

Министерство высшего и среднего специального
образования РСФСР

Ленинградский гидрометеорологический институт

На правах рукописи

ЮЩЕНКО Юрий Сергеевич

УДК: 556.537

МЕТОДИКА ПРОГНОЗА РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ НА
АНТИРЕКЕ (НА ПРИМЕРЕ ВЕРХНЕЙ СУХОНЫ)

Специальность II.00.07 - Гидрология суши,
водные ресурсы

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Ленинград - 1986

Работа выполнена в Государственном Ордена Трудового
Красного Знамени гидрологическом институте

Научный руководитель - доктор технических наук
Н.С. Знаменская

Официальные оппоненты: доктор географических наук,
профессор Н.Б. Барышников
кандидат технических наук,
доцент А.С. Марченко

Ведущая организация - Институт водных проблем
АН СССР

Защита состоится _____ 1986г. в _____ часов
на заседании специализированного совета К.063.19.01
Ленинградского гидрометеорологического института

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке
Ленинградского гидрометеорологического института

Отзывы в двух экземплярах, заверенные печатью, просим
направлять ученому секретарю по адресу: 195196, Ленин-
град, Малоохтинский пр., д.98, Ленинградский гидроме-
теорологический институт.

Автореферат разослан " " _____ 1986г.

Ученый секретарь
специализированного совета

А.М. Догановский

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Решение задачи оптимального управления водными ресурсами в СССР и в других странах связано с перебросками стока. В свою очередь переброски стока связаны с созданием трасс перебросок. Использование в качестве трасс перебросок естественных долин в тех случаях, когда направление переброски противоположно общему уклону дна долины, связано с устройством "антиводоохранилищ" и "антирек". До сих пор представления о таких объектах очень скудны. Не имеется данных об их русловом режиме и гидравлических сопротивлениях. Сложность проблемы их исследования определяется также отсутствием в настоящее время модели, увязывающей гидравлические сопротивления естественных рек с транспортом донных наносов и изменением их водности. Необходимость решения проблемы гидравлических сопротивлений неоднократно отмечалась в решениях секции ГИИТ по русловым процессам и на ряде Всесоюзных конференций.

Переброски стока в режиме антиреки требуют учета влияния на русловый процесс не только специфики течения по обратному уклону дна, но и изменения многолетнего режима водности потока. В настоящее время вопрос о влиянии водности на русловые процессы еще не получил окончательного решения и для естественных рек.

С необходимостью решения перечисленных выше вопросов, в особенности при создании научно обоснованных представлений о трассах переброски стока, связана актуальность данной диссертационной работы.

Цель и задачи работы. Целью работы является создание пер-

вых научно обоснованных представлений о русловом процессе и гидравлических сопротивлениях на антиреках и методики их прогнозирования.

При этом решаются следующие задачи:

- создание схемы влияния на динамику и размеры русловых форм водности потока, имеющей прогностическое значение;
- создание модели, уязвляющей гидравлические сопротивления естественных рек с транспортом донных наносов и изменением их водности;
- определение основных черт руслового процесса на антиреках путем теоретического и экспериментального исследований;
- создание методики прогнозирования характеристик руслового процесса и гидравлических сопротивлений на антиреках;
- применение разработанной методики к варианту "анти-Сухоны".

Научная новизна работы характеризуется следующим:

- является новой сама постановка исследования русловых процессов и гидравлических сопротивлений "антирек", поскольку это явление пока остается не изученным;
- рассмотрены некоторые вопросы теории руслового процесса, необходимые для разработки методики прогноза русловых процессов в антиреке, в том числе:
 - а/ масштабные превращения русловых форм и связанные с ними гидравлические сопротивления русла при изменении жидкого стока;
 - б/ установлено влияние унаследованных форм русла на возникновение неравномерного режима и двух законов гидравлических сопротивлений русла;
- среди натуральных аналогов "антиреки" рассмотрены участки рек в естественном состоянии при обратном уклоне дна и неравномер-

ном режиме течения;

- рассмотрены также другие аналоги антиреки, их достоинства и недостатки. Данные по ним использованы в зависимостях для шагов мезоформ и уклонов свободной поверхности от расходов воды;

- палеогеоморфологический и палеогидрологический анализ развития русла верхней Сухоны за послеледниковый период, позволивший выявить связь водности реки с мезоформами русла;

- проведено лабораторное исследование переформирования унаследованных мезоформ русла "анти течением", позволившее увязать общие представления о смене законов гидравлических сопротивлений в "антиреке" при неравномерном режиме движения потока, с частными закономерностями переформирования гребней мезоформ и выработкой конечной стадии процесса, а также получить качественную картину этих переформирований.

