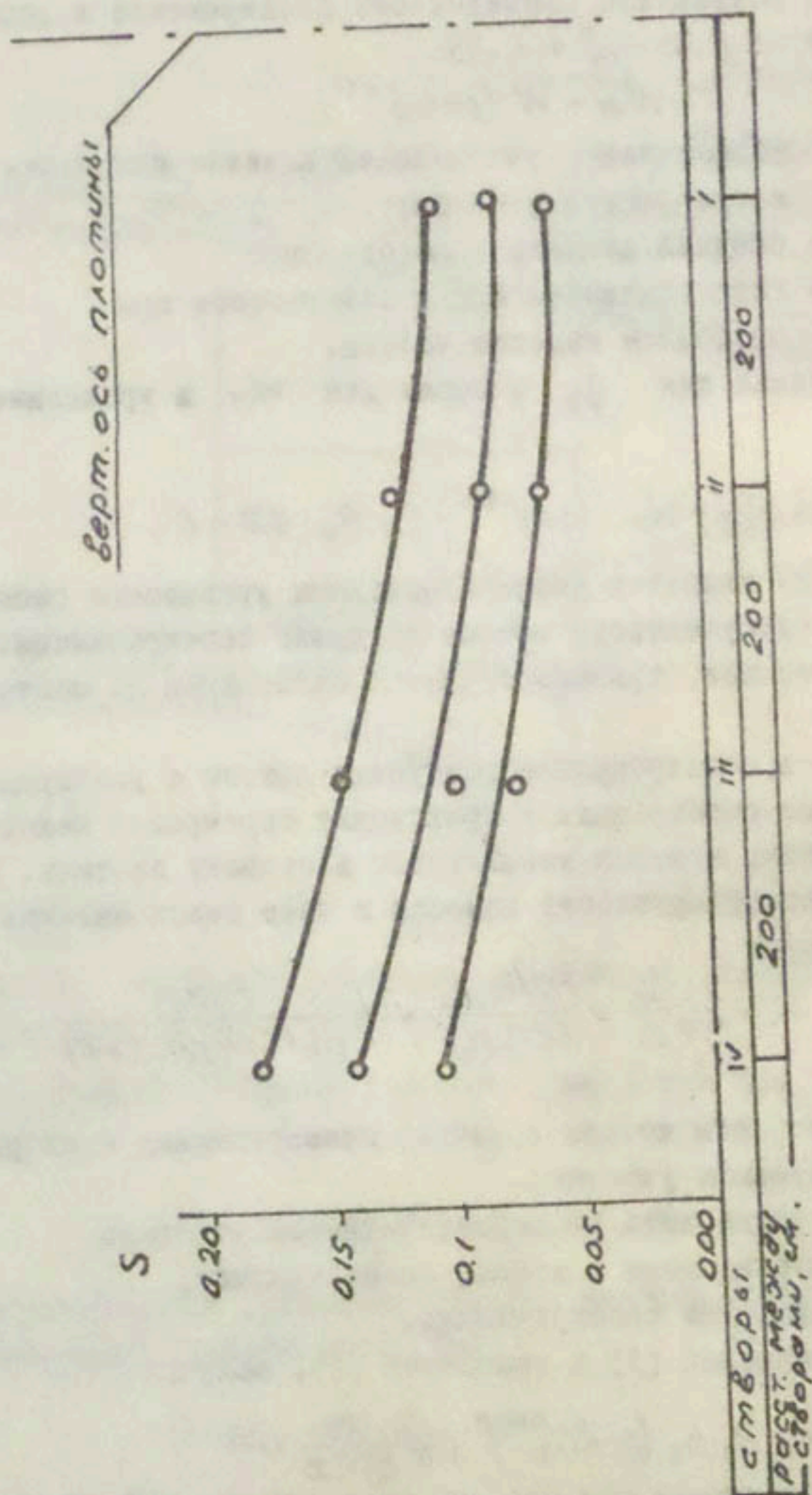


рис.2. Распределение мутности потока по длине селехранилища.
_____ по формуле (6); --- измерение на модели.

где C – произвольная функция интегрирования, для нахождения которой используем граничные условия у входа селевого потока в селехранилище, т.е.

$$\text{при } x=0 \quad S_x = S_0,$$

где S_0 – объемная мутность воды у входа в селехранилище.

$$C = -\ln S_0 - W_0 \cdot B_0 \cdot h_0 (1 - K S_0^{0.67}) \cdot \ln h_0.$$

Подставив C в равенство (5) и после небольшого преобразования, получим

$$S_x = S_0 \cdot e^{-\frac{W_0}{V_0 \cdot l} (1 - K S_0^{0.67}) \ln \left(\frac{h_0 + lx}{h_0} \right)} \quad (6)$$

По уравнению (6) можно определить мутность потока по длине селехранилища в зависимости от начальной мутности для селехранилища с расширяющимся по длине прямым уклоном дна и от состава транспортируемых наносов.

Натурные данные распределения мутности потока по длине селехранилища, полученные по формуле (6), сопоставили с данными, полученными на модели. Модельные исследования проводились для изучения процесса занесения-заиления селехранилищ в 1979–1981 гг. [6]. Расчетные и измеренные данные удовлетворительно согласуются между собой (рис.2).

В заключение отметим, что с помощью уравнения баланса были получены дифференциальное уравнение баланса наносов применительно к селехранилищам, а также расчетная зависимость для установления мутности по длине селехранилища с учетом изменения фракционного состава, гидравлической крупности наносов и профиля чаши по длине селехранилища. Сопоставление расчетных и измеренных значений мутности дало удовлетворительные результаты. Формулу (6) рекомендуется использовать при расчете занесений-заиления селеводохранилищ и селехранилищ для предгорной зоны Средней Азии, где формируется наносоводные потоки.

Список использованной литературы

1. Великанов М.А. Динамика русловых потоков. – Л.: Гидрометеоиздат, 1949. – с.
2. Леви И.И. Динамика русловых потоков. – Л.-М.: Госэнергоиздат, 1957. – с.
3. Караушев А.В. Теория и методы расчета речных наносов, Гидрометеоиздат. – Л.: 1977. – с.

4. Лапшенков В.С. Прогнозирование русловых деформаций в бьефах речных гидроузлов. - Л.: Гидрометеоиздат, 1979. - с.
5. Абрамович Г.Н. Теория турбулентных струй. - М.: Физматгиз, 1960. - 716 с.
6. Исмагилов Х.А. Исследование водовыпусков из селехранилищ. - Сб. "Проблемы противоселевых мероприятий".

М.М.Кучкаров, А.А.Шереметовский
(САНИИРИ им. В.Д.Журина)

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ РАСХОДА ВЛЕКОМЫХ НАНОСОВ В СРЕДНЕМ ТЕЧЕНИИ р. АМУДАРЬИ

В настоящее время в среднем течении Амударьи широко распространен бесплотинный водозабор.

В условиях Амударьи, несущей большое количество взвешенных и донных (влекомых) наносов, для поддержания пропускной способности водозаборных каналов бесплотинный водозабор требует ежегодного выполнения на головных участках каналов больших объемов очистных работ.

Объемы очистных работ определяются оперативно, исходя из объемов отложений, устанавливаемых ежемесячно на основе специальных промеров заиленных участков водозаборных каналов. Поэтому при планировании очистных работ их объемы определяются ориентировочно по опыту прошлых лет, а расстановка применяемых для очистки земснарядов по длине водозаборных каналов не планируется.

Определенную ясность в вопросах планирования объемов очистки и правильной расстановки земснарядов могли бы внести специальные расчеты ожидаемого поступления наносов и их осаждения по длине водозаборных каналов, выполняемые балансовым методом.

Однако серьезным препятствием для составления таких расчетов являются трудности учета завлечения в водозаборные каналы влекомых речных наносов.

В настоящее время сток влекомых наносов Амударьи в основном определяют исходя из некоторого процента от стока взвешенных. При этом рекомендуется широкий диапазон значений этого процента: А.Г. Хачатрян [1] - 10% (по измерениям в голове Ташсаинского канала); Г.И.Шамов [2] - 5%, Р.Р.Абдураупов [3] - 10...15% и даже до 25%. В.Е.Тузov [4] - от 18,4 до 54% (в руслах Вахша и Амударьи).

