



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра водно – технических изысканий

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему Исследование турбулентного потока
при грядовом режиме движения наносов

Исполнитель Толстенко Артем Евгеньевич
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель К.Г.Н
(ученая степень, ученое звание)

Исаев Дмитрий Игоревич
(фамилия, имя, отчество)

Консультант _____
(ученая степень, ученое звание)

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой



(подпись)

профессор, К.Г.Н
(ученая степень, ученое звание)

Исаев Д.И.
(фамилия, имя, отчество)

«12» 06 2023 г.

Санкт-Петербург
2023

Оглавление

Введение	3
Глава 1. Теоретические сведения о турбулентном потоке	6
1.1 Основные сведения о турбулентном потоке	6
1.2 Теории и структуре турбулентного потока	7
1.2.1 Теория М. А. Великанова	7
1.2.2 Теория В. Н. Гончарова	9
1.2.3 Теория Н. Е. Кондратьева.....	12
1.2.4 Теория К. В. Гришанина.....	13
1.2.5 Теория А. В. Караушева.....	15
1.2.6 Теория Н. С. Знаменской	16
1.2.7 Теория В. М. Макавеева	17
1.2.8 Теория А. А. Таунсенда	19
1.2.9 Теория Т. Теодорсена.....	19
1.3 Заключающие положения о турбулентности потока	20
Глава 2. Теоретические сведения о донно-грядовом типе движения наносов	22
2.1 Основные сведения о донных грядах	22
2.2 Классификации донных гряд.....	24
2.2.1 Классификация В. Н. Гончарова.....	25
2.2.2 Классификация Дж. Кеннеди	28
2.2.3 Классификация Н. С. Знаменской	29
2.3 Заключительные положения о донных грядах	31
Глава 3. Экспериментальные исследования турбулентного потока при донно-грядовом типе движения наносов	32
3.1 Исследование в лабораторных условиях	33
3.1.1 Ход работы по лабораторному исследованию	33
3.1.2 Обработка результатов лабораторного исследования	37
3.2 Исследование в природных условиях	39
3.2.1 Физико-географическое описание ручья Красный	40
3.2.2 Ход работы по натурному исследованию	41
3.2.3 Обработка результатов натурального исследования	43
Заключение.....	48
Список использованной литературы	50

Введение

Как нам известно из курса гидрологии, движение потока жидкости подразделяется на две основополагающие разновидности: ламинарный и турбулентный.

Ламинарный тип движения жидкостей характеризуется таким течением, когда их слои, либо струи производят движение без перемешивания слоев и каких-либо завихрений. При таком типе движения воды в потоке, ее слои либо струи идут почти параллельно друг другу. Такая разновидность течения крайне редко встречается в реальных природных условиях, можно сказать, что не встречается вовсе.

Еще одним типом движения жидкостей является турбулентное. Такой разновидности течения характерно активное перемешивание разных ее слоев и струй. Зачастую такое явление возникает на границах двух сред: жидкой и твердой. Например, когда поток воды встречается с шероховатостью его дна и всякими возможными препятствиями. Но не только лишь эти факторы влияют на его образование. Такой вывод можно сделать исходя из тех соображений, что подавляющее большинство водотоков обладают таким режимом, независимо от характеристик гладкости стенок, глубины, ширины и так далее.

Вопрос о механизмах образования и протекания процесса турбулентности жидкостей начал активно интересовать многих исследователей еще несколько сотен лет назад. Золотой эрой по части изучения вопросов турбулентности стал период с 1920 г. по 1970 г. В это время был произведен наибольший прогресс в понимании характеристик турбулентного течения и выдвинуто огромное количество теорий, как от отечественных, так и от зарубежных исследователей

На сегодняшний день, данное явление имеет уже достаточно плотную изученность. Но, то огромное количество теорий, что было выдвинуто за время исследований, так и не смогли сомкнуться на том, чтобы прийти к какому-то

общему мнению и трактованию вопроса о механизме турбулентности потока жидкости. Все вышесказанное наводит нас на понимание того, что вопрос еще неокончательно изучен, и в ближайшем будущем требует разработок все новых теорий и попыток экспериментов для того, чтобы более глубоко разобраться в этом вопросе и прийти к единому мнению о механизмах данного процесса.

Помимо темы турбулентности потоков жидкостей в данной работе будет подниматься вопрос о донном рельефе и его разновидностях, что, в свою очередь, является следствием из турбулентных явлений в потоке.

Одной из разновидностей рельефа руслового дна являются донные гряды. Которые, в свою очередь, также являются следствием контакта жидкой и твердой сред, и процесса движения турбулентных завихрений в потоке жидкости.

Исследование данного явления приходилось примерно на те же временные промежутки, что и исследования турбулентного потока. Нередко такие исследования проводились теми же самыми людьми, так как и один и второй вопрос являются смежными между собой.

Если обобщить все изученные материалы, и обдумывая вопрос изученности вопроса о донных грядах, можно прийти к тому же самому выводу, как и с турбулентным потоком, что вопрос имеет достаточно большую изученность, но по сей день множество из существующих теорий не могут нас привести к какому-то единому пониманию механизмов образования и течения данного процесса.

Целью же этой научной работы является нахождение, изучение и анализ взаимосвязи между грядовой формой дна русла и характеристиками турбулентного течения в нем. А в частности, нас интересует чуть более узкий вопрос о том, каким образом изменяется характеристика интенсивности турбулентных явлений в потоке относительно его наблюдения в различных характерных зонах донных гряд.

С целью изучения данного вопроса, мною был произведен ряд лабораторных и натурных исследований. С методиками и результатами которых я вас ознакомлю ниже.

Глава 1. Теоретические сведения о турбулентном потоке

1.1 Основные сведения о турбулентном потоке

Как известно, в настоящее время, выделяют несколько типов движения жидкостей: ламинарный, турбулентный и выделяемая между ними некая переходная область.

Ламинарный режим движения в природе встречается очень редко. Только лишь в период межени на пересыхающих водотоках на участках между перекатами, разделяющихся на бьефы можно наблюдать очень низкоскоростное движение жидкости с характеристикой движения присущей переходной области, напоминающее ламинарное, но не являющееся им. Также приближенное к ламинарному типу движения воды может наблюдаться на руслах в период максимального зарастания водной растительностью, потому что она как расческа причесывает возникающие вихри. Еще такой тип движения можно встретить на северных реках в период зимней межени, либо реках, протекающих в регионах с очень низкими температурами в зимнее время. Описывает это явление высокая характеристика вязкости переохлажденной жидкости, что в свою очередь мешает активному образованию внутренних вихрей. Ламинарный режим наиболее характерен для движения грунтовых вод. Таким образом можно еще очень много говорить о ламинарном типе движения, приводя различные теории и уравнения, но делать я этого не буду, так как тема данной работы относится больше именно к турбулентному режиму движения.

Турбулентный тип движения жидкости встречается в большинстве каналов, рек, и других открытых водотоков. Характеризуется такой режим активным перемешиванием между различными слоями и струями жидкости. Теорий о турбулентном режиме движения и его структурных особенностях

существует огромное количество, так как вопрос очень малоизучен, и из-за этого вызывает большой интерес многих исследователей в этой области.

Предлагаю ознакомиться с несколькими из основных теорий об этом режиме движения и его структуре.

1.2 Теории и структуре турбулентного потока

В следствие того, что период 1920-1970гг. стал золотой эрой экспериментальных натуральных и лабораторных исследований вопроса турбулентности, появилось огромное множество теорий о принципах протекания данного процесса. Обобщая, можно сказать, что появившиеся от разных авторов объяснения структуры руслового течения при своей определенной схожести, в тоже время кардинально отличались по конкретным деталям, а иногда и по своей принципиальной сути.

Приведу вам несколько из основных опубликованных в то время попыток схематизации структуры турбулентного потока и разъяснений механизмов его движения.

1.2.1 Теория М. А. Великанова

Первопроходцем в области схематизации структуры турбулентного движения стал М. А. Великанов. Выдвинутая им структурная теория руслового потока предполагала вместо полного спектра пульсирующих вихрей рассматривать только колебания одной, самой низкочастотной структурной единицы, которая представляет собой дискретный элемент структуры наибольшего размера по отношению ко всем остальным. Также Великанов

предлагает в своей теории разделить актуальное поле скоростей движения потока на три разноплановых поля:

- Поле осредненных скоростей.
- Поле пульсационных структурных скоростей, которое генерируется путем перемещения наибольших по размеру элементов структуры потока и описывающихся практически закономерными или же квазипериодическими колебаниями среды.
- Поле скоростей случайных пульсаций, которое формируется за счет структурных элементов более меньшего размера.

Главным элементом структурного изображения и основой строения турбулентного потока по Великанову являются вихри наибольшего размера в поперечном сечении. Присущей им характеристикой является наибольшая крутизна и высота в месте, где они имеют восходящий вектор движения относительно потока, и, наименьшая крутизна и высота характерна для сменяющего нисходящего вектора движения данного структурного элемента. Такие вихри исходя из схемы имеют сравнительно простое внутреннее наполнение. Движение таких турбулентных образований, из слов Великанова, происходит путем некоего скольжения по дну потока. Между рядом идущими основными вихревыми структурами в той области, где происходит переход от нисходящего движения к восходящему находятся, образованные путем вращения главных элементов вихри более низкого порядка. Что интересно, со схемы Великанова их образуется несколько, и, они приобретают противоположный вектор вращения относительно смежных с ним элементов. Такое явление может издали напомнить движение металлических шестерней в различных агрегатах промышленного происхождения, которые путем своего разнонаправленного вращения передают крутящий момент таким же соседним деталям. Если продолжать рассуждения в этом направлении, Великанов нам говорит, что между любыми двумя вихрями одного порядка, с одним и тем же

направлением вращения обязательно возникнут похожие возмущения, но уже более низкого порядка и направление их вращения будет противоположным, и так будет происходить до того момента, пока самые мелкие по структуре вихри, которые будут обладать уже очень малым остатком энергии, уже не смогут воспроизвести более мелкие возмущения, путем сил вязкости преобразуются собственно в теплоту. Ниже, на рисунке приведена схематизация структуры турбулентного руслового потока, построенная по данным выше соображениям Великанова.