Практическая значимость и реализация результатов исследования. Практическая значимость диссертации определяется возможностью использования полученных результатов институтом "Совз - гипроводхоз" и другими организациями при оценке гидравлических сопротивлений и русловых процессов как в режиме "река", так и в режиме "антирека".

Работа выполнялась в рамках задания 085.03.23-15-а ГИИТ и являлась частью плана научных исследований гидрофизической лаборатории Государственного гидрологического института.

Результаты выполненных исследований используются Институтом водных проб лем АН СССР и институтом "Ленгипроводхоз", о чем имеются акты внедрения.

Апробация работы. Результаты исследования докладывались и были одобрены на конференции молодых ученых и специалистов ГИИ

/1983г./, Всесоюзных конференциях по изучению русловых и эрозионных процессов в МГУ /1981, 1983г.г./, Всесоюзной конференции "Динамика и термика рек, водохранилищ и эстуариев" в ИВП АН СССР /1984г./, Научном семинаре отдела НИР по крупным каналам института "Совэзгипроводхоз"/1984г./, научном семинаре кафедры гидрологии и климатологии Черновицкого госуниверситета/1985г./, совместных научных семинарах отделов прогнозов, русловых процессов, переборки стока и гидрофизической лаборатории ГГИ/1981-1985г.г./.

Публикации. Основные результаты исследования отражены в шести опубликованных работах.

Объем и структура диссертации. Работа состоит из введения, пяти глав и заключения, 2 табличных и графических приложений и включает 116 страниц основного машинописного текста, 32 рисунка и 2 таблицы, а также 52 старницы табличных и 4-графических приложений. Общий объем работы - 226 страниц. Список использованной литературы содержит 161 наименование, в том числе 16 на иностранных языках.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе диссертации дается краткий анализ изученности вопроса о прогнозировании руслового процесса на антиреке. Рассмотрены современные представления о прогнозировании руслового процесса вообще. Сформулирована общая задача диссертационного исследования.

Наиболее общие представления о решаемой проблеме можно описать следующим образом.

В практике проектирования водохозяйственного использования речных потоков иногда возникают ситуации, когда приходится речные воды направлять против их естественного направления течения. В

этих случаях общие уклоны дна и свободной поверхности потока становятся противоположны по знаку. Такие участки принято называть "антиреками". В условиях антиреки могут происходить деформации дна и берегов, то есть русловой процесс. Однако такие русловые деформации неизучены и неизвестны. Можно сказать лишь, что к началу образования антиреки на данном участке существовал обычный рельеф русла, с русловыми формами, ориентированными по направлению естественного течения реки. Изменения направления течения и всего гидрологического режима потока должны привести к изменению размеров русловых форм, возможно типа руслового процесса, и к переработке всего продольного профиля дна. Эти изменения займут определенный период времени. В начальный же период будет наблюдаться неустановившийся характер деформаций русла, связанный с необходимостью приспособления его старых форм к новому режиму потока. Эти изменения, общий ход процесса и его конечные стадии следовало бы уметь предсказывать.

Во второй главе дается краткий обзор состояния отдельных вопросов, определяющих прогнозирование руслового процесса на антиреке. К ним относятся: теоретические представления о русловом процессе, оценка влияния водности рек на русловой процесс, законы гидравлических сопротивлений аллювиальных потоков, существующие научные представления об антиреках и их русловом процессе.

Отмечается, что наиболее общие постулаты и положения теории руслового процесса рассматриваются в гидроморфологической теории, в рамках которой и выполняется диссертационная работа.

Рассматривая влияние водности потока на русловой процесс, выделяется три структурных уровня этого влияния: 1/ воздействие на русло отдельного паводка или группы паводков; 2/ воздействие

многолетнего гидрографа; 3/взаимосвязь некоторых осредненных характеристик водности с характеристиками русла и поймы. На трех этих уровнях существуют качественно различные законы взаимосвязи между водностью потока и русловым процессом и, соответственно, решаются различные задачи.

Со структурным транспортом наносов в реках, то есть с их русловым процессом, тесно связаны гидравлические сопротивления русловых потоков. В этих условиях представлял бы интерес поиск законов гидравлических сопротивлений на различных уровнях организации системы поток-русло и в связи с соответствующими характеристиками определяющих факторов.