Отсюда и результаты расчета стока влекомых наносов Амударьи весьма различны.

Непосредственное измерение расхода донных наносов в натуральных условиях весьма затруднено из-за отсутствия надежных для условий Амударьи приборов и методики.

Исходя из сказанного, нами для конкретных условий участка Амударьи в районе бесплотинного водозабора Амубухарского канала был определен расход донных наносов методом натуральных измерений скорости перемещения и размеров донных песчаных гряд.

Скорость движения донных гряд определялась путем сравнения продольных профилей дна по продольным створам, полученных с помощью эхолотов "Кубань" и "ИРИЭЛ" через определенные промежутки времени.

Первые две серии эхолотирования дна были произведены по 10-ти продольным створам, с засечками через 15 поперечных створов при интервале времени между проходами эхолота 24 ч. Расход реки при этом составлял $1320 \text{ м}^3/\text{с}$.

Обработка эхограмм показала, что интервал в 24 ч слишком велик, а скорость движения гряд и их размеры сильно искажены за счет деформации гряд. Поэтому в дальнейшем эхолотирование дна производилось всего по трем продольным створам, но с интервалом времени от двух до шести часов.

Одновременно с эхолотированием замерялись глубины и скорости течения воды вертушкой, а взятие проб взвешенных наносов на вертикалях производилось пятиточечным способом в начале и в конце эхолотируемого продольного створа.

За период с 28/УП по 29/УШ-1982 г. было произведено 106 измерений дна.

На основе обработки полученных эхограмм определялись высота и длина гряд, а также глубина воды над их гребнем и подошвой.

Сравнивая положение гребней гряд на каждых двух эхограммах, снятых на одном и том же продольном створе, находили их смещение за интервал времени между эхолотированиями, исходя из которых вычисляли скорость движения гряд.

Некоторые значения скорости, полученные таким образом, приведены в табл. I. Здесь же даны значения скоростей движения гряд, вычисленные по формуле Смищенко-Копалиани [5]:

$$C_r = 0,019 U F_r^{2.9}, \quad (I)$$

где U - средняя по глубине скорость над гребнем гряды;

Изменение скорости движения гряд на участке
исследований

Дата измерения	Расход воды: : (Q), м ³ /с	Скорость движения гряд		Процент отклонения от измеренной : $\Delta\% = \frac{C_{грас} - C_{гизм}}{C_{гизм}} \cdot 100\%$
		: измеренная : (C _г), см/с	: определенная по : ф-ле Смищенко- : Копалиани	
29.07.82	I965	0,0350	0,0987	I82
		0,0263	0,0497	89
		0,0624	0,0956	53
2.08.82	I4I0	0,0206	0,0438	II2
3.08.82	I342	0,0484	0,0495	2
		0,0323	0,04I4	28
		0,0420	0,04I4	-2
5.08.82	I667	0,0359	0,0406	I3
6.08.82	I875	0,0279	0,0I70	39
IO.08.82	I875	0,0260	0,0429	65
II.08.82	I995	0,0298	0,0370	24
I2.08.82	2055	0,0286	0,0364	27
I3.08.82	I995	0,05 IO	0,0633	24
I9.08.82	I875	0,0760	0,08 IO	7
		0,0730	0,0853	I7
		0,0840	0,0930	II
		0,0700	0,0600	-I4
23.08.82	I4IO	0,0240	0,0380	58
		0,0300	0,0330	IO
25.08.82	I287	0,04 IO	0,0455	II
		0,0300	0,0290	-3
		0,0340	0,0298	-I2
		0,0260	0,03 IO	I9
		0,04 IO	0,0359	-I2

Продолжение табл. I

Дата измерения	Расход воды: :(Q), м³/с	Скорость движения гряд		Процент отклонения от измеренной : $\Delta\% = \frac{C_{грас} - C_{гизм}}{C_{гизм}} \cdot 100\%$
		: измеренная :(C _г), см/с	: определенная : по ф-ле Сн- : щенко-Копална- : ни	
26.08.82	1259	0,0296	0,0332	12
		0,0222	0,0217	-2
		0,0370	0,0332	-10
27.08.82	1183	0,0252	0,0298	18
		0,0323	0,0402	24
		0,0293	0,0282	-4
29.08.82	937	0,0237	0,0368	55
		0,0197	0,0213	8
		0,0237	0,0213	-10
		0,0151	0,0200	32
		0,0154	0,0179	16
30.08.82	897	0,0205	0,0225	10
		0,0281	0,0216	-23
		0,0256	0,0204	-20
31.08.82	814	0,0185	0,0180	-3
		0,0185	0,0184	-1
Среднее значение		0,0344	0,0407	18

F_r - число Фруда; определяется исходя из скорости U и глубины воды над гребнем гряды.

Как следует из табл. I, значения скорости движения гряд, вычисленные по формуле (I), в основном превышают натурные (в отдельных случаях до 1,5...2,8 раза). В среднем это превышение составляет 18%, что позволяет рекомендовать формулу (I) для ориентировочных расчетов в условиях среднего течения Амударьи.

Для определения элементарного расхода донных наносов при грядовом движении Б.Ф.Снищенко, умножая скорость движения гряды C_r (формула (I)) на высоту гряды h_r и коэффициент полноты профиля гряд, принимаемый $\phi = 0,6$, рекомендует формулу

$$q_r = 0,011 U h_r F_r^{2,9} \quad (2)$$

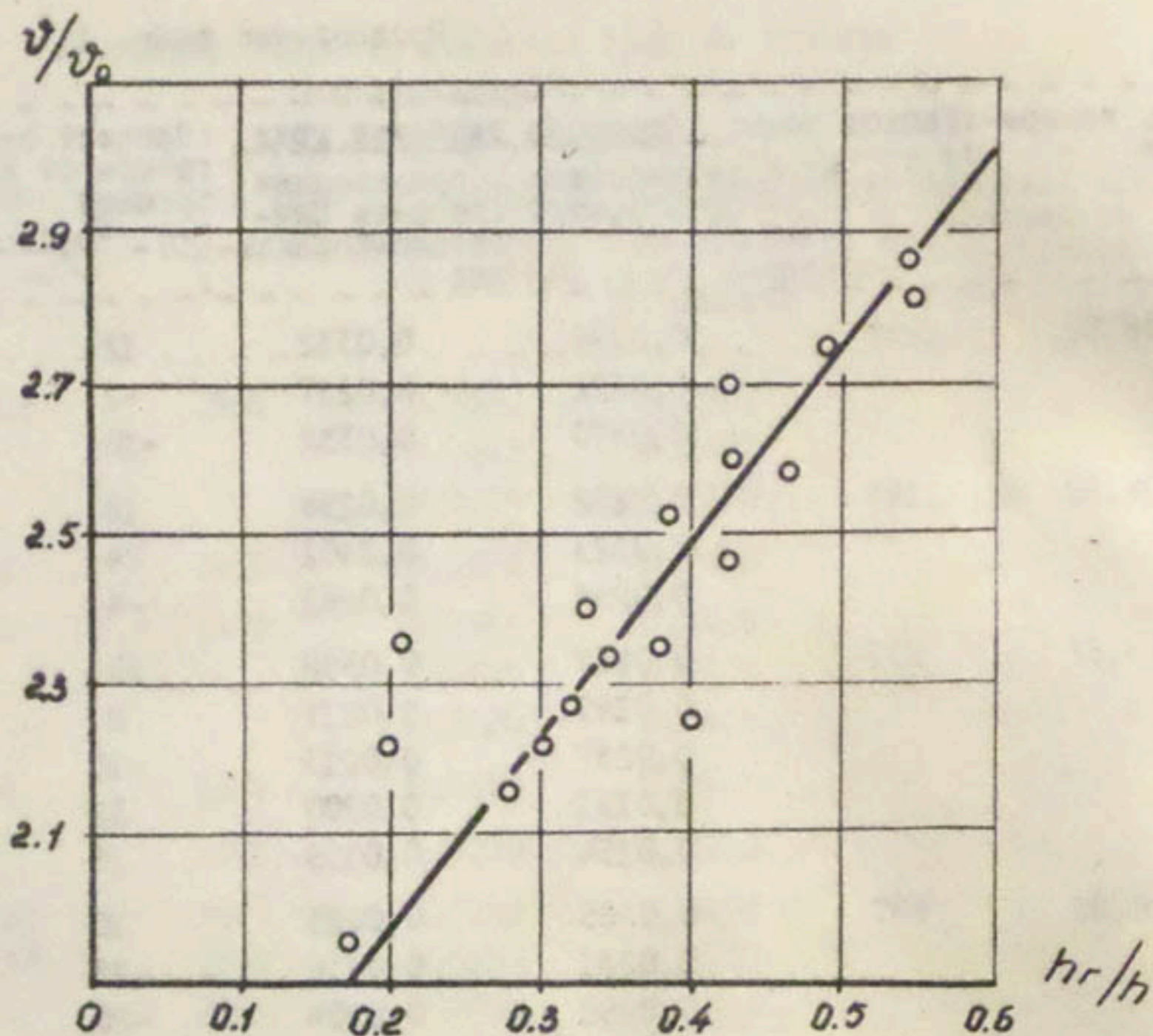


График зависимости относительной скорости от относительной высоты гряд $\frac{v}{v_0} = f\left(\frac{h_r}{h}\right)$.

