ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора географических наук, профессора, заведующего лабораторией проблем гидрологии суши «ГИ УрО РАН» Лепихина Анатолия Павловича на диссертационную работу Ханьлинь Ян на тему «Влияние вихревых образований на формирование структур на подстилающей поверхности в стационарных и осциллирующих потоках», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.6.16 – Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия

Рассматриваемая диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка используемой литературы и приложения.

Во введении рассматривается актуальность работы, ее цели и решаемые задачи, сформулированы предмет и объекты исследования, научная новизна исследования. Обсуждаются, анализируются три основных защищаемых положения, выдвинутых в работе.

Первая глава носит обзорный характер и посвящена анализу взаимодействия стационарных и осциллирующих потоков с подстилающей поверхностью. При этом рассматриваются такие узловые для речных потоков вопросы как:

- устойчивость плоскопараллельного движения в придонной области потока;
- механизм образования вихрей в придонной области потока;
- связь параметров вихрей с характеристиками потока.

Центральное место при этом занимает анализ схемы Л. Прандтля, предложенной им еще в 1904 г., образования в придонной области вихрей, захватом ими переносом частиц донных отложений.

Вторая глава посвящена описанию проведенных автором лабораторных экспериментов. При этом рассматривалось как моделирование формирования вихрей у подстилающей поверхности, образование гряд на подвижном дне водотока.

Третья глава посвящена анализу и интерполяции полученных результатов проведенных лабораторных наблюдений данным для двух принципиально различных режимов:

- равномерного и замедляющего потока;
- с осциллирующим потоком;

Актуальность исследования

Сама диссертационная работа выполнялась в двух организациях: ИВП РАН и кафедре физики моря и вод суши МГУ, что не могло не наложить характерный отпечаток на ее выполнение. Гидрология суши, в значительной мере, является прикладной наукой, направленной на решение вопросов взаимодействия человека с поверхностными водными объектами, их рациональным использованием и минимизацией негативного воздействия вод.

При этом центральным объектом исследований являются реки - естественные водотоки, как правило, в подвижных руслах. Естественно, определяющими, связанными с их исследованием вопросами являются оценка устойчивости, анализ подвижности слагающих их дно частиц при формировании ими грядовых структур.

Основу рассматриваемой работы составляет экспериментальное исследование физических механизмов, из взаимодействия стационарного и осциллирующего потоков с подстилающей поверхностью на основе гипотезы Л. Прандтля, предложенной еще в 1904 году. Л. Прандтль (Prandtl, 1904) впервые предположил, что под действием положительного градиента давления в пограничном слое потока течение должно тормозиться вплоть до полной остановки жидкости, при которой нарушается устойчивость ламинарного течения, что приводит к возникновению вихрей, способных не только «захватывать» и переносить отдельные частицы, но и формировать начальный этап донных гряд. Данные вопросы принципиально важны при установлении механизмов формирования гидравлического сопротивления русловых потоков. Так как данное сопротивление формируется как сопряжение двух существенно различающихся механизмов, связанных с зернистой и грядовой шероховатостью водотоков. При этом в качестве объекта исследования рассматривались не сами естественные водотоки, а лабораторная экспериментальная установка.

Для первого, начального этапа исследований нового механизма, его обоснования данный путь в настоящее время представляется наиболее оптимальным. Так как естественные, природные процессы являются очень многофакторными, при этом представляется невозможным при выделении нескольких определяющих, по мнению исследователя, факторов, устранить влияние других факторов, которые могут также оказывать, при определенных условиях, существенное влияние.

Однако при этом возникают принципиальные вопросы, с одной стороны, к обоснованности выбора самих определяющих факторов, а с другой - к корректности трансляций расчетных соотношений, полученных на лабораторных моделях, на естественные водотоки, характеризующиеся морфометрическими и гидравлическими параметрами.

Поэтому в гидрологии еще с конца XVIII века сложились две принципиально различные линии развития, связанные с именами их основателей А. Шези и П.-Л. Дю Бюа. В нашей стране датирующим в силу ряда обстоятельств стало направление А. Шези – непосредственно связанное с прямым исследованием водотоков. Студенты ВУЗов изучают уравнение Шези, методы оценки коэффициентов Шези, в то же время даже большинству преподавателей незнакомо имя П.-Л. дю Бюа. В то же время во Франции на родине этих выдающихся ученых ситуация совершенно другая. Данный односторонний подход имеет свои

печальные последствия. Так по оценки проф. П.Ф. Горбачева [9] уже к середине 30 годов XX века насчитывалось свыше 200 различных расчетных соотношений для установления такого очень важного, ключевого для речной гидравлики параметра, как коэффициент Шези. В настоящее время, естественно, предлагается еще значительно больше. При этом, что очень важно, абсолютное большинство из них получено на основе экспериментальных данных, полученных на водотоках. При этом строгое обоснование самой структуры расчетного соотношения формируемой зернистой шероховатости было дано только в самом начале XXI века на основе теории локально-изотропной турбулентности А.Н. Колмогорова. Все многообразие расчетных соотношений для коэффициентов Шези было получено исключительно на основе анализа различных эмпирических данных, полученных на конкретных водных объектах. При этом, к сожалению, в значительной мере может срабатывать эффект слепых мудрецов и слона, кто какую часть слона ощупывает мудрец, тот так его и представляет.