Отмечается, что в настоящее время число публикаций об антиреках очень мало. Пока не созданы единые представления о них. Выделяются различные источники информации, которые можно использовать при разработке вопроса о прогнозировании руслового процесса на антиреке.

В третьей главе диссертации рассматриваются схема влияния водности на процессы руслоформирования и метод прогнозирования размеров русловых форм.

Влияние основных многолетних характеристик водности потока / и их изменчивости / на русловую процесс изучено недостаточно и требует дальнейшего исследования. В настоящей диссертации сделана попытка рассмотреть этот вопрос с точки зрения исследования закономерности смены масштабов русловых форм с изменением водности, а также смены типов руслового процесса при изменении водности в пределах одного масштаба русла. В качестве основной закономерности, управляющей сменой масштабов русла рассматривается закономерность удвоения шагов русловых форм при увеличении расходов воды. Другой

закономерностью, определяющей размеры русла и гидравлические сопротивления является свойство наследования руслового рельефа от высоких паводков.

Эти закономерности опираются на представления о грядовом движении наносов и процессах руслоформирования, изложенных Н.С. Знаменской /1963, 1976, 1981, 1983/, а также на палеоморфологических и палеогидрологических реконструкциях развития русел рек выполненных различными исследователями, а также автором /1983 и 1985 /.

Факты, прямо либо косвенно говорящие об объединении либо дроблении гряд, опубликованы в литературе по русловому процессу.

Дискретные изменения волновых профилей — закономерное явление. Необходимость таких переходов для ветровых волн показал Н.Е. Кондратьев /1951, 1968/, а для донных гряд Н.С. Знаменская /1963, 1984/.

Активное перемещение русловых форм, занимающих всю ширину русла /мезоформ/ протекает аналогично в русловых потоках самых различных абсолютных размеров. Зависимость между водностью потока и шагами мезоформ должна быть единой во всем диапазоне их изменения.

Были проанализированы существующие попытки построения аналогичных зависимостей. Наиболее удачной из них оказалась зависимость В.В. Ромашина /1969/. Она получена на обширном натурном материале и для ее построения использовался метод фрагментирования, то есть осреднения рассматриваемых характеристик в определенных диапазонах. Зависимость имеет вид:

где: L — шаг русловых мезоформ, \bar{Q}_{\max} — максимальный годовой расход воды пятидесятипроцентной обеспеченности.

Зависимость В. В. Ромашина /АБ на рис. I/ использована нами в качестве базовой. Она продлена в область лабораторных данных /АК на рис. I/ и служит границей, разделяющей активное и пассивное состояние русловых мезоформ каждого данного шага при различной водности потока. Далее на эту зависимость нанесены ступени, соответствующие удвоению шагов русловых мезоформ. Нижняя огибающая этих ступеней соответствует границе их существования.

Полученная таким образом зависимость была проверена по данным о шагах мезо- и макроформ естественных и лабораторных русловых потоков, известным из литературы. В зону между кривыми АБ и ВГ попали точки и кривые, соответствующие данным об активном сменении русловых мезоформ, а выше кривой АБ — данных об их пассивном существовании и развитии макроформ.

Такие данные нами получены как из отечественной, так и из зарубежной литературы. Они относятся к рекам Миссисипи, Волга, Обь, Амур, Полометь, Ока, горным рекам Кавказа, Средней Азии, Японии; эрозийным ручьям; лабораторным моделям и лоткам. Из рис. I видно, что полученные нами диапазоны расходов воды, соответствующие каждому масштабу русловых форм, в большинстве случаев совпадают с градами порядков потоков, выделенными Н. А. Ржаницким /1960/. Такая проверка на полностью независимом материале дает возможность считать, что полученная зависимость в целом верна и, следовательно, может быть использована в прогностических целях. Ее прогностическое значение в первую очередь связано с тем, что она охватывает практически весь диапазон изменения водности потока и шага русловых форм, существующих как в естественных реках, так и в лаборатории.