Формула (2) для практических расчетов требует данных о высоте гряд, средней скорости по глубине и о глубине воды над гребнем гряды, определение которых в природных условиях очень трудоемко. На основе данных природных измерений САННИРИ нами выведена формула для определения высоты гряды

$$h_i = 0,385h \left(\frac{v}{v_0} - 1,45 \right), \quad (3)$$

где h — глубина воды;
 v — средняя скорость течения над гребнем;
 v_0 — неразмывающая скорость.

Формула (3) основана на природных данных и графической зависимости относительной скорости течения $\frac{v}{v_0}$ от относительной высоты гряд $\frac{h_r}{h}$, $\frac{v}{v_0} = f\left(\frac{h_r}{h}\right)$ (рисунок). Зависимость описывается уравнением

$$\frac{v}{v_0} = 1,45 + 2,6 \frac{h_r}{h}. \quad (4)$$

Отметим, что формулы (3) и (4) применимы лишь при условии $\frac{U}{U_0} > 1,45$.

Принимая для определения U_0 формулу Б.И.Студеничкина и учитывая, что средний диаметр донных наносов на участке проводившихся исследований составляет $d = 0,22$ мм, формулу (3) для этого участка можно привести к выражению

$$h_r = 0,385h(U - 0,11h^{0,25}) \quad (5)$$

Для определения расхода донных наносов предлагается следующая формула:

$$\omega = q_t \cdot K \cdot B \quad (6)$$

где q_t — элементарный расход донных наносов;

K — коэффициент части B , занимаемой зоной грядового движения;

B — ширина по урезу воды; $B = \frac{Q}{H \cdot U}$.

$$\omega = q_t \cdot K \cdot \frac{Q}{H \cdot U} = 0,011K \frac{U \cdot h_r \cdot F_z^{2,9}}{H \cdot U} \cdot Q = 0,011KQ \cdot F_z^{2,9} \cdot \frac{h_r}{H}, \quad (7)$$

$$\text{при } h_r = 0,385H(U - 0,11 \cdot H^{0,25})$$

$$\omega = 0,011KQF_z^{2,9} \cdot 0,385(U - 0,11 \cdot H^{0,25}) = 0,00423KQ \cdot F_z^{2,9}(\sqrt{F_z g H} - 0,11H^{0,25}). \quad (8)$$

Коэффициент "К" из формулы (8) определяется путем измерений и зависит от гидрографа реки, изменяется в широких пределах — 0,5...0,9.

Результаты вычислений расхода влекомых наносов по формулам (5) и (8) на участке исследований, для входа в водозабор АБМК и ниже водозабора приведены в табл. 2 и 3.

Из табл. 3 видно, что значения вычисленных расходов влекомых наносов при грядовом движении для участка исследований изменялись от 2,1 до 37% от расхода взвешенных.

Расход влекомых наносов при грядовом движении для створа входа в водозабор АБМК при подъеме паводка (апрель-май) составил от 3,5 до 75%, для паводка (июнь-июль) — от 2,0 до 32,5%, а для спада паводка (август-сентябрь) — от 3,7 до 23,0% от соответствующих взвешенных наносов.

Для створа ниже АБМК расход донных наносов изменялся от 2,5 до 21,4% от расхода взвешенных наносов.

Таким образом, широкий диапазон изменения процента расхода влекомых наносов от взвешенных при их грядовом движении указывает на необходимость осторожного подхода к полученным результатам натурных измерений, что требует прежде всего уточнения методики проведения измерений и получаемых на их основе выводов.

Расходы влекомых и взвешенных наносов при движении гряд на
участке исследований

Дата измерения:	Расход : воды : (Q), : м ³ /с	Высота : гряд : (h _r), : см	Скорость : гряд : (C _r), : см/с	Расход наносов, г/с		Процент : влеко- : мых : наносов : от взве- : шенных
				: взвешенных : (Q _{взв.})	: влекомых : (Q _{влек.})	
29.07.82	1965	120	0,0350	3700	432	11,7
		200	0,0263	3400	606	17,8
		180	0,0624	3400	1260	37,0
2.08.82	1410	160	0,0206	9000	330	3,6
3.08.82	1342	90	0,0484	7480	489	6,5
		140	0,0323	7480	507	6,8
6.08.82	1875	102	0,0188	8600	215	2,5
		62	0,0282	8600	196	3,7
9.08.82	1710	60	0,0179	4720	175	2,6
		65	0,0237	4720	153	3,7
10.08.82	1875	60	0,0260	4720	175	3,7
11.08.82	1995	60	0,0298	5000	134	3,9
12.08.82	2055	70	0,0298	5900	225	3,8
13.08.82	1995	110	0,0510	10400	629	6,0
19.08.82	1875	180	0,0730	28000	1474	5,7
		230	0,0840	28000	2167	8,3
23.08.82	1410	135	0,0240	13700	364	2,7
		160	0,0300	13700	539	3,9
25.08.82	1287	135	0,0410	13100	621	4,7
		140	0,0300	13100	471	3,9
26.08.82	1259	60	0,0370	12000	249	2,1
		110	0,0370	12000	457	3,8
27.08.82	1183	110	0,0252	11300	320	2,8
		145	0,0323	11300	525	4,7
Среднее значение	1445	120	0,036			6,5

Т а б л и ц а 3

Расходы влекомых и взвешенных наносов на входе в АБМК
и ниже водозабора

Дата измерения	Расход : воды в : реке и : кана- : ле (Q), : м ³ /с	Расход : взвешен- : ных на- : носов (Q _н), : кг/с	Расход вле- : комых нано- : сов (Q _н), : кг/с	Процент : влекомых : наносов : от взве- : шенных	Вид гид- : рографа	Номер во- : дозабора
19.04.82	110	200	7	3,5	подъем	3
23.04.82	73	248	47	19,0	павод-	3
8.05.82	204	728	545	75,0	ка	3
14.05.82	190	882	101	11,0		3
Среднее по водозабору №3				27,1		
28.05.82	207	594	13	2,2	паводок	2
4.06.82	248	1285	113	9,0		2
18.06.82	284	634	27	4,0		2
11.07.82	274	480	11	2,0		2
Среднее по водозабору № 2				4,3		
17.07.82	422	692	225	32,5	спад	1
31.07.82	602	1981	77	3,9	паводка	1
7.08.82	556	1607	92	5,7		1
14.08.82	526	1805	66	3,7		1
21.08.82	476	1490	113	7,6		1
28.08.82	498	1066	245	23,0		1
23.10.82	206	124	27	21,8		1
30.10.82	190	133	9	6,8		1
Среднее по водозабору № 1				13,1		1

Амударья, ств. 18 (ниже водозабора № 3 АБМК)

7.04.82	695	1750	44	2,5	подъем	
15.05.82	1660	6620	1420	21,4	паводка	
29.05.82	1010	3000	127	4,2		
19.06.82	1900	5280	399	7,6	паводок	
10.07.82	915	1420	49	3,5		
25.07.82	881	1910	42	2,2	спад	
6.08.82	2030	2900	175	6,0	паводка	
14.08.82	1960	4270	162	3,8		
Среднее по реке				6,4		

проведения измерений и получаемых на их основе выводов.