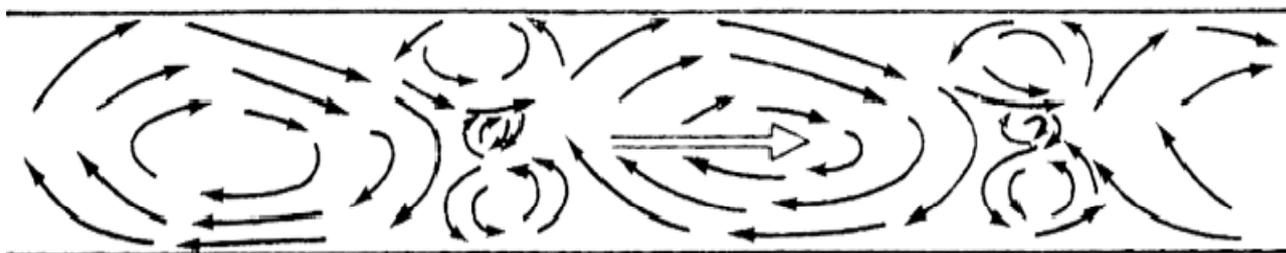


Рис. 1 - Схематизация кинематической структуры потока по М. А. Великанову

1.2.2 Теория В. Н. Гончарова

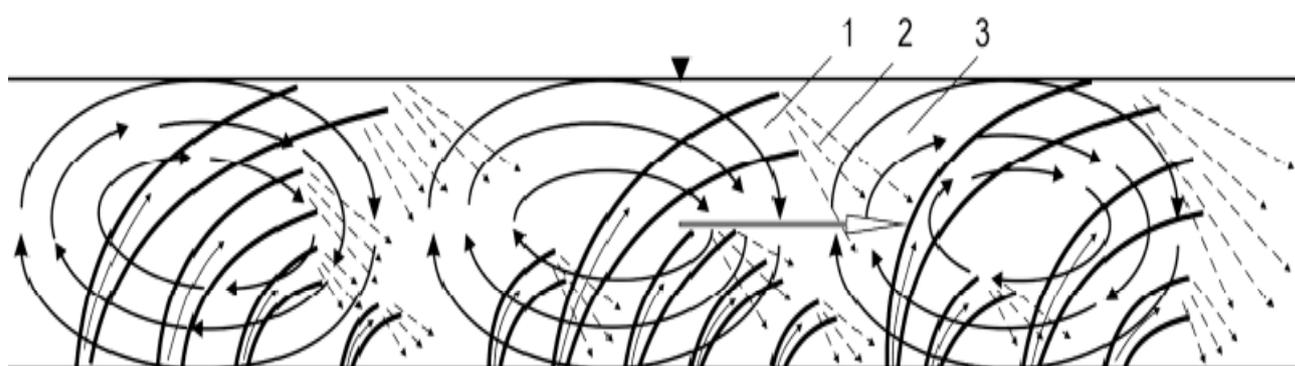
Приблизительно в то же время В. Н. Гончаров выдвигает в свет свой собственный вариант схематизации структуры турбулентного движения воды в русле. В своей теории он выделяет структурные элементы двух порядков: первичные и вторичные.

Первичные (основные) возмущения, по мнению Гончарова имеют свое начало с дна потока и возникают при трении потока о стенку либо дно. Далее они стремительно проникают в глубь потока и начинают оказывать сопротивление движению основному потоку, тормозя его. Тем самым такие возмущения порождают основное перемешивание жидкости в потоке, которое охватывает всю глубину потока. Такие отделившиеся ото дна местные

вихревые возмущения наделяются большим количеством энергии и максимальной скоростью по вертикали. Также, такие вихри, в свою очередь, делятся на те, что обладают максимальной энергией и скоростью и доходят до самой поверхности, и те, что не обладают таким большим количеством энергии и скорости, а поэтому рассеиваются в толще потока в зоне осредненных скоростей.

Также Гончаровым выделяются и вторичные (паразитические) структурные элементы. Они, со слов Гончарова, возникают вследствие градиента главного течения и занимают почти всю площадь потока в поперечном разрезе. Такие вихри принимают форму эллипса с большой осью вращения, которая расположена параллельно главному направлению течения. В процессе движения вдоль потока не испытывают очень заметных передвижений в поперечном направлении. Поперечные векторы скоростей возникают лишь в тыловой и лобовой частях таких структурных элементов. По мнению Великанова, поддержания жизнеспособности таких больших вихрей не требуется большого количества энергии.

На рисунке показана схематизация кинематической структуры



турбулентного режима движения воды в русле по пониманию Гончарова.

Рис. 2 - Схема кинематической структуры потока по В.Н. Гончарову:

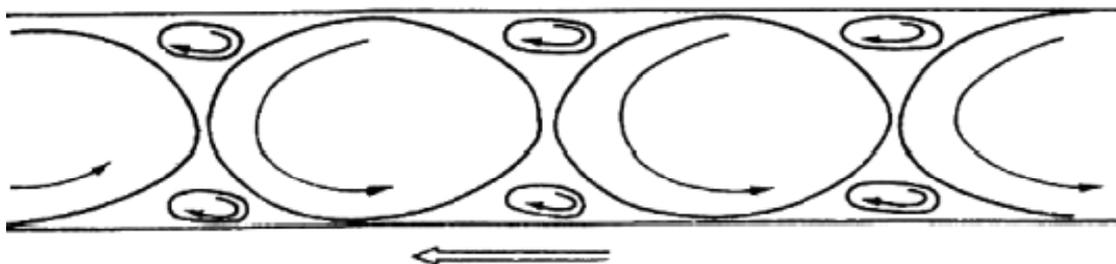
1- первичные (основные) возмущения; 2 - компенсационные (нисходящие токи жидкости); 3 - вторичные возмущения

1.2.3 Теория Н. Е. Кондратьева

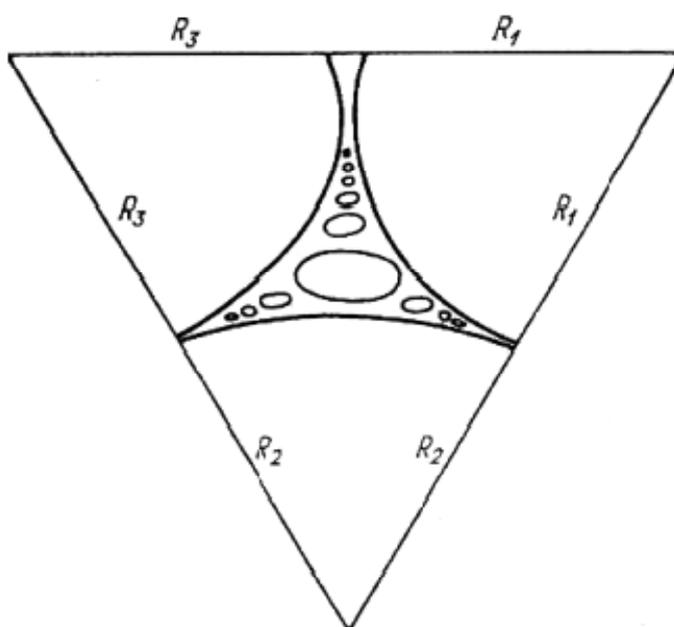
Отличительная особенность теории Н.Е. Кондратьева заключается в наделении турбулентного руслового движения дискретными характеристиками среды и полагает, что наиболее разумно выделять в нем отдельные самостоятельные элементы движения. Например, при грядовом режиме движения наносов, на участке напорного склона гряды Кондратьев обозначает два элемента. Первым является основной транзитный поток, струи в котором движутся по траекториям со слабой извилистостью. Для данного фрагмента может быть применим потенциальный закон течения. Вторым же неотъемлемым элементом схемы является придонный слой, сложенный из небольших водоворотных образований (вальцов). Форма таких вихревых образований, как и в большинстве теорий эллипсоидная. Смысл этих вальцевых придонных водоворотов состоит в том, что по ним, как по рельсам, происходит скольжение транзитного потока. Заполнение пространства между двумя большими вихрями, имеющими одно направление вращения происходит путем помещения между ними вихрей меньшего размера, имеющими противоположный знак вращения. И так далее, между какими-либо вихрями одного структурного уровня и направления вращения пространство заполняется более мелкими и противоположно направленными по вращению. Самые маленькие из таких вихревых образований в силу ограничений сил вязкости передают остаток своей энергии в теплоту.

Еще одной, и немаловажной особенностью теории Кондратьева является то, что придонный слой оказывается способным рассеивать неограниченное количество энергии. Такой довод исходит из того, что по его схеме значения орбитальных скоростей на орбите вихря и значения эксцентриситета для всех элементов эллиптической формы принимаются за постоянные значения. Все это может происходить, потому что исходя из формулы Кондратьева, потери энергии в эллипсе вращения зависят только лишь от квадрата скорости и

величины эксцентриситета. Ниже приведена схема турбулентного потока из пониманий Кондратьева.



а)



б)

Рис. 3 - Схема кинематической структуры потока по Н.Е. Кондратьеву:

а) - общий вид структуры придонного слоя;

б) - схема заполнения промежутков между крупными вихрями

1.2.4 Теория К. В. Гришанина

Теория турбулентного потока от К.В. Гришанина имеет свое основание на экспериментах, проведенных в местах потока, где он обтекает какое-либо

препятствие. Как например, в пограничном слое, в районе между цилиндрами, которым задано вращение, сделал вывод что наиболее систематизированным элементом структуры турбулентного режима являются вихри, возникшие под действием неустойчивости главного течения. Как объясняет Гришанин, такие вихревые образования имеют несложную кинематическую структуру единичных вихревых трубок, перемещающихся по направлению главного течения и испытывающие колебания поперечного характера.