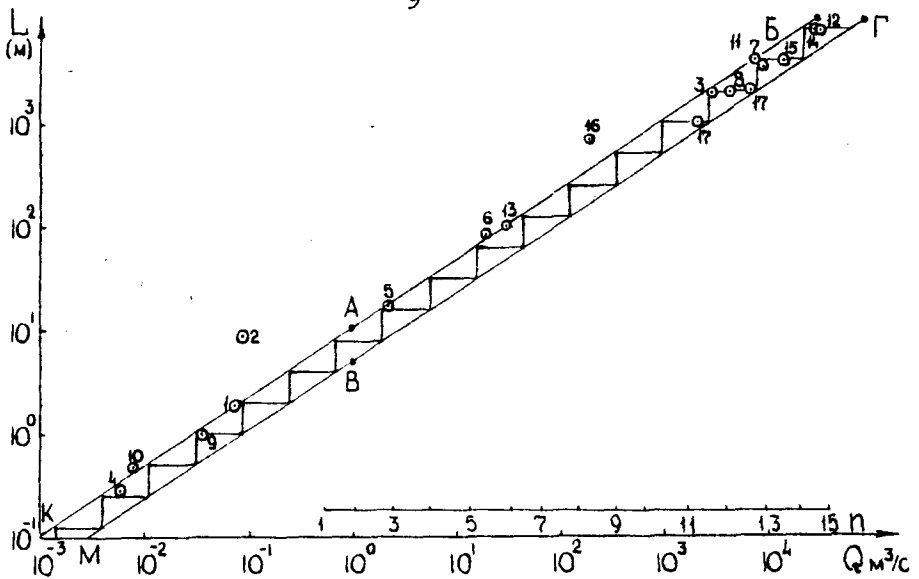


Рис. I. Дискретное изменение шагов русловых мезоформ с изменением руслоформирующих расходов воды. n - порядок потока по Н.А.Ржаницину. 1-лоток, гряда (Ю.С.Ющенко, 1983), 2-модель канала, гряды-мезоформы (В.М.Католиков, 1983), 3-р.Селенга, мезоформы (А.Б.Клавен, Б.Ф.Снищенко, 1978), 4-лоток, гряды (А.Б.Клавен, Э.Д.Копалиани, 1974), 5-б-р.Струма, мезоформы (Г.Гергов, 1974), 7-р.Томь, мезоформа (Г.Г.Мессерлянс, 1974), 8-р.Амударья, мезоформы (О.А.Твалавадзе, 1973), 9-лоток, гряды (В.Ф.Пумкарев, 1948), 10-модель р.Оби (Н.С.Знаменская, 1976), 11-р.Обь, побочни (Н.С.Знаменская, 1981), 12-р.Амур, мезоформы (Н.С.Знаменская, 1981), 13-р.Полометь, мезоформы (В.А.Виноградов, 1973), 14-р.Волга, осередок (Н.С.Знаменская, 1965), 15-р.Волга, побочни (И.А.Шнеер, 1974), 16-Кара-Кумский канал, мезоформы (Б.Ф.Снищенко, 1979), 17-р.Сухона, мезоформы (Ю.С.Ющенко, 1983)

Это позволяет автоматически учитывать масштабный эффект, возникающий при распространении частных закономерностей, полученных для русел одного размера на аналогичные русла другого размера. Прогноз размеров будущих русловых мезоформ и степени их активности дается исходя из анализа предполагаемой водности проектируемого водотока. Такого рода прогноз важен при оценке будущего руслового режима антирек, поскольку на них будут развиваться процессы интенсивной переработки продольного профиля дна.

В четвертой главе диссертации рассматриваются вопросы прогнозирования руслового процесса и гидравлических сопротивлений на антиреках, даются соответствующие рекомендации. Они базируются как на принятой нами схеме изменения рельефа русла при изменении водности потока, так и на данных проведенного автором лабораторного изучения процесса антитечения.

В начале главы дается предварительная характеристика основных черт антиреки, условий возникновения антирек, приводится терминология, которая будет использована при их описании. Перечисляются факторы, которые прямо либо косвенно будут оказывать воздействие на русловой процесс на антиреке и выделяются те из них, которые необходимо учесть первоначально. Рассматриваются пять основных вариантов возможного развития русла антиреки и четыре случая возможного грядового движения наносов в антиреке. На основе приведенных теоретических представлений конкретизируется постановка задачи для лабораторного исследования и выделяются вопросы, подлежащие решению в первую очередь.

Далее рассматриваются аналоги антиреки. Анализируются положительные и отрицательные стороны каждого из них и выбираются наиболее информативные и соответствующие разрабатываемой методике прогноза.

На первый взгляд за аналоги антирек в естественных условиях можно принять участки, где наблюдается течение/хоть в короткий промежуток времени/обратное естественному течению реки. Такое течение наиболее часто наблюдается на устьевых участках рек, что связано либо с приливами, либо с подпорами от главной реки или водоема. Известны также случаи обратного течения на реках, вытекающих из озер, вследствие опережения паводка на близлежащем к истоку крупном притоке.