Список использованной литературы

1. Хачатрян А.Г. Отстойники на оросительных системах. - М.: Сельхозгиз, 1957, с. 103.
2. Шамов Г.И. "Речные наносы" Л. Гидрометеониздат, 1959, с. 378.
3. Абдураулов Р.Р. Расчет заиления нижнего бьефа низконапорных гидроузлов наносами. - Сб. "Вопросы гидротехники", вып. 27, Ташкент, Наука АН УзССР, 1965, - с. 39-51.
4. Тузов В.Е. "К вопросу определения расхода донных наносов по объему русловой деформации". Сб. научн. тр. / Средаз. НИИ ирригации. - Ташкент: вып. II4, 1968, - с. 93-114.
5. Кондратьев Н.Е., Попов И.В., Снитченко Б.Ф. Основы гидрометеорологической теории руслового процесса. - Л.: Гидрометеониздат, 1982, с. 272.

Х.А. Ирмухамедов,

канд. техн. наук

М.Р. Бакиев, О. Кадиров

(САНИИРИ им. В.Д. Журина)

О ГИДРАВЛИКЕ ПОТОКА, СТЕСНЕННОГО СКВОЗНОЙ ШПОРОЙ С ПЕРЕМЕННЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ ЗАСТРОЙКИ

Для регулирования русла Амударьи в районе Каршинского канала проектируются регулировочные сооружения в виде глухих и сквозных дамб. Рассмотрим гидравлику потока у сквозной дамбы с переменным коэффициентом застройки.

Идея строительства сквозных шпор с переменным коэффициентом застройки высказана давно [1], однако в литературе до сих пор нет обоснованных методов расчета подобных сооружений.

Экспериментальные исследования показали эффективность гашения энергии потока этих сооружений по сравнению с обычными сквозными шпорами. Кроме того, уменьшается опасность обхода их с корня благодаря наличию водяной подушки.

Коэффициент застройки, определяемый зависимостью $P = \frac{d}{d+S}$, где d , S - соответственно диаметр и шаг элемента, изменяется от головы к основанию шпоры при $d = const$.

Экспериментальные данные эпюр скоростей говорят о возможности использования некоторых положений теории турбулентных струй при

теоретическом решении нашей задачи.

Остановимся на решении задачи для основного участка струи, характерного для больших степеней стеснения потока сквозной шпорой. При этом определенный интерес представляет как одностороннее, так и двустороннее стеснение потока.

Отличие задачи от ранее рассмотренной [2] заключается в неравномерном распределении скоростей за шпорой (рисунок). В принципе, варьируя коэффициентом застройки, можно задать любую форму распределения скоростей в плане. В данном случае принято распределение скоростей за шпорой в створе стеснения, подчиняющееся универсальной зависимости Шлихтинга-Абрамовича [3]:

$$\frac{U}{U_0} = (1 - \eta^{1.5})^2, \quad (1)$$

где U - скорость в зоне перемешивания;

U_0 - скорость в створе стеснения;

$\eta = \frac{y - \delta_0}{B - \delta_0}$ - относительная ордината точки, где определяется U .

В зоне восстановления скоростей универсальная зависимость имеет вид

$$\frac{U - U_H}{U_m - U_H} = (1 - \eta^{1.5})^2. \quad (2)$$

Здесь U_H - скорость вдоль защищаемого берега;

U_m - максимальная скорость на оси струи;

$\eta = \frac{y}{B}$ - для двустороннего стеснения;

$\eta = \frac{y - \delta}{B - \delta}$ - для одностороннего стеснения

(δ - толщина турбулентного пристенного пограничного слоя при одностороннем стеснении потока).

Распределение скоростей в пределах этого слоя подчиняется зависимости [3]

$$\frac{U_m - U}{U_{*c}} = 2,21 \frac{\delta}{y},$$

где U_{*c} - динамическая скорость;

$\tau_c = \rho \frac{\lambda_c U_m^2}{2}$ - касательное напряжение трения на стенке;

$\frac{1}{\sqrt{\lambda_c}} = 4 \lg \frac{R}{\Delta} + 4,25$ - коэффициент гидравлического трения стенки,

$\delta = 3,7 \lambda_c B$.

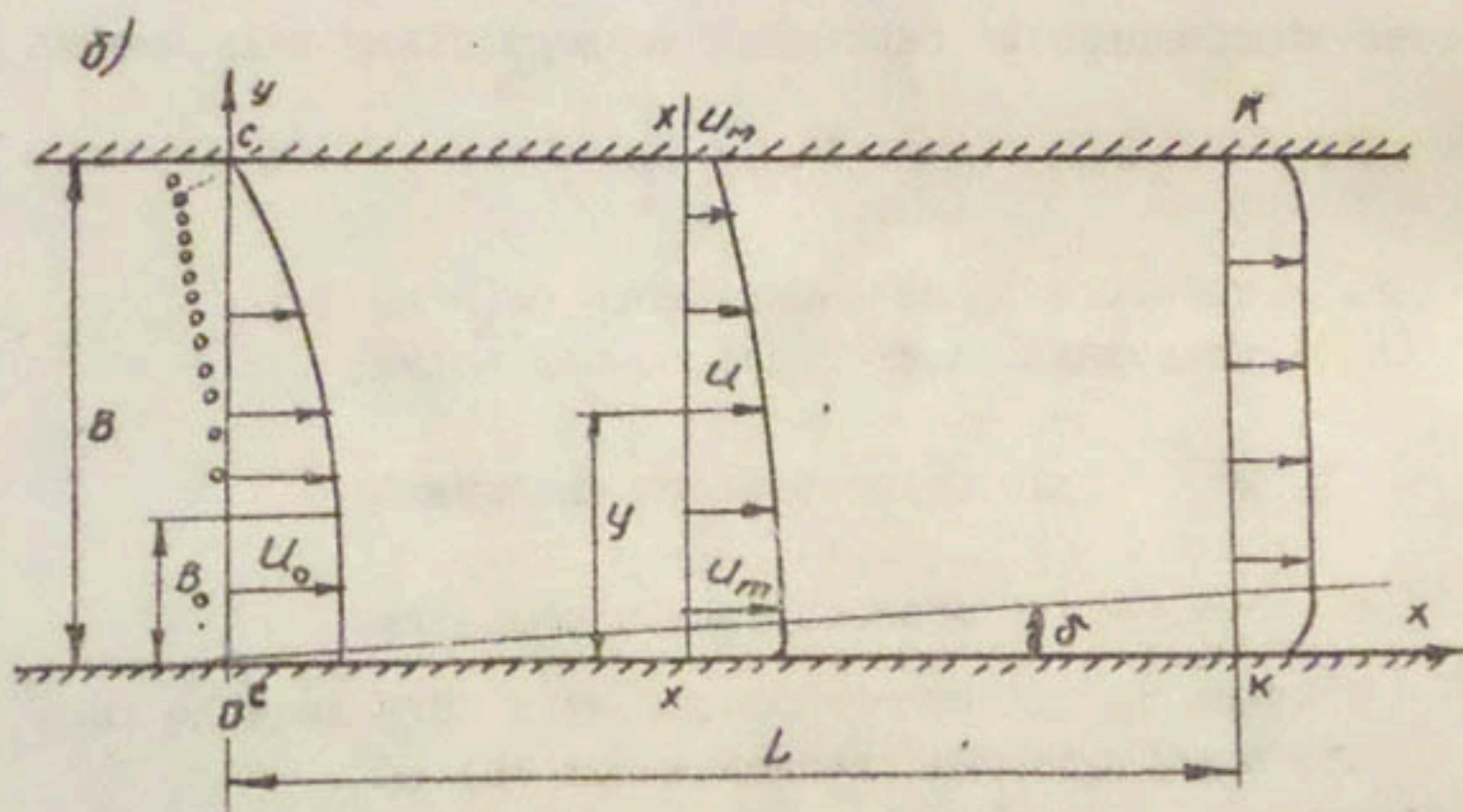
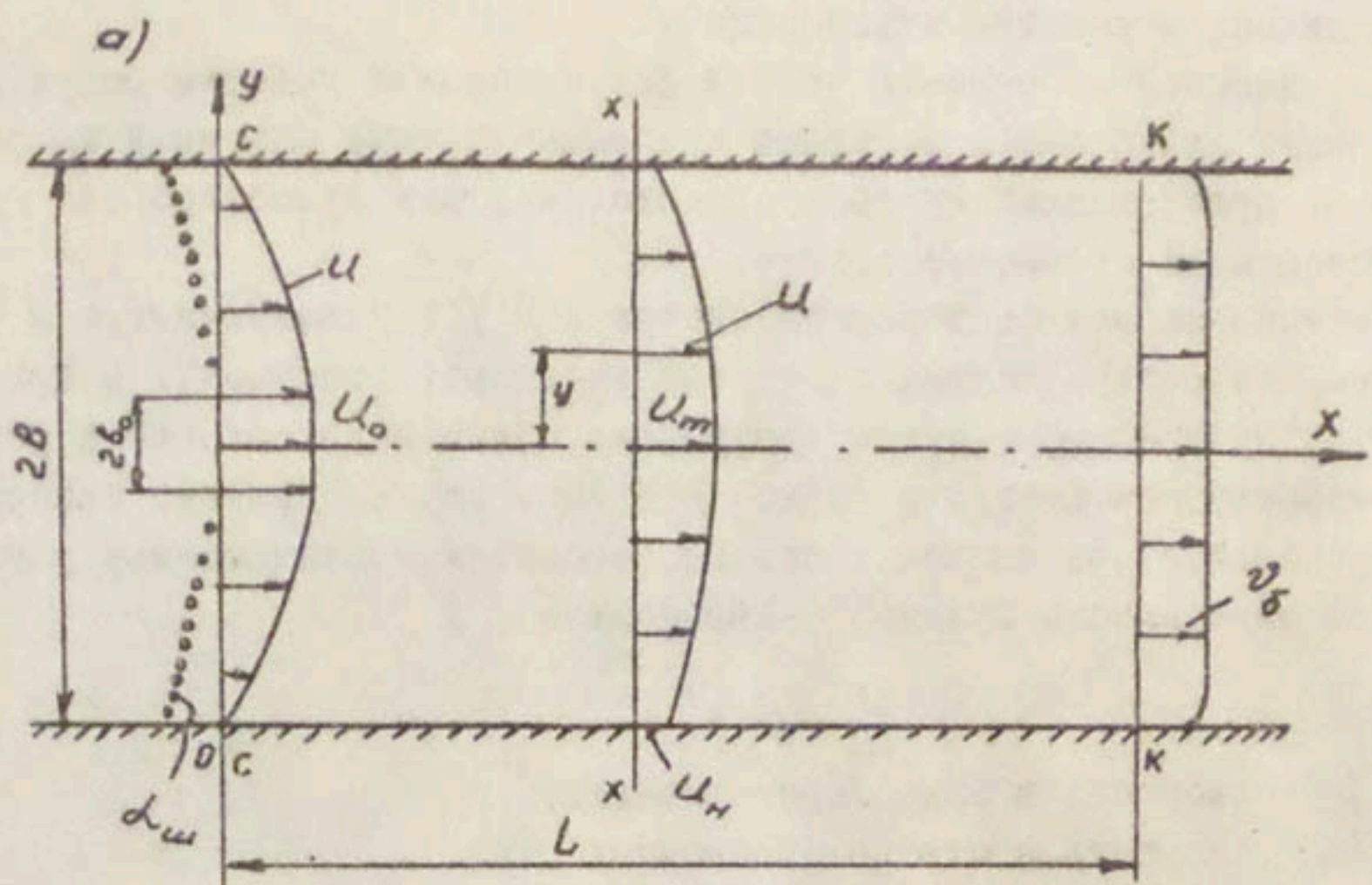