Если коснуться вопроса структуры течения, то Гришанин говорит о том, что структура первичных колебаний является очень наполненной. Основным элементом схемы являются струи или объемы жидкости, по своему размеру, соразмерные с глубиной водотока. На границах таких вихревых образований возникает некая вихревая пелена, которая в свою очередь распадается на единичные вихревые трубки. Следующим этапом является разрушения таких трубок и выравнивание границ заданного объема, а то есть первичного элемента возмущения. Далее первичный вихрь или объем перемешивается с окружающим его потоком и теряет свою неповторимость.

В общем виде, схема структуры турбулентного потока Гришанина представляет собой цепочку объемов (вихрей) эллиптической формы и равной интенсивности, которая двигается с неким неизменным интервалом между соседними элементами такой цепи. За центральную часть вихря принято понимать середину уровня воды в русле, а его направленность считать примерно равной направленности основного потока.

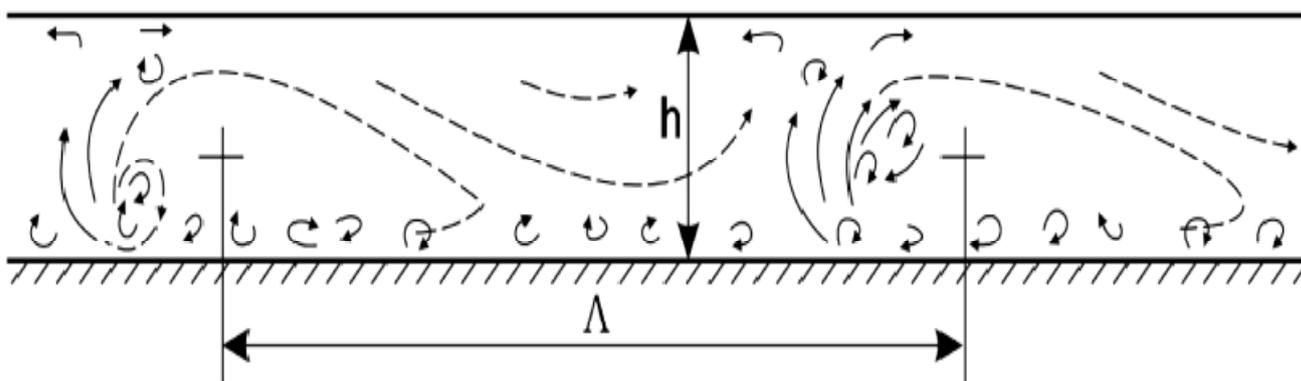


Рис. 4 - Большие вихри руслового потока по К.В. Гришанину

1.2.5 Теория А. В. Караушева

А.В. Караушев также, имел свое мнение насчет вопроса структуры русловой турбулентности потока. И оно на самом деле было схоже со всеми приведенными выше теориями. Схожесть прослеживалась в том, что в потоке наблюдаются вихревые образования нескольких порядков по размерам и роли. Отмечает, что образование таких вихревых турбулентных образований в кинематической структуре потока связано со взаимодействием характеристик шероховатости и тормозящей способности дна и стенок потока. Явления образования, роста и распада таких возмущений протекает на постоянной основе и без остановки, одно сменяется вторым, третьим и так далее. Самые крупные водоворотные образования слагаются из более мелких, а те, в свою очередь из еще более мелких и так далее. Также, Караушев говорил о том, что интенсивность турбулентности и отличительные черты кинематического осредненного поле скоростей пульсаций объясняются водоворотными явлениями первой группы, а то есть самыми большими по размеру.

1.2.6 Теория Н. С. Знаменской

Теория Н.С. Знаменской обладает своей уникальностью среди всех остальных, так как рассматривает структуризацию турбулентных вихревых явлений при грядовом типе движения донных наносов. В самом своем развитом варианте, схема представляет собой транзитный поток, идущий поверх грядовых образований, водоворотную зону в районе подвалья гряды, где в свою очередь образуются эллиптические турбулентные вихри, катящиеся по пологому напорному склону следующей гряды вихревые образования, и, что самое интересное, область сконцентрированного выброса вихревых возмущений эллипсоидальной формы вглубь потока в вертикальном направлении вплоть до самой поверхности. Последний элемент наиболее интересен, так как не был представлен ни на одной из схем других исследователей. Механизм его образования трактуется Знаменской как очень сложный. Из этого факта следует упрощенная зарисовка его структуры в виде концентрических эллипсообразных вихрей, идущих один за другим по вертикальной винтообразной траектории. И, точно также, как и все остальные исследователи данной области, Знаменская объясняет оставшееся пространство между первичными вихрями в различных зонах потока образованием более мелких вихрей высших порядков, которые в свою очередь преобразуются в еще более маленькие. Такие небольшие второстепенные образования Знаменская называет микровихрями.

После долгих и упорных трудов, на тему рассеивания общего количества энергии движения жидкости по руслу с грядовым дном, Знаменская приходит к выводу о том, что наибольшее значение рассеивания энергии потока происходит в придонной зоне, где активно протекают процессы образования вихревых явлений в различных зонах гряд, включая катящиеся по напорному пологому склону гряды эллипсообразные вихри, водоворотную зону в районе подвалья гряды и зону активного выброса вихревых возмущений в толщу

потока на всю его глубину, вплоть до контакта с поверхностью. А наименьшее, в свою очередь, значение рассеивания общей энергии потока находится в области транзитного течения, в этом месте русловое движение жидкости претерпевает наименьшее количество искажений по скоростям и направлениям, относительно донной части потока.

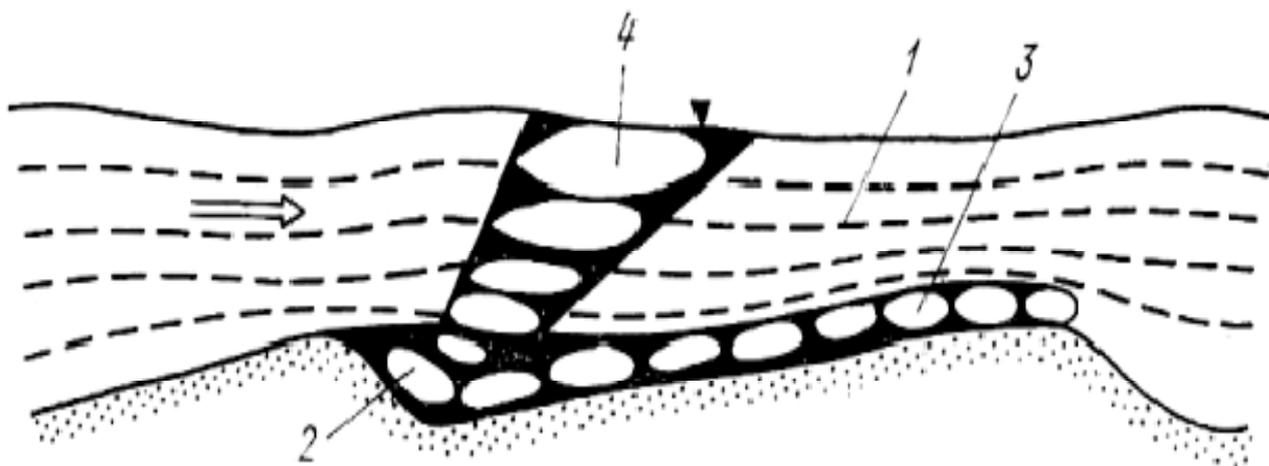


Рис. 5 - Схема кинематической структуры потока при грядовой форме дна по Н.С. Знаменской:

1 - транзитный поток; 2 - водоворотная зона подвалья гряд; 3 - зона вихрей, катящихся по напорному склону гряд; 4 - зона вихрей, вырывающихся из подвалья в толщу потока

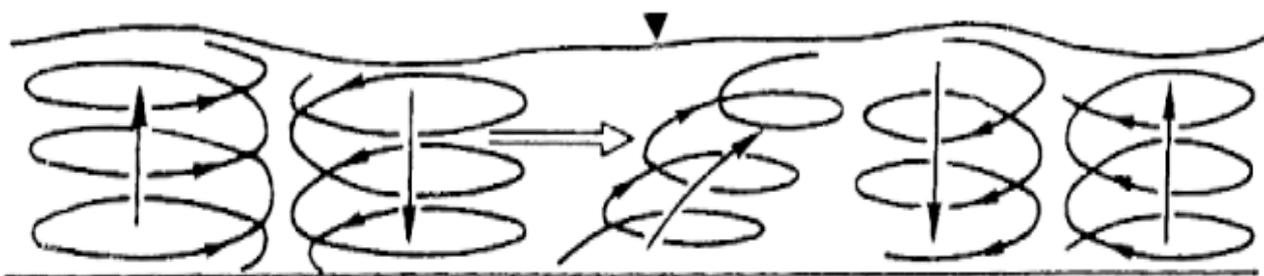
1.2.7 Теория В. М. Макавеева

Теория турбулентного перемешивания руслового потока В.М. Макавеева, также обладает своей уникальностью. Данная им схематизация структуры движения жидкости не похожа ни на одну другую. Рассматривая глубже теорию данного автора, можно сказать, что он преподносит турбулентное передвижение жидкости как некую очень сложную систему автоколебаний. Данная система за счет выполнения своих колебательных движений расходует запасы энергии внешних сил, во благо того, чтобы оставаться на неизменном

статистическом классе пульсирующих движений, которые, в свою очередь, возникают путем движений определенных объемов жидкости, которые Макавеев называет «пульсационными индивидуумами».