Вышеперечисленные участки являются аналогами антирек по признаку факта перемены направления течения.

Другим требованием к аналогам антирек в натуре является необходимость того, чтобы на этих участках наблюдались процессы перестройки русловых форм, аналогичные тем, которые будут происходить в проектируемых антиреках. В этом отношении вышеперечисленные аналоги не являются показательными, так как на них нет возможности проследить ни процесс накопления изменений в деформациях дна, ни конечную стадию его переработки.

Рассматриваемый признак аналогии представляется наиболее важным, в особенности на начальной стадии исследования вопроса, когда изучаются процессы при постоянном режиме антитечения/ то есть в более простом случае/.

По этому признаку к числу естественных аналогов антиреки нами были причислены и такие участки, где течение не обращается вспять, а в определенные периоды времени уклон свободной поверхности потока становится обратным уклону дна. Ими являются нижние бьефы ГЭС, участки течения от плеса до переката. При этом в нижних бьефах можно наблюдать и конечную стадию такого развития русла, когда уклоны дна и свободной поверхности придут в новое соответствие.

Анализ динамики системы поток-русло при изменении водности потока/проведенный также в главе 3/указывает на ведущую роль ее дискретных структурных перестроек и процессов унаследования в формировании не только русла, но и наиболее общих гидравлических характеристик самого потока. Это можно отнести и к гидравлическим сопротивлениям, а конкретно к продольным уклонам его свободной поверхности.

На рис. 2 представлен график зависимости уклонов свободной поверхности русловых потоков \bar{J} от водности/расход воды- Q / и диаметра частиц донных отложений d /. Как следует из схемы удвоения гряд, русловые формы наибольшего размера отвечают наибольшим/руслоформирующим/расходам воды в многолетнем ходе водности и унаследуются от этих экстремальных условий. В период их активной "жизни" уклоны свободной поверхности потока равны среднему уклону дна/уклону долины/ и движение потока можно считать квазиравномерным. Построенная для этих условий серия зависимостей $\bar{J} = f(Q, d)$ /показывает уменьшение уклонов свободной поверхности с ростом абсолютного размера потока, оцениваемого величиной $Q_{p/d}$ /руслоформирующий/.

При уменьшении расходов воды от $Q_{p/d}$ уклоны свободной поверхности на участках напорных скатов гряд-мезоформ/переходов от плесовых лощин к перекатам/ и гребней изменяются по разным законам. В первом случае они совпадают, а во втором интенсивно нарастают. Такой их ход отражен на рис. 3. Для упрощения рисунка приведена только одна кривая квазиравномерных режимов/для $\bar{d} \approx 2+5\text{мм}$ /. Узловые точки определены по максимальным руслоформирующим расходам для каждого дискретного шага русловых форм на рис. 1.

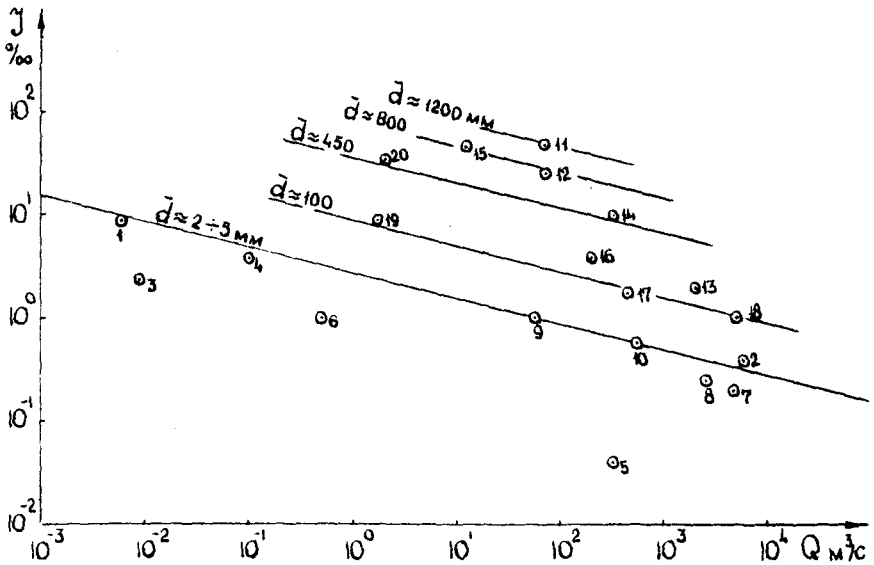


Рис.2. Обобщающая зависимость уклонов свободной поверхности русловых потоков от их водности и диаметра донных отложений.