Схема потока, стесненного сквозной шпорой с переменным коэффициентом застройки: а - двухстороннее стеснение; б - одностороннее.

Для расчета скоростного поля необходимо знать законы изменения осевой скорости U_m , а также изменения скорости вдоль защищаемого берега U_n и длину участка, в конце которой восстанавливаются бытовые скорости потока.

Для решения использованы интегральное соотношение, характеризующее закон сохранения импульса в потоке, и уравнение сохранения расхода, которые для сечений $C - C$ и $X - X$ имеют следующий вид:

$$U_0^2 b_0 + \int_0^b U^2 dy - \int_0^b U^2 dy + \int_0^x \int_0^b \frac{\lambda}{2h} U^2 dy dx; \quad (3)$$

$$U_0 b_0 + \int_0^b U dy = \int_0^b U dy. \quad (4)$$

Порядок решения этих уравнений остается прежним / 2 /, поэтому ниже приводим окончательные результаты.

Закон изменения осевой скорости для двустороннего стеснения

$$\frac{U_m}{U_0} = \sqrt{\frac{(1-n)(1+0,316 \frac{n}{1-n}) e^{-\frac{\alpha \xi}{2}(1-n)}}{0,316 + 0,268 m + 0,416 m^2}}; \quad (5)$$

для одностороннего -

$$\frac{U_m}{U_0} = \sqrt{\frac{(1+0,316 \frac{n}{1-n}) e^{-\frac{\alpha \xi}{2}(1-n)}}{\delta \left(1 - 4,42 \sqrt{\frac{\lambda_c}{2}} + 4,884 \lambda_c\right) + \frac{1}{1-n} (0,316 + 0,268 m + 0,416 m^2)}}. \quad (6)$$

Закон изменения скорости вдоль защищаемого берега определяется из квадратного уравнения

$$A_1 m^2 + A_2 m + A_3 = 0; \quad (7)$$

для двустороннего стеснения

$$A_1 = 0,3025 M - 0,416 \Phi,$$

$$A_2 = 0,495 M - 0,268 \Phi,$$

$$A_3 = 0,2025 M - 0,316 \Phi,$$

$$\Phi = (1 - 0,55)^2 \cdot e^{-\frac{\alpha \xi}{2}(1-n)},$$

$$M = \left(1 + 0,316 \frac{n}{1-n}\right) (1-n);$$

для одностороннего -

$$A_1 = \frac{0,3025}{(1-n)^2} M - \frac{0,416}{1-n} \Phi,$$

$$A_2 = \frac{1,152}{1-n} M - \frac{0,268}{1-n} \Phi,$$

$$A_3 = M B_2^2 - B_1 \Phi,$$

$$B_1 = \frac{0,316}{1-n} + \delta \left(1 - 4,42 \sqrt{\frac{\lambda_c}{2}} + 4,884 \lambda_c\right).$$

$$B_z = \frac{0,45}{1-n} + \bar{\delta} \left(1 - 2,21 \sqrt{\frac{\lambda \xi}{2}} \right),$$

$$\Phi = \left(1 + 0,45 \frac{n}{1-n} \right)^2 e^{\frac{a \cdot \xi}{2} (1-n)},$$

$$M = 1 + 0,316 \frac{n}{n-1}.$$

Корень уравнения (7) — больше единицы — отбрасывается, как не отвечающий физике явления.

Длина участка L определена из совместного решения уравнений (3), (4) при условии, что в конце этого участка

$$\begin{aligned} U_m = U_\delta, \quad m = 1, \quad \xi = \bar{L} : \\ \bar{L} = \frac{\ln \left[\left(\frac{U_\delta}{U_0} \right)^2 \left(1 + 0,316 \frac{n}{1-n} \right) (1-n) \right]}{\frac{a}{2} (1-n)}. \end{aligned} \quad (8)$$

В полученных уравнениях приняты следующие обозначения:

$$n = \ell_{ш} \sin \alpha_{ш} / B; \quad a = \lambda B / h; \quad m = U_n / U_m;$$

$$\xi = x / b_0; \quad \bar{\delta} = \delta / b_0; \quad \bar{L} = L / b_0.$$

Полученные зависимости позволяют получить полную плановую картину потока, деформированного сквозной шпорой с переменным коэффициентом застройки.

Расчет производится в такой же последовательности, как и в работе [2].

Результаты работы будут использованы при обосновании схемы регулирования русла Амударьи в районе Каршинского канала комбинированными сооружениями глухого и сквозного типа.