Образование таких индивидуальных пульсационных элементов, по словам Макавеева, происходит на пограничных участках потока при контакте с шероховатым дном, стенкой или другими подобными элементами. А затем, силами кинетической энергии, содержащейся в основном течении, сталкиваясь с приведенными выше элементами дна, происходит рождение новых водоворотных структурных элементов, которые активно направляются в глубь потока, где далее, рассеиваются силами основного течения.

Собственно, сама структурная схематизация турбулентного движения жидкости в русловом потоке была представлена Макавеевым в 1952 году. На которой показаны те самые индивидуумы пульсаций под видом неких водоворотных вихрей, с винтовой, либо вертикальной, либо нисходящей траекторией движения. За каждым таким вихрем одного направления движения идет следующий с противоположным направлением и вектором относительно дна и поверхности. Само собой, за счет действия основного потока средних скоростей, такая спираль складывается по направлению течения, а то есть, приобретает наклон. Также это явления наклона может стать причиной разрушения таких вихрей. Ниже приведена схема турбулентного движения жидкости по Макавееву.



1.2.8 Теория А. А. Таунсенда

У еще одного исследователя, которого я разберу в данной работе, А. А. Таунсенда теория турбулентного движения потока еще более интересная и уникальная, нежели все остальные, но, конечно же, имеет право на существование. Таунсенд разбивает структуру течения на водоворотные образования разного масштаба. Самые крупные из таких возмущений получают энергию от основного течения осредненных скоростей. Далее самые масштабные вихревые образования передают энергию более мелким вихрям. Данное явление наблюдается до тех пор, пока все новые образованные турбулентные завихрения не упрутся в предел вязкости среды, в которой находятся.

Самые большие из приведенных выше вихревых возмущений силами основного потока направлены в сторону главного течения. Их внутреннее устройство, со слов Таунсенда, представляется простым.

1.2.9 Теория Т. Теодорсена

Теория Т. Теодорсена основана на возникновении в потоке так называемых вихревых трубок. Механизм их возникновения связан с контактом основного поля скоростей потока с каким-либо препятствием типа стенки или дна потока. После такого контакта образуется образование вихревого типа, называемое вихревой подковой, сложенной из той самой трубки, упомянутой ранее. Форма такой подковы представляет собой петлю. После своего

зарождения, трубка выбрасывается в толщу потока и принимает точечную деформацию под влиянием сил основного течения и принимает форму подковы. Такое новообразование оказывает немаленькое сопротивление общему водотоку, вследствие чего, на ее граничных частях возникают подобные ей образования, только меньшие по размеру и более высокого порядка. Такая цепочка преобразований продолжается до тех пор, пока подковы не станут настолько малы, что не смогут совладать с силами вязкости и диссипируют в теплоту.

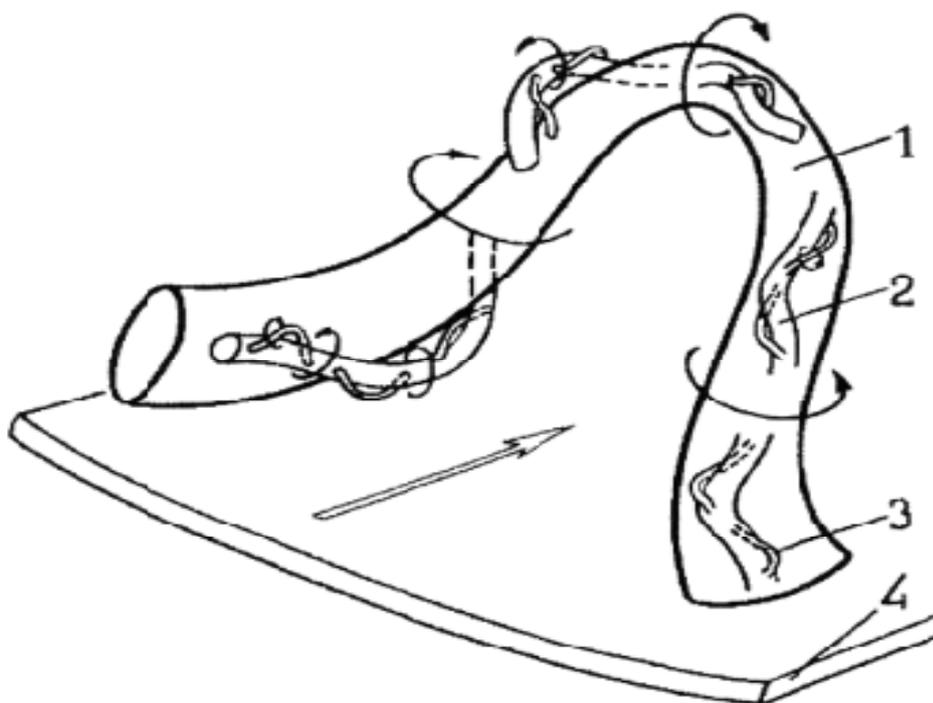


Рис. 7 - Схема кинематической структуры потока по Т. Теодорсену

1.3 Заключающие положения о турбулентности потока

Приведенное мной описание точек зрения различных исследователей на тему кинематической структуры турбулентного руслового потока говорит о том, что в их теориях довольно часто прослеживаются общие, объединяющие

их черты, которые можно определить в единое примерное описание характера поведения турбулентных возмущений в движении жидкости. Но наряду с этим, в свою очередь, выделено и большое количество разногласий между мнениями разных авторов. Причиной такому разбросу мнений, я думаю, служит малая изученность данного вопроса и скудность экспериментальных данных, на базе которых можно было бы либо принимать и укоренять часть теорий, либо же наоборот, отвергать некоторые из них.

Глава 2. Теоретические сведения о донно-грядовом типе движения наносов

2.1 Основные сведения о донных грядах

Грядовый режим движения наносов представляет собой один из типов волновой разновидности движения, который наблюдается в месте разделения двух, движущихся с разными скоростями сред, которые могут обладать, как и разной, так и одинаковой плотностью. В качестве примера можно привести волнения, находящиеся на водной поверхности в месте контакта воздушной и водной среды. На пересечении воздушной и твердой сред можно найти барханы и дюны. И, конечно же, рассматриваемые нами сейчас волновые образования на дне водотока, именуемые русловыми грядами.

Каждую гряду можно условно разделить на три участка. Первым является напорный склон русловой гряды. Вторым – ее гребень. А третьим является подвалье.

Гряды обладают собственными характеристиками. К первой характеристике донных русловых гряд можно отнести скорость их передвижения вниз по течению. Следующие характеристики носят размерный характер. К главным величинам гряд относят: их высоту, длину и крутизну.

Характер перемещения донных наносов при донно-грядовом типе их движения заключается в размыве напорного склона гряды и последующим намывом тылового склона (подвалья). Давайте рассмотрим путь отдельной частицы по гряде. Сначала, силами турбулентных вихрей частица срывается с напорного склона и направляется к гребню, производя волочение по напорному склону. Далее она достигает гребня и под силами тяжести падает вдоль тылового склона и остается в этом месте на какое-время. После этого, путем движущих ее сил, она снова оказывается на напорном склоне, только уже следующей гряды. Примерно таким образом выглядит полный цикл движения

единичной частицы на участке отдельно взятой гряды. Подобное движение большого количества таких единичных частиц вызывает движение всей гряды, в направлении вниз по течению.

Выделяют два типа размещения русловых гряд в потоке:

- Параллельное – это тип расположения гряд в русле, когда каждая следующая гряда располагается параллельно относительно предыдущей.
- Шахматное – это тип расположения гряд, когда каждая следующая гряда располагается с неким сдвигом вправо или влево относительно предыдущей и так далее.

Грядовый тип движения донных наносов подвергался изучению в лабораторных и природных условиях достаточно большой промежуток времени. Но тем не менее, по сей день не дано четких научных обоснований по ряду важнейших вопросов, связанных с русловыми грядами. Создано большое количество теорий и формул, направленных на решение практических задач. Но зачастую использование этих формул при расчетах деформаций русел и гидравлического сопротивления дает крайне посредственные результаты, не имеющих ничего общего с реальной картиной.

Есть две основные разновидности изучаемых гряд – это микроформы и мезоформы. Но между ними нет четкого разделения. Непонятен вопрос, гряды, обладающие какими характеристиками можно отнести к той или иной группе. На самом деле между двумя этими типами гряд наблюдаются существенные отличия как по соотношению их размеров с размерами руслового потока, в котором они находятся, так и по их влиянию на общее скоростное поле такого потока.

Первый тип гряд – микроформы или рифели. Их собственные размеры несоизмеримо малы с общими размерами водотока. Известно, что наличие на дне микроформ в виде рифелей сильно увеличивает (от 2 до 7 раз) коэффициент

сопротивления русла водотоку, по сравнению с ровным шероховатым дном, не имеющим гряд.

Второй тип гряд – мезоформы. Их собственные размеры уже можно начать сравнивать с шириной или глубиной потока жидкости, в котором они находятся. Такие образования, в свою очередь, уже оказывают очень сильное влияние на общее скоростное поле потока, который с ними сталкивается.

2.2 Классификации донных гряд

Приведенные выше классификации донных гряд являются очень обобщенными и краткими, поэтому предлагаю рассмотреть классификацию в более развернутой форме.

Разделение русловых гряд на классы обладает немалым практическим и теоретическим значением. Если брать в расчет тот момент, что, по сути, единой утвержденной классификации донных гряд по сей день не существует, ее появление поспособствует большому толчку в решении многих задач и закономерностей, а в частности задачи идентификации характеристик донных гряд от заданных параметров руслового потока.

Опуская ряд различных классификаций, предлагаемых различными авторами во все времена, предлагаю рассмотреть лишь последние и самые актуальные из них, те, что отразят современное состояние и понимание данной проблемы. Единственным исключением из этого правила станут теории, выдвинутые еще в 1947 г. И. А. Кузьминым и К. И. Россинским, говорящие о том, что исходя из данных о скорости руслового потока и его относительной ширины можно выделить три типа русловых гряд:

- Рельеф с параллельными грядами
- Барханные гряды
- Шахматные гряды

Понимая, что в данной теории не отражены некоторые характеристики руслового потока, такие как крупность наносов, режим движения потока и другие, влияющие на образование гряды конкретного типа, в данной теории отражено нужный нам научный подход к созданию теории зарождения и движения донных гряд.