1- лоток (А.Б.Клавлен, Э.Д.Копалиани, 1974), 2- р.Селенга (А.Б.Клавлен, Б.Ф.Снищенко, 1978), 3- модель р.Дон (Н.С.Знаменская, 1976), 4- лоток (Э.Д.Копалиани, 1972), 5- Кара-Кумский канал (Э.Ф.Снищенко, 1979), 6- модель канала (В.М.Католиков, 1983), 7- р.Аму-Дарья (В.С.Лапшенков, 1979), 8- р.Сухона (Ю.С.Юценко, 1983), 9- р.Полометь (Ю.М.Корчоха, 1968), 10 и 11- р.Терек, 12- р.Кара-Балты, 13- р.Вахш, 14- р.Сох, 15- р.Б.Алмаатинка, 16- р.Куршаб, 17- р.Арысь (В.С.Лапшенков, 1979), 18- р.Прут (Ю.С.Юценко, 1983), 19- р.Конявска (Г.Гергов), 20-р.Каранкуль (А.Ю.Умаров, 1965)

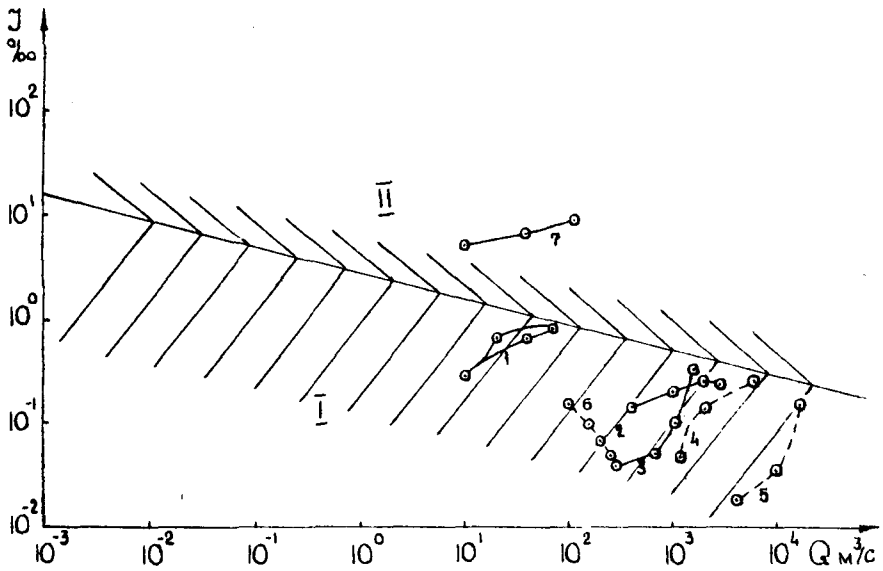


Рис. 3. Частные зависимости уклонов свободной поверхности русловых потоков от расходов воды при $Q_i < Q_p$
 I- для зон подпора, II- для зон ската с гребней.

I- р.Полометь - с.Яжелбицы (Ю.М.Корчоха,1968), 2- р.Сухона-г.Тотьма (Гидрологический ежегодник,1957), 3- р.Кеть- п.Максимкин Яр (Н.Б.Барышников,1984), 4- р.Обь- г.Барнаул (Н.С.Знаменская,1985), 5- р.Волга - г.Тольятти (Б.А.Иванов, Б.Ф.Снищенко,1976), 6- р.Луга - п.Толмачево (Н.Б.Барышников,1984), 7- р.Изымта (А.В.Караушев 1977)

Количество данных об уклонах свободной поверхности на участках ската гребня мезоформ мало, однако по имеющимся удалось приблизительно установить их положение /кривые II на рис.3/.