Список использованной литературы

1. Алтуни С.Т., Бузунов И.А. Защитные сооружения на реках. — М.: Сельхозгиз, 1953. — 175с.
2. Мухамедов А.М., Ирмухамедов Х.А., Мирзиятов М., Бакиев М.Р. Закономерности растекания потока за сквозной шпорой: Сб. докл. Всесоюзного совещания по водозаборным сооружениям и русловым процессам (15-21 ноября 1971 г.). — Ташкент, 1974. — с. 505-516.
3. Михалев М.А. Гидравлический расчет потоков с водоворотом. — Л.: Энергия, 1971. — 184с.

Р.Р.Абдураупов, канд. техн. наук
(САНИИРИ им.В.Д.Мурина)

ХАРАКТЕР ЗАНЕСЕНИЯ НИЖНИХ БЬЕФОВ СУЩЕСТВУЮЩИХ ГИДРОУЗЛОВ ПРИ ИНТЕНСИВНОМ ВОДОЗАБОРЕ

Формирование русла рек в бытовых условиях связано с режимом жидкого и твердого стоков. Водозабор нарушает бытовой режим рек и вызывает переформирование русла. В определенных условиях река начинает меандрировать, разделяясь по длине на криволинейные плесовые участки.

При бесплотинном водозаборе головы каналов располагают на вогнутых берегах рек [1]. Это позволяет предотвратить завлечение в канал донных наносов. Твердый сток ниже створа водозабора практически не изменяется, жидкий же в результате отвода воды каналом существенно уменьшается. Происходит снижение скорости потока, транспортирующая способность которого ниже створа водозабора становится недостаточной, что вызывает отложение части донных наносов и занесение русел рек.

Занесение нижних бьефов многих эксплуатируемых водозаборов достигло значительных размеров, вызвав затруднение транзита донных наносов вниз по течению рек [2,3].

Особенно тяжелое состояние наблюдается в нижних бьефах плотинных гидроузлов, водозабор из которых составляет большую величину [4].

Задача настоящей статьи состоит в том, чтобы на основе изучения современного состояния эксплуатируемых водозаборных узлов выяснить природные условия формирования русла при водозаборе и общую схему занесения.

Наиболее распространенный тип водозабора — бесплотинный, применяемый обычно в условиях, когда естественное течение вблизи берега способствует борьбе с наносами [2]. Таким условиям наиболее удовлетворяют вогнутые берега излучин.

В условиях Амударьи применяется [1] бесплотинный многоголовый водозабор, при котором отвод воды из реки в каналы осуществляется несколькими открытыми каналами, головы которых расположены на расстоянии 2...3 км друг от друга. Такая схема водозабора упрощает регулирование подачи расходов воды в половодье и межень.

По мнению автора, правильнее определять местоположение отвода на основании анализа процесса развития поперечной циркуляции при изгибе потока на повороте реки. При центральном угле поворота $45^{\circ} \dots 60^{\circ}$ поперечная циркуляция развивается полностью, достигая максимальной интенсивности на некотором расстоянии от начала поворота ($L = \frac{\pi R^2}{180}$), где следует располагать голову бесплотинного водозабора [5].

В условиях рек с мелкопесчаными наносами при бесплотинном водозаборе в канал завлекается большое количество взвешенных наносов, которые отлагаются в его подводящей и головной частях, откуда удаляются землесосами при сбросе пульпы в реку.

В головах Амубухарского канала при водозаборе до 20% объем очистки составляет 12,5, Каршинского магистрального канала при водозаборе 15% – 11 млн.м³. В подводящем канале им.Ленина до постройки Тахматашского гидроузла ежегодно отлагалось 40 тыс.м³ песка, которые сбрасывались обратно в реку. В голове Каракумского канала при водозаборе 10...15% объем очистки достиг 10,5 млн.м³ в год.

По данным Х.М.Шапиро [6], ниже головы Каракумского канала образовалась коса, вызывающая повышение уровня воды в реке до 1,0 м за счет занесения русла и изменения продольного уклона от 0,000196 до 0,000256.

Когда бытовые уровни реки не обеспечивают командования над уровнем воды в каналах, используют плотинный водозабор [7,8]. Водозаборные узлы, построенные с учетом природных условий рек Средней Азии, разделяются по принципу борьбы с донными наносами на три типа.

Ферганский тип водозабора основан на принципе борьбы с донными наносами с помощью поперечной циркуляции, возбуждаемой в подводящем русле и на самом гидроузле. По такому типу построены Сарыкурганский, Кампырраватский, Куйганъярский и др. Как показал опыт эксплуатации, при ферганском типе водозабора борьба с донными наносами осуществляется успешно даже при коэффициенте водозабора, достигающем до 80%, борьба же с завлечением взвешенных наносов не ведется.

С целью поддержания интенсивной поперечной циркуляции перед порогом регулятора канала маневрирование затворами в пролетах плотины производят в следующем порядке: при нарастании расходов воды в реке сначала поднимают затворы в пролетах, примыкающих к выпуклому берегу (где проходит максимальное количество наносов с минимальным расходом воды), а затем, по мере необходимости, и в остальных пролетах ближе к вогнутому берегу. При спаде расходов в реке опускание

затворов (закрытие пролетов) производят в обратном порядке. Однако такой порядок маневрирования затворами приводит к неравномерному распределению наносов и воды в нижнем бьефе, что создает условия для сбойного течения и разрушения берегов.

Изучение опыта эксплуатации Сарыкурганского гидроузла на р.Сох показывает, что процесс занесения верхнего бьефа почти с самого начала эксплуатации сопровождался выносом наносов в нижний бьеф. С 1953 г., ввиду значительного увеличения нагрузки сбросных расходов наносами, уровень воды и дно в нижнем бьефе начали повышаться, что привело к занесению русла за плотиной. К концу 1954 г. общий объем занесения нижнего бьефа на длине 3 км составил 47,6 тыс.м³. Занесение русла в виде призмы наблюдалось также в нижнем бьефе Кампырраватского гидроузла. При этом из-за подъема дна отводящего русла произошел подпор сбросной плотины, уменьшивший ее пропускную способность почти в 3 раза [3], величина подъема дна и уровня достигла 1,5 м. Неравномерное отложение наносов привело к блужданию потока в нижнем бьефе.

Послойный тип водозабора основан на принципе борьбы с донными наносами путем деления потока по глубине. По такому типу построены Чумышский, Кызылординский, Казалинский и другие гидроузлы.

Борьба с наносами на этих гидроузлах осуществляется путем забора воды в регуляторы из верхних слоев потока и сброса насыщенных донными наносами нижних слоев в нижний бьеф через промывные галереи, устроенные в пороге регулятора. Регуляторы и промывные галереи располагаются вблизи берегов, а среднюю часть русла занимает щитовая плотина, служащая для пропуска в нижний бьеф излишков расхода воды и наносов. Подводящее русло в верхнем бьефе таких узлов устраивается прямолинейным, так как возбуждение поперечной циркуляции в потоке перед регулятором нежелательно.

Послойный тип водозабора применяется на равнинных участках рек с песчаными наносами при условии устойчивого подводящего русла, обеспечивающего равномерный подход потока к плотине. Для повышения эффективности борьбы с песчаными наносами подбирают рациональную схему манипуляций затворами в пролетах плотины, регуляторами каналов и отверстиями донных промывных галерей.

Использование принципа лобового водозабора с устройством в порогах регуляторов донных галерей позволяет вести борьбу с заведением наносов в каналы. В этом случае фактически все донные наносы проходят в нижний бьеф, перегружая поток и создавая условия для равномерного занесения нижнего бьефа.

Индийский тип водозабора основан на принципе борьбы с завлечением донных наносов в каналы путем задержания их в кармане-отстойнике, расположенном перед регулятором, с последующей периодической промывкой отложений в нижний бьеф плотины. Суммарный водозабор из реки в паводок превышает 25, в межень доходит до 75%. В результате перегрузки потока наносами при безнаосном водозаборе, достигшем 1,4 произошло интенсивное занесение нижнего бьефа. При этом дно поднялось на 1,2 м, а призма отложений распространилась вниз по течению на расстояние 1500 м от плотины. Уклон на участке занесения увеличился от 0,0046 до 0,0064.

При дальнейшем занесении нижнего бьефа донными наносами дно реки и уровень воды ниже плотины поднялись еще больше, сильно ухудшив условия промывки наносов, отложившихся в карманах перед регуляторами.