Новизной рассматриваемой работы является получение следующих экспериментальных результатов:

- показано, что обратный градиент давления и сила трения приводят к периодическому торможению пограничного слоя плоскопараллельного течения в открытом канале;

- подтверждено предположение, что в процессе периодического торможения потока вертикальный профиль скорости деформируется, при этом наибольшее торможение происходит в тонком слое на границе равномерного и замедляющегося течения;

- доказана экспериментально гипотеза, связывающая формирование параллельных гряд на первоначально гладком размываемом дне с воздействием цепочки вихрей, возникающей в придонном слое в зоне торможения течения, продемонстрировано сходство механизмов взаимодействия размываемого дна с осциллирующим и стационарным потоками.

Обоснованность и достоверность результатов

Результаты работы были получены в ходе тщательно поставленных и выполненных лабораторных экспериментов. Полученные экспериментальные данные были подвергнуты статистической обработке с оценкой доверительных интервалов точности измерений. Общие выводы и предложенные гипотезы были проверены не только по этим экспериментам, но также сопоставлялись с результатами других исследований.

Замечания

Не представлено обоснования, с позиций гидрологии, условий проведения лабораторных экспериментов и выбора определяющих параметров для лабораторных экспериментов. Для того чтобы иметь достаточно строгие объективные оценки, независимые

от конкретных особенностей отдельных рек, водотоков необходимо проведение экспериментов с максимальной минимизацией влияния других сопутствующих факторов. Однако для того чтобы полученные в лабораторных экспериментах зависимости могли быть применимы не на отдельных конкретных реках, а для достаточно широкой группы водотоков они должны обладать определенной устойчивостью к изменчивости определяющих факторов. В первую очередь, должен учитываться возможный диапазон изменений не только глобальных, но локальных чисел как Рейнольдса *Re*, так и Фруда *Fr*. Если лабораторные эксперименты проводились при значениях $Re \sim 2 \cdot 10^4$, то в реальных реках их значениях достаточно часто на несколько порядков больше. В то же время лабораторные эксперименты проводились при значениях чисел Фруда очень близких к критическому, в естественных водотоках, за исключением горных рек, значения этого параметра, как правило, существенно меньше. Для обеспечения эффективного переноса результатов лабораторных экспериментов представляет существенный интерес сопоставления локальных чисел Re_* и Fr_* с широко используемыми в работе числами Шильдса. Характерной особенностью частиц наносов слагающих донные отложения является значительная дисперсия их размеров, а статистические функции распределения характеризуются значительными «хвостами», в то же время в работе нет каких-либо оценок относительно влияния дисперсии поведения рассматриваемых частиц, так как эксперименты проводились с использованием частиц одного диаметра. Естественные русловые потоки характеризуются очень широким диапазоном колебаний концентраций взвешенных и влекомых наносов, поэтому очень важны оценки до каких концентраций будут эффективны установленные зависимости. В работе не рассмотрен такой важный вопрос для рассматриваемой задачи, с чем связан механизм формирования наблюдаемых лабораторных погрешностей измерений. Так как особенности формирования этих погрешностей измерений определяют и методы их статистической обработки. В работе для построения доверительных интервалов использовалось *t*-распределение, предложенное У. Госсетом, опубликовавшим свою статью под псевдонимом Student. Использование данного критерия требует, чтобы рассматриваемые выборки описывались нормальным законом распределения. Однако в работе нет статистических оценок рассматриваемых выборок, нет ссылок на соответствующие ссылки других авторов. Из текста не ясно, чем был обусловлен выбор используемой доверительной вероятности – 0.67, по-видимому, получить доверительный интервал в $2 \cdot \sigma$. Если это так, то зачем надо было приводить таблицу значений квантилей распределения Стьюдента (табл. 1). В то же время для рассматриваемой работы принципиально важным является сопоставимость размеров рассматриваемых вихревых цепочек с экспериментально определяемым расстоянием между формируемыми донными

канавками. Однако, при этом не указаны доверительные интервалы данных сравниваемых параметров.

Представляется целесообразным увеличить список используемых публикаций. Работа представлена по специальности гидрология суши, однако в ней нет целого ряда значимых публикаций по гидрологическим, гидравлическим аспектам данной проблематики.

Заключение

Указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования.

Содержание диссертации соответствует паспорту ВАК по специальности 1.6.16 – Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия (технические науки), а также критериям, определенным постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013 г. для диссертационных работ.

Диссертационная работа Ханьлинь Ян «Влияние вихревых образований на формирование структур на подстилающей поверхности в стационарных и осциллирующих потоках» является самостоятельной научно-квалификационной работой, выполненной на современном уровне, решающая актуальную научную задачу, имеющую значительное практическое применение.

Таким образом, соискатель Ханьлинь Ян заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.6.16 – Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия.

Официальный оппонент:
доктор географических наук, профессор, заведующий лабораторией проблем гидрологии суши «Горного института Уральского отделения Российской академии наук» - филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук ("ГИ УрО РАН")

Лепихин Анатолий Павлович

«28» августа 2025 г.

614007, Пермь, ул. Сибирская, 78а
тел.: 7(965)5772376, e-mail: lepihin49@mail.ru

Подпись д.г.н, профессора, зав. лаб. ПГС Лепихина А.П. заверяю

«28» августа 2025 г.

ОТДЕЛ КАДРОВ

Главный специалист по кадрам Дерюженко С.Г.