Математическое выражение системы полученных зависимостей имеет вид:

а/ для кривых квазиравномерного режима-

$$\bar{J} = A \cdot Q^{-\frac{1}{3}}, \quad \text{где } A = f(\bar{d}) \quad /4.1/$$

б/ для кривых на участках напорных скатов мезоформ и плесовых лощин-

$$\bar{J} = a \cdot Q^{\frac{3}{4}} \quad /4.2/$$

Проведена оценка коэффициентов A и a:

$$A = \frac{\bar{d}^{\frac{2}{3}}}{4000} \quad /4.3/$$

$$a = 50 \cdot \left(\frac{\bar{d}}{B}\right)^{\frac{4}{3}}, \quad \text{при } Q_{p/cn} = \text{const} \quad /4.4/$$

С целью изучения гидравлических сопротивлений и структурного транспорта наносов при антитечении в русловой лаборатории ГТИ автором был проведен пионерный эксперимент. Сутью его методики являлось использование возможности сравнения экспериментальных данных с закономерностями дискретного, структурного транспорта наносов, описанными в предыдущих частях работы, охватывающими как лабораторные, так и натурные данные. Благодаря этому появилась возможность отказаться от обычно предполагаемой методики, по которой первым этапом считается создание прямым течением определенных форм русла, а затем на втором этапе исследуются обратное течение с равным расходом воды и проводимые им деформации русла. Вместо такого пути целесообразно использовать искусственно созданный в русловой установке общий обратный уклон дна, на котором

размещаются размываемые антигряды. Важно подчеркнуть, что при этом общие обратные уклоны дна, параметры антигряд, расходы воды, крупность наносов, а также, во-возможности, и ширина лотка выбираются не произвольно, а во взаимной увязке и опираясь на зависимости, представленные на рис. 1, 2 и 3, относительно которых и должно производиться сравнение полученных экспериментальных данных. Такая методика позволяет сравнивать неравномерный режим в реках и антиреках в примерно аналогичных условиях.

Полученные качественные результаты эксперимента позволили впервые описать переработку антигряд антитечением и характер свободной поверхности потока при этом.

Общие уклоны свободной поверхности над антигрядами зависят от стадии их перемыва.

В целом они имеют меньшие значения, чем уклоны над перемываемой частью антигряды. Характерной чертой переработки антигряд является возникновение в гребневой части и дальнейшее распространение по бывшему напорному скату "гряды нового режима", на поверхности которой перемещаются микроформы.

Основными факторами, влияющими на процесс перемыва антигряд и гидравлические сопротивления потока при этом являются: расход воды Q_i , уровень свободной поверхности на подходе к антигряде /в целом-уровень наполнения антиреки/ и стадия переработки антигряды, то есть ее конфигурация. Формализация их возможна в виде: Q_i/Q_p -относительная активность расхода, J_i/J_p -относительный уровень продольных уклонов свободной поверхности/ J_p - уклон при прохождении Q / и h_i/Δ_p -параметр, учитывающий уровень наполнения антиреки и степень сработки антигряды/ h_i -глубина потока на подходе к антигряде в бывшем под валье, Δ_p -высо-

та гряды-мезоформы такого же шага в условиях активного руслоформирования/. По экспериментальным данным построены графики зависимости интенсивности транспорта наносов на гребне антигряды/гладкая фаза, грядовое движение, движение отдельных частиц или полное его отсутствие/, $\mathcal{J}_i / \mathcal{J}_p$ от Q_i / Q_p и h_i / Δ_p .

Исходя из методики проведения опытов можно использовать эти графики в первом приближении как оценочные для определения уклонов свободной поверхности и уровня гидравлических сопротивлений, а также режима переработки гребней антигряд на антиреках.

В заключение главы даются рекомендации по методике прогноза руслового процесса и гидравлических сопротивлений на антиреках. Там будут изменяться все определяющие факторы руслового процесса и, соответственно, развиваться необратимые деформации. Гидролого-морфологическая схема развития русла в этом случае должна отражать переход от старого/бытового/ состояния динамического равновесия системы поток-русло к новому. Это новое состояние, как правило, должно быть состоянием реки, соответствующим новым, стабилизировавшимся значениям определяющих факторов руслового процесса. Это состояние предлагается прогнозировать с учетом приведенных выше обобщающих графиков $L = f / Q$ / и $\mathcal{J} = f / Q, \bar{d}$ / , поскольку они справедливы для любых рек и сопоставимы с данными об антиреках. Данные об интенсивности транспорта наносов и уровне гидравлических сопротивлений на участках гребней антигряд на первых, промежуточных стадиях переработки продольного профиля можно оценивать в зависимости от Q_i / Q_p и h_i / Δ_p .

В пятой главе излагаются результаты исследований морфологии русла и руслового процесса р. Сухоны в естественных условиях и прогноз русловых деформаций на ней в условиях антиреки.