В целях обеспечения бесперебойного водозабора и улучшения защиты каналов от завлечения донных наносов в 1960 г. была произведена реконструкция гидроузла /3/. Предполагалось произвести постепенное увеличение подпора до проектной величины, что должно было вызвать благоприятное для водозабора переформирование русел верхнего и нижнего бьефов. Однако это условие службой эксплуатации узла не было выдержано.

В период последнего обследования гидроузла (с 20 по 25 июля 1966 г.) расход р.Зарафшан в створе плотины составлял 630...640 м³/с. Около 75% этого расхода на подходе к плотине протекало у левого берега, у правого же появились обнаженные русловые отложения /9/. Были открыты шлюзы левобережного и, частично, правобережного карманов, заглубленные отверстия, а также средние щитовые отверстия плотины, в результате чего сбросные расходы проходили, в основном, сосредоточенным потоком в центральной части отводящего русла. Интенсивное отложение наносов наблюдалось в концевой и правой частях поймы. В связи с занесением русла уровень воды в нижнем бьефе в 1972 г. поднялся до отметки 73,2 при подпоре 74,3 м, что превышает отметки порога плотины / 10 /.

Выводы

Процесс переформирования русла в нижних бьефах водозаборных узлов можно разделить на 3 периода.

1. Общий размыв нижнего бьефа; все наносы задерживаются в верхнем бьефе.
2. Восстановление размывтого дна; наносы начинают частично поступать в нижний бьеф и восстанавливается бытовой уклон.

3. Занесение нижнего бьефа; количество наносов, сбрасываемых в нижний бьеф, перегружает поток за счет водозабора в каналы. Интенсивность отложения наносов возрастает, дно поднимается выше бытового, увеличивая продольный уклон, в связи с чем условия эксплуатации ухудшаются.

На основе изучения условий работы отмеченных гидроузлов разработана технологическая схема автоматизации эксплуатации водозаборных узлов. Предложена схема манипуляции затворами, способствующая уменьшению опасного занесения русла в нижних бьефах [10]. Промывку наносных отложений в нижнем бьефе рекомендуется проводить путем сосредоточения в отдельных пролетах расхода при максимально подпертом уровне.

Список использованной литературы

1. Алтунин С.Т. Регулирование русел рек. - М.: Сельхозиздат, 1962. - 350с.
2. Абдураупов Р.Р., Монаков С.К. Водозаборные узлы. - В кн.: Ирригация Узбекистана. - Ташкент: 1981, т. IV, с. 200-220.
3. Мухамедов А.М. Эксплуатация низконапорных гидроузлов на реках, транспортирующих наносы. - Ташкент: Фан, 1976. - 236с.
4. Абдураупов Р.Р. Процесс занесения нижнего бьефа деривационных узлов и его расчет. - Изв. АН УзССР. Сер. техн. наук, №4, 1957, с. 91-102.
5. Абдураупов Р.Р. О компоновке водозаборного узла ферганского типа. Сб. научн. тр./Среднеаз. НИИ ирригации, 1978, вып. 157, с. 189-195.
6. Шапиро Х.Ш. Регулирование твердого стока и русловых процессов р. Амударьи в связи с резким увеличением водозабора на орошение в ее среднем течении. В кн.: Сб. докл. Всесоюз. совещания по водозаборным сооружениям и русловым процессам. - Ташкент, 1974, с. 439-446.
7. Ушаков А.П., Шолохов В.Н., Якштас И.Я. Низконапорные водозаборные узлы Ферганского типа. - Ташкент: Наука, 1968. - 128с.
8. Тимирова Р.В. Рациональные схемы водозаборных узлов, рекомендуемых к применению на предгорных участках рек. Сб. научн. тр./Среднеаз. НИИ ирригации, 1974, вып. 140, с. 44-57.
9. Мухамедов А.М., Абдураупов Р.Р., Ирмухамедов Х.А. Исследование русловых процессов в нижнем бьефе водозаборного гидроузла им. I Мая на р. Зарафшан. - В кн.: Работа нижних бьефов гидротехнических сооружений. - М., 1970, с. 44-51.
10. Абдураупов Р.Р. Примерная технологическая схема автоматизации эксплуатации водозаборных узлов. Сб. научн. тр./Среднеаз. НИИ ирригации, 1983, вып. 170, с. 53-58.

РЕФЕРАТЫ
к сборнику научных трудов
"Рациональные методы регулирования русел
при интенсивном отборе воды на орошение"

УДК 556.537

Комплексное использование водных ресурсов р.Амударьи и задачи НИР по исследованию стабилизации руслового процесса и его регулирования. Мухамедов А.М.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1985, вып.174

Приведены результаты выполненных НИР и инженерных мероприятий по регулированию русла Амударьи поэтапно, для двух периодов жизни реки: в бытовых условиях и с интенсивным отбором воды на орошение в условиях бесплотинного водозабора и с вводом в эксплуатацию Тахиаташского и Туямуниского гидроузлов; определены задачи НИР в период полного зарегулирования стока Амударьи.

Библ. 16.

УДК 556.53

Натурные исследования гидравлических элементов Кызылкумского магистрального канала. Нуритдинов З.Н., Ирмухамедов Р.Ш., Марков В.Я.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1985, вып.174

Приведена методика проведения натурных исследований на КэМК. Показана зависимость изменения глубины потока, средней скорости и уклона водной поверхности от расхода воды. Получены гидроморфологические характеристики ширины потока от величины расхода и глубин наполнения для сечений канала, откосы которых состоят из мелкого песка, супеси и суглинков.

Иллюстр. 1.

УДК 556.535.8:502.654

О некоторых мероприятиях по предотвращению ухудшения водохозяйственной обстановки в низовьях Амударьи. А.М.Мухамедов, О.А.Каюмов, А.Г.Сорокин

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1985, вып.174

Излагаются причины создавшейся критической обстановки в низовьях

ях р. Амударьи; разработан и предлагается комплекс мероприятий по обеспечению питьевой водой необходимого качества, предупреждению чрезмерного осветления речной воды, а также возможных ее дефицитов.

Иллюстр. I.

УДК 626.821.3:556.535.6

Опытное изучение коэффициента Шези в песчаных руслах при движении донных наносов. Кадыров А.А., Махкамов С.Х.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1985, вып. I74

Анализируются формулы, полученные различными авторами для коэффициента Шези. На основании изучения большого числа литературных источников, а также собственных исследований выявлено, что для оценки величины гидравлических сопротивлений в каналах с несвязными мелкозернистыми грунтами дна следует изучать взаимосвязь коэффициента Шези со следующими характеристиками потока и русла: насыщением потока наносами, режимом движения потока, средней величиной высоты выступа и планового размера шероховатостью.

Иллюстр. 6, библиогр. I2.

УДК 626.821.3:532.5

Морфологические зависимости для устойчивых русел каналов в мелкопесчаных грунтах. Кадыров А.А.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1985, вып. I74

На основе использования выполненной автором ранее схематизации турбулентного течения в плоском канале получены расчетные зависимости для определения характеристик потока V_y , h и U_{cp} для заданного Q в условиях мелкопесчаных русел с ограниченным транспортом наносов.

Иллюстр. I, табл. 2, библиогр. I2.

УДК 532.5:531.7

Натурные исследования бесплотинного водозабора на ЛМК Кызылординского гидроузла. Мухамедов Д.А.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1985, вып. I74

Излагаются результаты натурных исследований, проведенных на Левобережном магистральном канале Кызылординского гидроузла на

участке отвода воды в межхозяйственный распределитель ЛМК-II^В.

Целью исследований являлось изучение кинематики потока и русловых деформаций в канале на участке водозабора. На основании анализа полученных данных сделаны отдельные выводы по диапазону изменения основных параметров канала, качественному и количественному ходу деформации русла канала на исследуемом участке.

Иллюстр. I, библи. 6.

УДК 556.537

Исследование интенсивности русловой деформации р. Амударьи в районе бесплотинного водозабора в КМК. Уркинбаев Р. К., Хамдамов Ш. Р.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1985, вып. I74

В работе приведены результаты натурных исследований русловой деформации р. Амударьи в районе бесплотинного водозабора в Каршинский магистральный канал.