2.2.1 Классификация В. Н. Гончарова

Большим шагом вперед в области данного вопроса стали стратификации, созданные В.Н. Гончаровым в 1954 г. и Дж. Кеннеди в 1963 г. Почему упоминается сразу два этих автора? Потому что они оба выдвинули очень близкие и родственные по смыслу типизации донных гряд и режимов движения наносов. Авторами обозначены следующие фазы движения наносов при грядовом режиме:

1. Безгрядная фаза (скорость потока находится в пределах между не срывающей и первой критической).
2. Донно-грядовая фаза (скорость потока находится в пределах между первой критической и второй критической).
3. Фаза срабатывания гряд (скорость потока находится в пределах между второй критической и третьей критической).
4. Вторая безгрядная фаза (скорость выше третьей критической).
5. Антидюны, перемещающиеся вниз по потоку ($Fr > 1.0 \div 1.5$)
6. Антидюны, перемещающиеся вверх по потоку ($Fr > 1.0 \div 1.5$)

Данная классификация нуждается в объяснении. За главные условия в ней взяты средние скорости течения, число Фруда и показатель крупности наносов. Таким образом при скоростях, превышающих не срывающую, частицы начинают свое перемещение. Образование русловых гряд начинается с того

момента, когда средние скорости приближаются к первому критическому значению.

$$\vartheta' = 2,5\vartheta_n \left(\frac{K_5}{H}\right)^{1/12}$$

Если скорости течения в дальнейшем увеличиваются, то происходит увеличения размеров донных грядовых образований и скорости их передвижения. Предела своего роста гряды достигают при достижении второй критической скорости.

$$\vartheta'' = 0,25\vartheta' + 0,75\vartheta'''$$

В таком случае наносы передвигаются по напорному склону русловой гряды, после этого падают с гребня в подвалье. Этот процесс вызывает размыв напорного склона и переотложения частиц на тыловом склоне гряды.

В следствие этого, большинство наносов передвигаются при движении гряд вниз по потоку русла. Но, стоит отметить, что при достижении потоком второй критической скорости некоторые частицы наносов могут перелетать через подвалье и оказывать сразу на напорном склоне следующей гряды. В данном случае, количество тех частиц, которые должны оказаться на тыловом склоне становится недостаточным, что в свою очередь, влечет за собой срабатывание гребней гряд. Вместо них возникает плоское горизонтальное плато, которое увеличивается в размерах тем больше, чем больше идет процесс сработки гряд. А при достижении скоростей близких к третьим критическим или равных им, грядовой режим перестает существовать и донные гряды полностью разрушаются, принимая форму изначального плоского дна.

$$\vartheta''' = 2,5\vartheta_n \left(H/K_5\right)^{1/12}$$

Во время такого типа движения, когда скорости находятся в пределах между второй и третьей критической перенос донных наносов делится на два типа: движение наносов за счет перелетающих (сальтирующих) частиц и частиц, передвигающихся в форме русловых гряд. А когда скорости приближаются к значению третьих критических, то перенос потоком наносов происходит по всей глубине потока в виде пульпы, это является второй безгрядной фазой их движения. Приведенный выше тип движения частиц возникает при числе Фруда меньше критического. А тогда, когда число Фруда начинает превышать критическое значение, в русле начинается зарождение антидюн, это форма транспорта донных наносов, напоминающая по внешнему виду треугольник. Такую форму транспорта донных частиц можно встретить очень нечасто. Их отличительной особенностью, в отличие от гряд, является размыв именно тылового склона, следующим этапом является перенос этих частиц на напорный склон нижестоящей антидюны. В связи с этим, такие антидюны движутся вверх по потоку, когда сток частиц наносов происходит вниз по течению. Собственно, эта особенность движения таких форм донного рельефа, противоположная типу движения обычных гряд и послужила их названию. Встречаются же антидюны в основном только в горных, особо бурных реках. Во время такого типа движения донных наносов фазы руслового потока и антидюн идентичны, когда, в свою очередь, при стандартной грядовой форме движения фазы потока и гряд являются противоположными.

Главной особенностью, играющей на руку данной классификации, считается добавление в нее числа Фруда, что дает разделить всякие типы движения донных наносов на два вида: гряды и антидюны.

Также, такому типу стратификации, полагающихся в основном на лабораторные данные, присущ ряд недостатков. Недочеты данной теории прослеживаются в том, что приводится только плоская задача, которая в силу своих особенностей не может учитывать влияние крупности частиц и разных типов гряд. Также, не наблюдается деление гряд на две основополагающие группы: мезоформы и микроформы.

2.2.2 Классификация Дж. Кеннеди

Обобщая данные лабораторных и натурных исследований, в 1971 году Дж. Кеннеди, выдал в свет обновленный вариант типизации русловых гряд в форме таблицы. В данной классификации больше не учитывается безгрядный тип движения наносов, которая стояла перед процессом, собственно, грядообразования. Одним из самых ценных моментов этой стратификации является выделение нескольких количественных характеристик для трех грядовых разновидностей. Но, почему-то, некоторые отдельные разновидности донных образований, а в частности дюн, не получили достаточно четкой характеристики. В данной типизации проводятся принципиальные отличия между русловыми образованиями соизмеримыми с размерами потока (барами) и образованиями намного меньшими по размерам относительно русла (рифелями). Хотя, стоит отметить, что кардинальной разницы между рифелями и дюнами не прослеживается. Ниже приведена классификационная таблица гряд по Кеннеди.

Форма дна	Размеры	Форма гряд	Поведение
Рифеля	Длина меньше чем 30 см, высота меньше чем 3 см	Главным образом треугольная с единым слаборазмываемым верхним уклоном и уклоном нижней грани, близким к углу откоса. Главным образом короткогребневые и 3-размерные	Двигаются вниз по течению со скоростью $C_T < v$. Вообще не встречаются в наносах крупнее чем 0,6 мм
Бары, мезоформы	Длина сравнима с шириной русла. Высота сравнима со средней глубиной потока	Профиль подобен рифелям. Плановые формы различны	Четыре типа баров: 1) точечные, 2) чередующиеся, 3) поперечные, 4) притоковые (конусы выноса). Рифеля могут быть на них
Дюны, гряды (вторичные гряды)	Длина и высота больше, чем у рифелей и меньше, чем у баров	Подобны рифелям	Верхний откос может быть покрыт рифелями. Смещаются вниз как рифеля
Переходная область	Изменяется в больших пределах	Дюны с низкими высотами как переход к гладкой фазе	Значительно изменяются
Гладкая фаза	—	—	Форм нет. Может отсутствовать для некоторого ряда H и v
Антидюны	Длина $2\pi v^2/g$, высота зависят от H и v	Почти синусоида в профиле, длина гребня соизмерима с длиной волны	В фазе с гребнем волны. Двигается вверх по течению или вниз или стоит на месте, зависит от свойств потока

Таб. 1 – Донные формы, по Кеннеди

2.2.3 Классификация Н. С. Знаменской

Уникальную в своем роде типизацию, также, выделила Н. С. Знаменская. В основание своей классификации она определила число Фруда, свойства формы руслового сечения (B/H), скорость перемещения русловых гряд и гидравлическую крупность. Из приведенной ей схемы можно выделить семь типов движения частиц донных наносов. В данной схематизации можно найти множество схожих черт с классификацией Гончарова, в которой отражены, в основном, обобщенные положения о русловых грядах, но типизация Знаменской имеет намного более высокую детализацию. Также одной из главных черт ее подхода является переход от плоской задачи к пространственной, что в свою очередь, дает возможность выделения рифелей, перекошенных в профиле форм гряд и так далее). Стоит отметить, что зависимость, которую привела Знаменская, не в полной мере основывается на натуральных и лабораторных исследованиях. В последствии, дополнительно проведенный в ГГИ анализ показал, что отображенные на данной схематизации кривые недостаточно корректно отображены.

Исходя из вышеизложенной информации, можно сделать вывод о том, что данная попытка схематизации от Н. С. Знаменской является достаточно перспективной, но в ней сильнее всего не хватает более объемного приведения лабораторных, а особенно натуральных исходных данных.