В частности, удалось установить зависимость шагов русловых форм от водности потока. Эти данные были использованы при построении обобщающей зависимости $L = f / Q /$ и полностью совпали с использованной там схемой.

В заключение пятой главы дается прогноз руслового процесса и гидравлических сопротивлений на анти-Сухоне. Его основной вывод следующий. Использование р. Сухоны в режиме "антирека" с расходом антитечения $200 \text{ м}^3/\text{с}$ в периоды половодья возможно с точки зрения минимальных деформаций русла. Повышение расхода антитечения хотя бы до $400 \text{ м}^3/\text{с}$ приведет к началу перестроек всего русла верхней Сухоны и потребует учета русловых деформаций.

В заключение диссертационной работы излагаются основные полученные результаты.

1. Основным звеном разработанной методики прогноза руслового процесса на антиреках является учет влияния активного определяющего фактора руслового процесса - водности потока. Разработана схема влияния водности на размеры и динамику микро- и мезоформ русла. На базе этой схемы получены обобщающие гидроморфологические зависимости типа $L = f / Q /$ и $J = f / Q, \bar{d} /$. Эти зависимости учитывают влияние масштабного эффекта и не являются региональными. В связи с этим они носят прогностический характер.

2. Исходя из того, что нам необходимо прогнозировать достаточно длительные и развитие деформации, охватывающие русловые мезо- и макроформы разработана аналогия антиреки по обратным уклонам дна. Такая аналогия позволяет вести сравнение рек и антирек. Анализ возможных аналогов антиреки показал преимущество именно этой аналогии.

3. Проведенный пионерный лабораторный эксперимент показал,

что неравномерный режим движения потока и неустановившийся процесс деформаций дна антиреки в первом приближении можно оценивать на основании разработанной аналогии антиреки и сравнения с обобщающими зависимостями $L = f / Q$ / и $J = f / Q, \bar{d}$ /.

Переработка антигряды осуществляется за счет гряды нового режима. Она зависит от стадии переработки антигряды, уровня наполнения антиреки и расхода антитечения.

4. Анализ развития русла верхней Сухоны показал, что оно не противоречит принятой нами схеме дискретных качественных превращений мезоформ русла. Он позволил объяснить унаследованность современных макроформ и общую малую интенсивность современных русловых деформаций в связи с изменениями определяющих факторов руслового процесса в голоцене.

5. Анти-Сухона способна пропустить расход антитечения $200 \text{ м}^3/\text{с}$ в периоды половодий без существенных деформаций русла. Повышение расхода антитечения требует проведения русловых расчисток на верхнем, лимитирующем участке Сухоны и дальнейших эксплуатационных расчисток в местах скопления донных наносов.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Способы учета деформаций русла при переброске части стока. - В кн.: Закономерности проявления эрозионных и русловых процессов в различных природных условиях. - М., Изд. Московского университета, 1961, с. 381-382 / в соавторстве с Н. С. Знаменской /.

2. Гидравлические сопротивления в условиях антиреки. - В кн.: Исследования русловых процессов для практики народного хозяйства. - М., Изд. Московского университета, 1963, с. 89-90 / в соавторстве с Н. С. Знаменской /.

3. Прогноз деформаций русла верхней Сухоны в условиях антитечения. - В кн.: Исследования русловых процессов для практики народного хозяйства. - М., Изд. Московского университета, 1983, с. 106-107 / в соавторстве с Н.С. Знаменской/.

4. Саморегуляция системы поток-русло при изменении водности потока. - Деп. УкрНИИТИ, 1984, № 1470 УН-84 Деп., 7 с.

5. Гидравлические сопротивления и транспорт наносов при обратных уклонах дна. - В кн.: Динамика и термика рек, водохранилищ и эстуариев. - М., Изд. АН СССР, т. I, с. 191-192.

6. История развития русла верхней Сухоны. - В сб.: Вопросы гидрологии суши. Доклады конференции молодых ученых и специалистов. - Л., Гидрометеониздат, 1985, с. 164-167.

Ответственный за выпуск: Кирилук Мирослав Иванович, кандидат
географических наук, доцент

Подписано к печати 07.03.86. ВД 04156.
Формат 6Сх84/16. Бумага типографская № 2.
Офсетная печать. Усл. печ. листов 0,93.
Уч.-изд. листов 1,0. Заказ 096. Тираж 100.
Бесплатно.

Лаборатория копировально-множительной печати Черновицкого
государственного университета

г.Черновцы, ул.Коцюбинского, 2