Получены данные об интенсивности береговой и глубинной деформации реки. Даны расчетные зависимости по определению интенсивности смыва берега реки потоком воды и рекомендации по улучшению условий бесплотинного водозабора в КМК.

Библи. 2, иллюстр. 2, табл. 3.

УДК 627.41

Гидравлический расчет берегозащитного сооружения с повышенной шероховатостью. Мирзаятов М., Туракулов А. Э.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1985, вып. I74

Предлагается методика гидравлического расчета разработанной конструкции берегозащитного сооружения с повышенной шероховатостью с использованием местных строительных материалов и крупных камней. Установлены: зависимость допустимой скорости потока для камня, расположенного на подводном откосе, величина сопротивления камня по отношению к потоку, коэффициент застройки и скорость потока за сооружением, глубина максимального размыва в зависимости от кинематичности потока, коэффициента застройки и угла свала потока к сооружению.

Табл. I, библи. 2.

УДК 626.821.3:632.5

Гидравлическое сопротивление потока при переменном режиме в каналах с машинным водоподъемом. Мухамедов Я.С., Тихонова О.Н.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1985, вып.174

Приведены эмпирические зависимости для расчета коэффициента гидравлического сопротивления от режима потока в каналах с машинным водоподъемом.

Иллюстр.1, библи.5.

УДК 627.141.21

Отмостка на участках переформирования гравелисто-галечниковых русел рек. Дмитриев А.Б.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1985, вып.174.

На основании лабораторных исследований получены графики и формулы для определения массы наносов, частично вымываемых на этапах формирования отмостки.

Иллюстр.1, библи.4.

УДК 556.437:627.514.2

Расчет формирования поперечного сечения на повороте при зарегулировании русла поперечными дамбами. Ирмухамедов Х.А., Пироговская Н.О.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1985, вып.174

Предлагается метод расчета формирования поперечного сечения русла и алгоритм расчета на ЭВМ. Расчет можно проводить для различных участков при разных расходах воды.

Иллюстр.1, библи.4.

УДК 627.157

Распределение крупности отдельных фракций наносов по глубине потока на участках водозабора. Арифжанов А.М.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1985, вып.174

Предлагается формула для расчета распределения крупности отдельных фракций по глубине потока.

Иллюстр.1, библи.3.

УДК 627.141.21

Расчет возможности появления самоотмостки дна крупными фракциями в период общего размыва русла. Скрыльников В.А., Локтионов А.Г.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1985, вып. 174

Описан метод расчета общего размыва русла в нижнем бьефе гидроузла с учетом наносов, поступающих из верхнего бьефа, для предельного времени, после которого наступит завал русла нижнего бьефа из-за несоответствия количества поступающих наносов и транспортирующей способности потока.

Даются рекомендации по определению возможности появления самоотмостки дна крупными фракциями в размываемом русле для периода, ограниченного предельным временем размыва.

Библ. 5.

УДК 627.521.1

Прогноз размыва берегов малых водоемов. Садыков А.Х., Ирмухамедова Л.Х.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1985, вып. 174

В результате проведенных исследований получена зависимость объема размыва неукрепленного откоса, зависящая от заложения откоса и энергии волн. По построенным по этой зависимости графикам можно прогнозировать изменение коэффициента заложения неукрепленного откоса, объем размыва грунта, а также границу перемещения размыва по откосу. Предложена расчетная зависимость для определения коэффициента устойчивого заложения откоса.

Иллюстр. 2, библ. 5.

УДК 627.1'...1

Распределение мутности в селевом потоке по длине селехранилища. Исмагилов Х.А.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1985, вып. 174

Рекомендуется расчетная формула для определения мутности в селевом потоке по длине селехранилища.

Иллюстр. 2

УДК 627.157

Некоторые результаты исследований по определению расхода влекомых наносов в среднем течении р.Амударьи. Кучкаров М.М., Шереметовский А.А.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1985, вып.174

Приведены результаты натурных исследований по определению расхода донных (влекомых) наносов при их грядовом движении для участка измерений и участка водозабора в Амударьинский канал.

Получены формулы для определения высоты гряд и расхода донных наносов.

Иллюстр.1, табл.3, библи.5.

УДК 556.537

О гидравлике потока, стесненного оквальной шпорой с переменным коэффициентом застройки. Ирмухамедов Х.А., Бакиев М.Р., Кадиров О.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1985, вып.174

Для конструкции оквальной шпоры с переменным коэффициентом застройки и использованием некоторых положений теории турбулентных струй получены расчетные зависимости для расчета скоростного поля потока за сооружением.

Иллюстр. 1, табл.3.

УДК 556.537:556.535.6

Характер занесения нижних бьефов существующих гидроузлов при интенсивном водозаборе. Абдураунов Р.Р.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1985, вып.174

На основании анализа данных натурных наблюдений установлен характер занесения нижних бьефов. В зависимости от схемы компоновки гидроузлов и от методов борьбы с наносами при водозаборе в нижних бьефах наблюдаются равномерное и неравномерное отложение наносов в виде конуса-выноса. В процессе занесения уровень воды непосредственно за плотинной повышается, что вызывает уменьшение пропускной способности плотины и нарушение нормальных условий водозабора.

Библи.10.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Мухамедов А.М. Комплексное использование водных ресурсов р.Амударьи и задачи НИР по исследованию стабилизации руслового процесса и его регулирования.....	3
2. Нуритдинов З.Н., Ирмухамедов Р.Ш., Марков В.Я. Натурные исследования гидравлических элементов Кызылкумского магистрального канала.....	13
3. Мухамедов А.М., Каюмов О.А., Сорокин А.Г. О некоторых мероприятиях по предотвращению ухудшения водохозяйственной обстановки в низовьях Амударьи.....	21
4. Кадыров А.А., Махкамов С.Х. Опытное изучение коэффициента Шези в песчаных руслах при движении донных наносов	25
5. Кадыров А.А. Морфометрические зависимости для устойчивых русел каналов в мелкопесчаных грунтах	36
6. Мухамедов Д.А. Натурные исследования бесплотинного водозабора на КМК Кызылординского гидроузла	49
7. Уркинбаев, Р.К., Хамдамов Ш.Р. Исследование интенсивности русловой деформации р.Амударьи в районе бесплотинного водозабора в КМК	54
8. Мирзаятов М., Туракулов А.Э. Гидравлический расчет берегозащитного сооружения с повышенной шероховатостью	59
9. Мухамедов Я.С., Тихонова О.Н. Гидравлическое сопротивление потока при переменном режиме в каналах с машинным водоподъемом	65
10. Дмитриев А.Б. Отмостка на участках переформирования гравелисто-галечниковых русел рек	71
11. Ирмухамедов Х.А., Пироговская Н.О. Расчет формирования поперечного сечения на повороте при зарегулировании русла поперечными дамбами	72
12. Арифжанов А.М. Распределение крупности отдельных фракций наносов по глубине потока на участке водозабора	81

13. Скрыльников В.А., Локтионов А.Г. Расчет возможности появления самоотмостки дна крупными фрак- циями в период общего размыва русла	85
14. Садников А.Х., Ирмухамедова Л.Х. Прогноз размыва берегов малых водоемов	89
15. Исмагилов Х.А. Распределение мутности в селевом потоке по длине селехранилища	93
16. Кучкаров М.М., Шереметовский А.А. Неко- торые результаты исследований по определению расхода влекомых наносов в среднем течении р.Амударьи	98
17. Ирмухамедов Х.А., Бакиев М.Р., Кадиров О. О гидравлике потока, стесненного сквозной шпорой с пе- ременным коэффициентом застройки	106
18. Абдураупов Р.Р. Характер занесения нижних бьефов существующих гидроузлов при интенсивном водозаборе ...	III
Р е ф е р а т ы	II6

Св. план 1965 г., поз.2.

РАЦИОНАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ РУСЕЛ ПРИ ИНТЕНСИВНОМ
ОТБОРЕ ВОДЫ НА ОРОШЕНИЕ

Редакторы: Д.Х.Володина, А.С.Меркина, Е.Я.Ялфимова

Р-22350 Подписано в печать 17.ХП.85г. Формат бумаги 60х90 1/16
Тираж 400 экз. Уч.-изд.л. 6,0 Заказ № 1010. Цена 75 коп.

Картфабрика ин-та "Узгипрозем", Ташкент, Мукими, 176