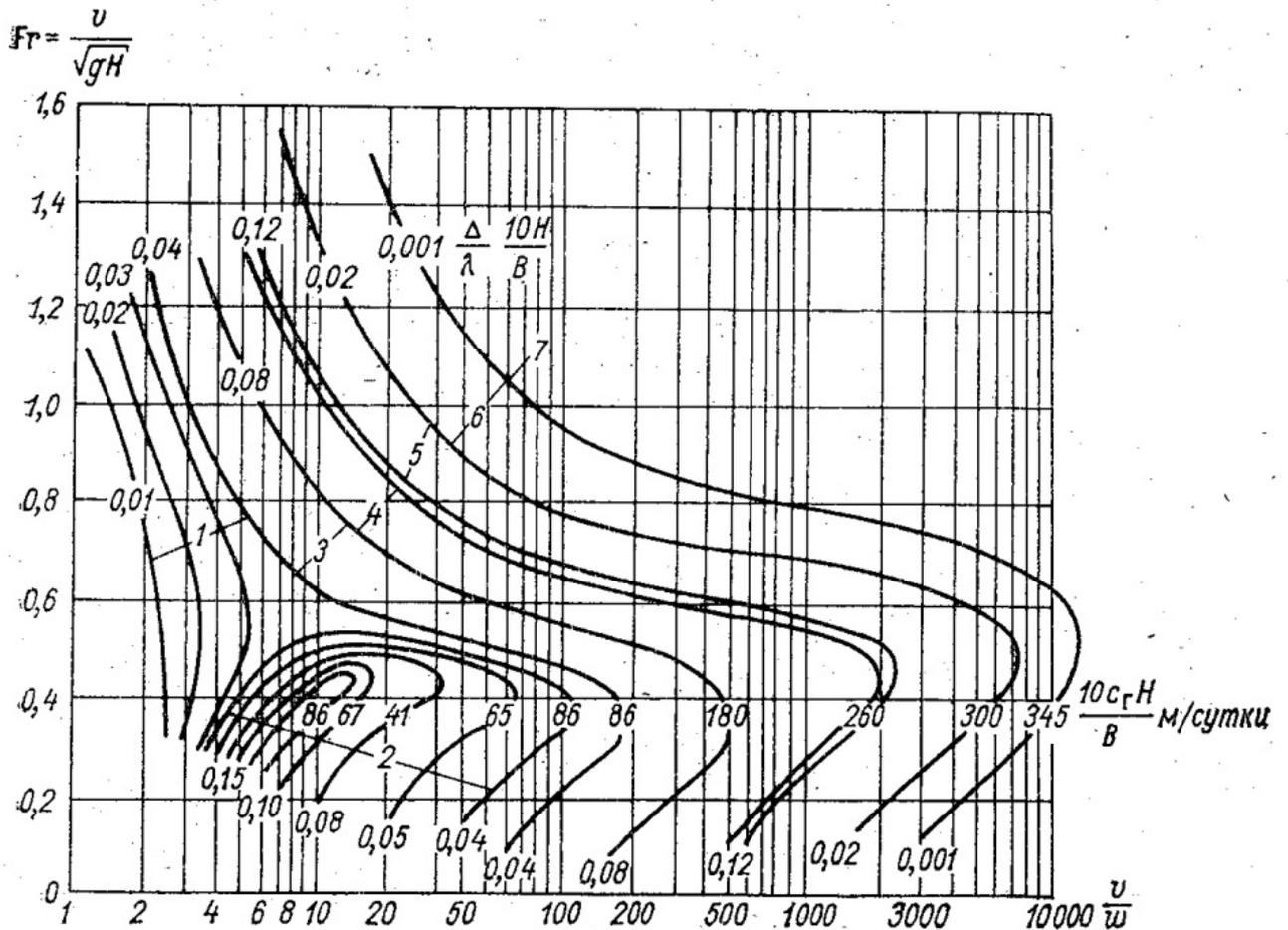


Рис. 8 - Классификация гряд, по Н. С. Знаменской.

1 - плоские гряды (бары) при начале движения наносов, 2 - рифеля (микроформы), 3 - перекошенные гряды (бары), 4 - крутые гряды (бары), 5 - смыв гряд (перекошенные гряды, плоские гряды), 6 - гладкая фаза, 7 - антидюны

Основополагающим рывком вперед стала классификация Н.Е. Кондратьева. Основывается эта типизация на принципах дискретности русловых форм. Он поделил все донные русловые образования на два

структурных уровня: мезоформы и микроформы. Как мы видели раньше, в теориях предыдущих авторов, также применяется и упоминается данное разделение. Эти два типа донных гряд выделяются независимо от того, получены они в натуральных либо лабораторных условиях. Также Кондратьев говорит о том, что русловые гряды должны подчиняться одним и тем же законам, независимо от того воссозданы они в лаборатории либо являются натурными. Минусом данной теории является то, что донные гряды, созданные в лабораторных условиях, относятся к одному типу – микроформам.

2.3 Заключительные положения о донных грядах

Из всего вышесказанного можно сделать вывод о том, что у всех теорий и классификаций есть свои собственные индивидуальные особенности, а также каждой из них присущи какие-либо недостатки. В свете этого, мы понимаем, что требуется разработать более совершенные понимания о донных грядах и выяснению механизма их возникновения, движения, их классификаций и внятное объяснение их связи с русловым потоком и оказываемым ему сопротивлением.

Глава 3. Экспериментальные исследования турбулентного потока при донно-грядовом типе движения наносов

В свое время многими исследователями было произведено великое множество наблюдений за турбулентным режимом движения потока и донно-грядовой формой движения наносов в руслах. Исследования проводились на протяжении более сотни лет, как в лабораторных, так и в натуральных условиях, и продолжают проводиться до сих пор. Обобщая результаты всех исследований и различных теорий, после проведения их анализа, можно смело сделать вывод о том, что большинство выведенных формул, полученных характеристик и составленных классификаций могут быть применены только в очень узком диапазоне исходных данных и поставленных условий. Например, определенные формулы могут использоваться для нахождения характеристик только определенного типа гряд, и не могут использоваться для других их типов. Также, изучая многие концепции о донных грядах и турбулентном потоке, я могу сказать, что подавляющее большинство из них никак не согласуются между собой, и даже противоречат друг другу.

На основании вышеизложенного, хочу сказать, что в ближайшем будущем остро требуется разобраться в данном вопросе. И в данной работе я постарался внести свой вклад в это направление исследований.

Главным образом, ниже, я приведу попытки по нахождению связи между характеристиками турбулентности потока и вытекающему из этих условий формированию в нем донно-грядового режима движения наносов.

Мною было выполнено несколько попыток экспериментов в этом направлении. Наблюдения проводились как в лабораторных, так и в натуральных условиях. Я покажу вам основные две попытки из них. Результаты этих измерений кардинально отличаются между собой, но по моему мнению, я смог прийти к определенной зависимости между характеристиками интенсивности

турбулентии и донно-грядовой формы дна русла. Давайте пройдемся по каждому из этих опытов.

3.1 Исследование в лабораторных условиях

3.1.1 Ход работы по лабораторному исследованию

Первое исследование проводилось на базе лаборатории, находящейся в первом корпусе Российского Государственного Гидрометеорологического Университета. Для опыта был выбран лоток, изображенный на фотографии ниже.



Рис. 9 – Фотография лотка

На дно лотка был уложен песок, состоящий из фракций в основном от 0,1мм до 7мм. После помещения песка в лоток, он был разравнен мастерком до достижения максимально ровной плоскости дна будущего потока. Это делалось для того, чтобы максимально наглядно проследить переход от безгрядной формы влечения наносов до грядовой. Толщина полученного слоя песка в лотке находилась в пределах от 55мм до 60мм по всей длине лотка.



Рис. 10 – Наглядное изображение сформированного плоского песчаного дна

Следующим этапом в лоток был пущен поток воды.

В качестве измерительного прибора была выбрана гидрометрическая микровертушка ГМЦМ-1, позволяющая отслеживать изменения мгновенных скоростей потока до 5-6 раз в секунду, что дало мне лучшую возможность максимально детально рассмотреть характеристику интенсивности турбулентности.

Следующим этапом эксперимента, выбранная микровертушка была установлена в толщу недавно запущенного потока на глубину 0,5Н и надежно закреплена на своем месте.



Рис. 11 –Наглядное изображение установленной в поток микровертушки

Далее, путем специального программного обеспечения, разработанного для данной вертушки, была начата запись данных о скоростях течения в отдельный текстовый файл.

На протяжении следующих сорока минут эксперимента мы добивались процесса начала грядобразования, путем изменений значений уклона лотка и расхода воды. Также, обязательным действием для того, чтобы добиться процесса начала грядобразования, стало добавление в поток песка фракцией меньше 1,1мм через соответствующее сито. И на сорок первой минуте опыта нам удалось найти идеальное соотношения угла наклона лотка, расхода воды, и

крупности добавляемой в поток фракции песка, что в свою очередь, повлекло образование грядовых форм рельефа дна.



Рис. 12 – Наглядное изображение формирования грядового режима движения наносов

Следующим этапом, мы приступили к измерению характеристик появившихся гряд, которые, разумеется, сразу же начали свое движение вниз по течению. Нами были измерены такие характеристики гряд как, длина, высота и скорость их перемещения.

Еще одним важным действием являлась фиксация моментов времени, когда вертушка находилась в районе каждого из характерных участков русловых гряд, таких как: напорный склон, гребень и подвалье.

В течение следующего получаса эксперимента мимо винта нашей микровертушки успело пройти три гряды, упомянутые выше характеристики которых были измерены и зафиксированы. Давайте ознакомимся с этими характеристиками.

	Гряда 1	Гряда 2	Гряда 3
Высота, мм	15	25	29
Длина, мм	160	225	284
Скорость, мм/мин	39	36	5

Таб. 2 – Измеренные характеристики исследуемых гряд

Разумеется, пока выполнялись измерения характеристик донных гряд, непрерывно шла запись данных с микровертушки.

В тот момент времени, когда последняя интересующая нас гряда полностью прошла мимо винта нашей вертушки, запись данных с нее была остановлена.

3.1.2 Обработка результатов лабораторного исследования

Напомню, что главной целью данного эксперимента была попытка нахождения связи между характеристикой интенсивности турбулентности потока и каждым из характерных участков рассматриваемых донных гряд.

За характеристику турбулентности мы приняли коэффициент вариации мгновенных скоростей. Эту характеристику мне нужно было найти для каждого ряда мгновенных скоростей, который по временным промежуткам соответствовал каждому из исследуемых участков русловых гряд.

В том самом текстовом файле, в который производилась запись данных с микровертушки мы получили восемьдесят тысяч строк исходных данных:

80100	V=0.2498м/с i= 607 22. 2.2023 15: 8: 9	
80101	V _{ср} =0.2731м/с 22. 2.2023 15: 8: 9	
80102		
80103	V=0.3190м/с i= 608 22. 2.2023 15: 8: 9	
80104	V _{ср} =0.2732м/с 22. 2.2023 15: 8: 9	
80105		
80106	V=0.3190м/с i= 609 22. 2.2023 15: 8: 9	
80107	V _{ср} =0.2733м/с 22. 2.2023 15: 8: 9	
80108		
80109	V=0.2873м/с i= 610 22. 2.2023 15: 8: 9	
80110	V _{ср} =0.2733м/с 22. 2.2023 15: 8: 9	
80111		
80112	V=0.2873м/с i= 611 22. 2.2023 15: 8:10	
80113	V _{ср} =0.2733м/с 22. 2.2023 15: 8:10	
80114		
80115		

Рис. 13 – Наглядное изображение количества и состава исходных данных

Из этого огромного объема информации, первым этапом, нужно было выделить только значения мгновенных скоростей, оставляя их связь со временем. И было принято решение отсечь те значения, которые соответствовали моментам времени, когда производилась регулировка параметров русла, для получения грядовой формы дна. После этого, на основе данных получившегося ряда, был построен график зависимости скоростей от моментов времени.



График 1 – Изменение скоростей потока по времени

Далее проводилась разбивка получившегося ряда на отдельные ряды, которые соответствовали моментам времени, когда вертушка находилась у каждого из участков русловой гряды. И по каждому из таких рядов было выполнено вычисление интенсивности турбулентности, а то есть, коэффициента вариации скоростей.

Следующим этапом было проведение анализа полученных значений и сопоставление их с графическим изображением процесса изменения скоростей. И, в итоге, мы пришли к неутешительному выводу о том, что характерные изменения скоростей, видимые на графике, никаким образом не стыкуются с

положением характерных участков гряд относительно вертушки в те моменты времени, когда они находились в непосредственной близости друг относительно друга. Хотя видимые изменения на графике и выглядят очень выразительно, но к большому сожалению, связать их относительно расположения подвалей, гребней и напорных склонов прошедших гряд не представилось возможным. Почему сложилась такая ситуация сказать сложно. Может быть это связано с нестабильностью работы измерительного прибора, несовершенством лабораторных условий или же с возможными, допущенными нами ошибками по ходу эксперимента, а может быть и с несовершенством самого метода его выполнения. Тем не менее, имеем такие результаты, которые имеем.

3.2 Исследование в натуральных условиях

После получения неудовлетворительных результатов лабораторных исследований по изучению взаимосвязи между грядовой формой русла и характеристиками турбулентности потока в зоне характерных участков донных гряд, следовало долгое размышление над результатами предыдущего эксперимента. Поднимались многие вопросы, начиная с тех, что данные по скоростям в лотке имели очень странный характер, потому что их значения, местами, было сильно завышено относительно действительности, заканчивая вопросами о том, почему не удалось уловить связь между колебаниями скоростей на графике и их причастности к характерным зонам грядовых образований.

В итоге, после многочисленных обсуждений данных вопросов, было принято решение произвести новую попытку исследования, только на этот раз в натуральных условиях. Производить подобные исследования на руслах каких-либо рек не представлялось возможным и удобным, из-за большой сложности в организации таких мероприятий. Поэтому для наблюдений за

характеристиками турбулентности при донно-грядовом типе движения был выбран ручей Красный, находящийся на территории базы учебно-полевых практик РГГМУ. А был выбран он исходя из того, что, во время его визуального изучения, был найден участок ручья, на котором происходит движение песчаных наносов, как раз, в донно-грядовой форме.

3.2.1 Физико-географическое описание ручья Красный

Для начала, дам краткую характеристику по физико-географическому положению ручья Красный.

Ручей находится на территории Гатчинского района Ленинградской области близ деревень Даймище и Батово. Ближайший и самый удобный доступ к нему обеспечивается с территории базы учебно-полевых практик РГГМУ. Примерно в том же небольшом районе заключается и его водосбор, площадью в районе 1 км². Берет свое начало в близлежащих лесных массивах, с характеристикой почвы, очень насыщенной грунтовыми водами. Имеет очень интересный морфологический профиль, так как его долина сложена высокими, с большим углом откоса берегами, расположенными с обеих сторон ручья. Складывается впечатление, что когда-то давно это было русло достаточно большого водотока, но по какой-то причине, достаточно сильно утратившего свою водность и превратившегося в ручей, который мы можем наблюдать. Если поговорить немного о геологии данного района, то можно сказать, что она имеет свое уникальное строение. Как раз в этом самом месте, если смотреть вниз по течению находящейся там же реки Оредеж, это первое место, где обнажается горизонт красных девонских песков. Грунтовые воды в данном районе расположены в три водоносных горизонта: самый глубокий Ордовикский, средний по глубине Наровский (обладает напорностью) и ближайший к поверхности Четвертичный. Конечной точкой ручья Красный является место его впадения в реку Оредеж, недалеко (около 80 метров) от

исследуемой мною области. Ширина русла ручья в створах наблюдений равна 0,25 м, а глубина от 2 до 5 см.

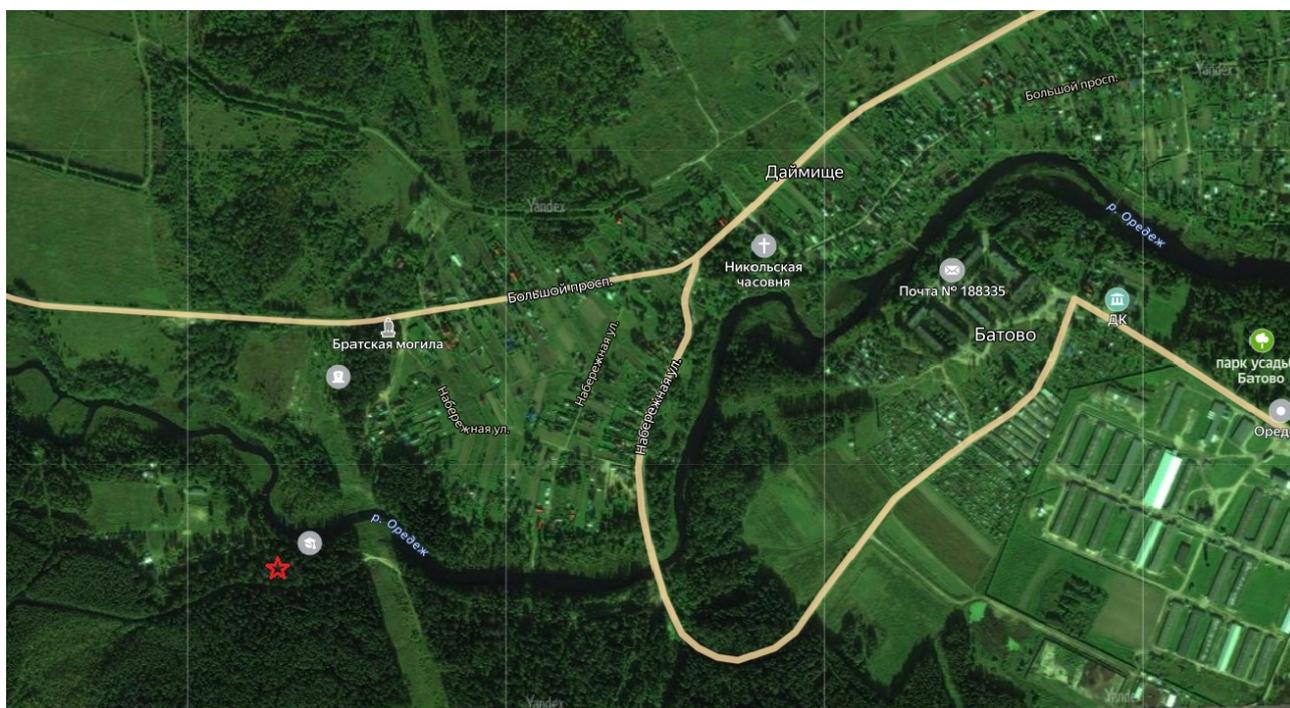


Рис. 14 – Местоположение точки, где проводились исследования на ручье Красный (указано на карте в виде красной звезды)

3.2.2 Ход работы по натурному исследованию

Для исследования взаимосвязи характеристик турбулентности потока относительно донно-грядовой формы дна использовались те же самые приборы, что и в лабораторном исследовании. А в частности, гидрометрическая микровертушка ГМЦМ-1.

Первоочередной задачей стал поиск наиболее подходящего участка ручья, имеющий форму дна в виде донных гряд. После нахождения такого участка встал вопрос о том, каким образом расположить микровертушку в потоке, чтобы она была надежно закреплена и была неподвижна, насколько это возможно. Решение данного вопроса пришло достаточно быстро – для этого была использована круглая деревянная палка, на которую, в свою очередь

закреплялась вертушка. Эта палка вместе с вертушкой нехитрым образом втыкалась в песчаное дно ручья. Такой способ закрепления вертушки в потоке оказался самым простым и достаточно надежным. Из-за такой специфики закрепления вертушки в потоке, пришлось проводить измерения начиная с гряды, расположенной ниже всего по течению и уже далее переходить к измерениям гряд, расположенных выше. Изменение положение микровертушки относительно разных участков гряд производилось путем переустановки палки с вертушкой на каждое следующее место, и закрепления ее в песчаное дно.

В этот раз, методику измерений пришлось немного изменить, относительно лабораторного исследования. В этот раз вертушка не запускалась на столь долгий промежуток времени. Она устанавливалась поочередно на каждый характерный участок русловой гряды. Каждое из таких измерений длилось по три минуты.



Рис. 15 – Фотография обстановки работ на исследуемом створе ручья Красный



Рис. 16 – Фотография работающей вертушки, во время записи данных с подвалья гряды

Полученные данные с вертушки заносились в отдельные текстовые файлы, в отличие от прошлого эксперимента, когда весь массив данных записывался в один файл. Для каждого характерного участка гряды был создан индивидуальный текстовый файл.

Таким образом были измерены скоростные характеристики потока в характерных областях на каждой из трех донных гряд.

3.2.3 Обработка результатов натурного исследования

Следующим этапом исследования являлась камеральная обработка полученных исходных данных с микровертушки.

Для каждого из рядов данных, которые находились в своих индивидуальных текстовых файлах созданы такие же индивидуальные листы в программе Excel. Далее, на каждом из листов проводилась дальнейшая работа с каждым таким рядом, который соответствовал каждому отдельному участку гряды. Первым делом было проведено выделение только мгновенных скоростей из общего массива данных, оставляя их связь со временем. После этого, для каждого получившегося ряда мгновенных скоростей, была рассчитана характеристика интенсивности турбулентности, выражающаяся в коэффициенте вариации значений по данному ряду. Следующим этапом было выстроение получившихся данных скоростей в один ряд, согласно порядку, в котором проводились натурные измерения. Параллельно с этим рядом, были добавлены значения интенсивности турбулентности, согласовывающиеся с каждым характерным участком ряда, каждый из которых, отвечает за отдельную зону гряды. Завершающим этапом обработки исходных данных стало построение комплексного графика, на котором отражены характеристики мгновенных скоростей потока и параллельно с ними характеристики интенсивности турбулентности потока. Для удобства восприятия, на нижнюю часть графика, было добавлено схематическое изображение донных гряд и характерных их участков, которые согласуются с линиями изменения мгновенных скоростей потока и интенсивности турбулентности. Ознакомимся с графиком ниже.

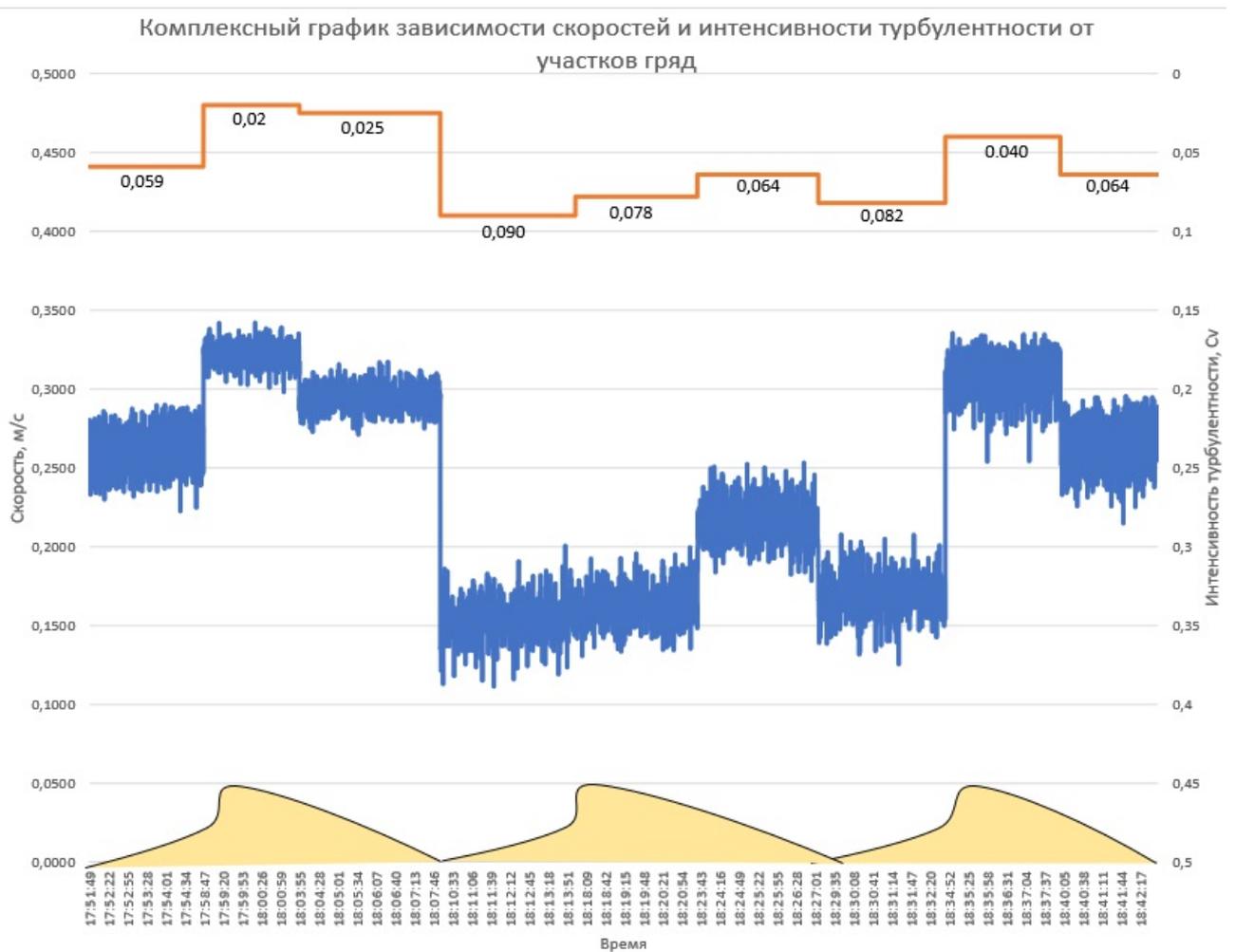


График 2 – Комплексный график зависимости скоростей и интенсивности турбулентности потока от различных участков гряд

Смотря на данный график, можно заметить, что линия характеристик мгновенной скорости, относящаяся ко второй гряде, не совсем корректно описывает изменения, которые мы предположительно должны были получить. Это напрямую связано с тем, что во время измерений, зрительно была выявлена сложная форма этой самой гряды. Ее гребень был сильно размыв течением в центральной части. Другими словами, если смотреть на нее в направлении вверх по течению, то профиль гребня напоминал очертания буквы «М». То есть гребень имел свою первоначальную форму по краям, но в центральной части сильно размыв, почти до уровня подвала следующей за ней гряды. Поэтому на эту часть графика мы сильно ориентироваться не будем.

Но, если рассматривать линию скоростей на участках первой и последней гряды, можно наблюдать четко видимую закономерность между каждой характерной зоной гряд и характеристиками скоростей и интенсивности турбулентности. Давайте рассмотрим получившуюся зависимость.

Напомню, что рассматривать мы будем только данные двух гряд: первой и третьей. Для начала я приведу вам разбор получившихся данных в цифрах:

	Подвалье гряды 1	Гребень гряды 1	Напорный склон гряды 1	Подвалье гряды 3	Гребень гряды 3	Напорный склон гряды 3
Средняя скорость потока, м/с	0.26	0.32	0.29	0.17	0.31	0.27
Интенсивность турбулентности (Cv)	0.059	0.020	0.025	0.082	0.040	0.064

Таб. 3 – Характеристики потока в различных зонах гряд

Исходя из приведенных значений в таблице и графического изображения на комплексном графике, можно смело прийти к четкой зависимости между характеристиками скоростей и интенсивности турбулентности относительно каждой характерной зоны гряд. Мы видим, что наименьшие значения скоростей, относительно профилей целых гряд наблюдаются в их подвалах. Также, в этой же характерной зоне каждой гряды характеристики интенсивности турбулентности приобретают свои наибольшие значения. Если говорить о гребнях, то в этой характерной зоне наблюдаются наибольшие значения скоростей, относительно всего профиля гряды, а характеристика интенсивности турбулентности приобретает свои наименьшие значения. А если говорить о напорных склонах, то можно сделать вывод о том, что скоростные качества потока в этих областях приобретают значения, которые находятся в области между наибольшими значениями на гребнях и наименьшими значениями в подвалах, но ближе по своим значениям находятся именно к скоростям на гребнях. Тоже самое можно сказать и об интенсивности

турбулентности потока в данных областях. Ее значения находятся в промежутке между наибольшими в подвальях и наименьшими на гребнях.

Напомню, что целью данных трудов, было найти и показать взаимосвязь между грядовой формой русла, а в частности между каждым, отдельно взятым, характерным участком русловой гряды и характеристиками интенсивности турбулентности потока относительно этих участков. После анализа полученных результатов, можно смело сказать, что такая взаимосвязь была найдена и графически показана.

Заключение

Подводя итоги проделанной работы, могу с уверенностью сказать, что все поставленные цели и задачи были выполнены в полной мере.

После проведения ряда исследований, описанных выше, была выявлена четкая взаимосвязь между характерными зонами профилей донных гряд и характеристиками интенсивности турбулентности потока. Найденная взаимосвязь описывает следующее:

- В подвальях гряд наблюдаются наименьшие значения скоростей потока и наибольшие значения интенсивности турбулентности.
- На гребнях гряд наблюдаются наибольшие значения скоростей и наименьшие значения интенсивности турбулентности.
- На напорных склонах гряд наблюдаются значения скоростей, находящиеся в промежутке между максимальными на гребнях и минимальными в подвальях, но ближе по своему численному значению приближаются к скоростям на гребнях. А значения интенсивности турбулентности находятся в промежутке между максимальными в подвальях и минимальными на гребнях.

Результатами проделанных трудов я более чем доволен, потому что путем проб и ошибок, все-таки удалось найти требуемую взаимосвязь между всеми интересующими нас характеристиками, показать ее графически и доходчиво изложить все этапы по ее нахождению в данной работе.

На просторах всех из доступных источников информации мне не удалось найти хотя бы одно исследование, где бы описывалась связь между донно-грядовой формой русла и характеристиками интенсивности турбулентности потока. Поэтому данная работа является в своем роде уникальной, и может быть в дальнейшем использована для более глубокого понимания механизмов

образования и протекания процессов донно-грядового типа движения наносов и турбулентности русловых потоков.

Список использованной литературы

1. Барышников, Н. Б. Динамика русловых потоков и русловые процессы / Н. Б. Барышников, И. В. Попов. — Ленинград: Гидрометеиздат, 1988. — 454 с.
2. Клавен, А. Б. Экспериментальные исследования и гидравлическое моделирование речных потоков и руслового процесса / А. Б. Клавен, З. Д. Копалиани. — Санкт-Петербург: Нестор-История, 2011. — 504 с.