ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора физико-математических наук Троицкой Юлии Игоревны на диссертационную работу

Ян Ханьлиня

«Влияние вихревых образований на формирование структур на подстилающей поверхности в стационарных и осциллирующих потоках воды»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.6.16 «Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия».

Актуальность темы исследования. Диссертационная работа Х. Ян связана с исследованием гидродинамической устойчивости в пограничных слоях, формирующихся в придонных слоях природных водоемов, применительно проблемам описания процессов переноса наносов и примесей, деформаций дна в реках и каналах. Тема этого исследования имеет непосредственное отношение к вопросу о механизмах формирования речных гряд, имеющему давнюю историю, но до настоящего времени не получившему окончательного ответа. Диссертационная работа Х. Ян направлена на изучение роли гидродинамической неустойчивости в генерации вихрей, вносящих заметный вклад в процессы переноса в пограничном слое. Кроме того, Х.Ян большое внимание уделяет исследованию механизмов формирования речных гряд в осциллирующем течении, моделирующем эффекты ветрового волнения. Диссертационная работа Х.Ян, безусловно, является актуальной, поскольку позволяет выявить новые физические механизмы донных деформаций за счет воздействия стационарного и осциллирующего потоков на размываемое дно.

Автор диссертации предпринял весьма успешную попытку объяснить механизмы формирования русловых форм (речных гряд) за счет воздействия

вихревых структур, возникающих при развитии неустойчивости в пограничном слое тормозящихся потоков на подстилающей поверхности. Полученные автором результаты основаны на использовании оригинальной техники лабораторного эксперимента, которая позволила выявить периодический характер процесса торможения жидкости в пристеночной области тормозящихся стационарных потоков, который приводит к генерации вихрей, вызывающих деформации размываемого дна.

Структура и содержание работы. Диссертация состоит из введения, 3 глав и заключения.

Во введении отмечается актуальность и цели исследования, излагаются основные положения, выносимые на защиту, практическая и научная значимость работы, научная новизна полученных результатов и личный вклад соискателя.

Первая глава носит обзорный характер. В ней приводятся современные представления о гидродинамической устойчивости пристеночных течений в условиях тормозящего градиента давления, описаны теоретические и эмпирические представления о механизмах возникновения речных гряд при взаимодействии осциллирующего потока с размываемым дном. На основе анализа источников выявлены неисследованные вопросы и сформулированы задачи, которые решает диссертационное исследование.

Вторая глава посвящена описанию проводимых автором лабораторные эксперименты. Дано описание лабораторной установки, описана постановка экспериментов, методика обработки данных измерений.

В третьей главе представлены результаты экспериментов и их анализа. Получены вертикальные профили скорости стационарного потока, осредненные по различным статистическим ансамблям. В частности, получены профили скорости потоков, осредненных по всему времени наблюдений, а также профили скорости, полученные путем условного осреднения по реализациям скорости в различных фазах периодического процесса торможения потока. Показано, как происходит деформация

профиля скорости в фазе торможения потока. Скорость потока на разных горизонтах получена путем осреднения скорости маркеров, в роли которых выступают частицы полистирола, имеющие плавучесть, близкую к нейтральной. Даны оценки доверительных интервалов измеренных значений скорости. Также в третьей главе диссертации выполнен анализ экспериментальных результатов по образованию гряд при воздействии длинных поверхностных волн на размываемое дно. В основу анализа были положены представления о генерации вихрей в замедляющихся потоках в пристеночной области, полученные во второй главе. Автором было экспериментально показано, что в поле длинной волны в придонном слое, вихри, ответственные за образование гряд, образуются в фазах торможения орбитальных скоростей.

В заключении приводятся основные результаты диссертации.

Научная новизна. Все результаты диссертации, вынесенные на защиту, являются новыми. Экспериментально показано, в условиях действия тормозящих сил происходит периодическое торможение пограничного слоя плоскопараллельного течения в открытом канале, получены вертикальные профили скорости в различных фазах торможения жидкости. Показано, что в процессе периодического торможения потока вертикальный профиль скорости деформируется, и происходит потеря устойчивости плоскопараллельного движения. Экспериментально продемонстрировано, что формирование донных гряд под действием длинных поверхностных волн связано с генерацией вихрей в фазах волны, в которых происходит уменьшение ее орбитальной скорости.

Практическая и научная ценность работы. Научная ценность диссертации состоит расширении представлений о физических механизмах взаимодействия стационарного и осциллирующего потоков с подстилающей поверхностью. Результаты, полученные в диссертации могут найти применение при решении многих прикладных задач, в том числе, при

описании особенностей придонных течений открытых потоков, процессов переноса наносов и примесей, донных деформаций в реках и каналах.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов. Обоснованность и достоверность результатов диссертации подтверждается на основе экспериментов, оценки доверительных интервалов полученных значений физических величин и сопоставления с результатами других исследований.

Замечания по работе:

1. Недостаточно подробно описана процедура обработки видеофильмов. Не описана процедура, которая использовалась для идентификации изображений частиц, их положения в пространстве, не описан алгоритм отслеживания частиц. Не объясняется, каким образом можно производить эти процедуры с использованием Adobe Photoshop.
2. В диссертации не приведена плотность засева частицами потока. Неясно, достаточна ли она для восстановления поля скорости потока с разрешением, достаточным для отображения наблюдаемых явлений. Для сравнения было бы полезно привести в диссертации поля скорости течений в пограничных слоях постоянного и замедляющегося течений, которые можно восстановить по траекториям частиц при наличии достаточной концентрации. Картины полей скорости в пограничном слое дали бы возможность выяснить причину спорадического уменьшения скорости трассера остается неизвестной. Возможно, локальное уменьшение скорости трассеров, показанное на рис. 15 обусловлено инжекцией низкоскоростной жидкости из пристеночной области. Если это так, то аналогичные отрицательные всплески горизонтальной скорости должны наблюдаться и в потоках с горизонтальным дном.
3. Точность определения значений скорости потока невысока. Автор приводит аккуратные оценки 67%-х доверительных интервалов, которые составляют 1.5 см/с. Тогда 95% доверительный интервал

составляет примерно 4.5 см/с. При скорости потока вблизи стенки 10 см/с погрешность +-45% очень высока. Такая невысокая точность в оценке средней скорости потока обусловлена использованием небольшого статистического ансамбля всего в 10 элементов. Неясно, почему автор ограничился таким малым ансамблем.

4. В экспериментах в качестве трассеров нестационарного потока используются крупные частицы, плавучесть которых отличается от нейтральной. Необходимо было бы сделать оценку инерционности частиц.
5. Автор употребляет термин «тормозящий градиент давления» при описании потока в канале с наклонным дном. Однако, в действительности градиент давления в потоке над наклонным дном равен нулю, но есть проекция ускорения силы тяжести, тормозящая поток. Данная неточность не влияет на качественные выводы работы.
6. Есть замечания редакционного характера. Например, автор ссылается на работы Kamal et al., 2016; Minh et al., 2019), которых нет в списке литературы.

Общая оценка работы. Вышеуказанные замечания не снижают общей положительной оценки работы, которую можно охарактеризовать как законченное исследование, выполненное на высоком научном уровне. Результаты работы являются новыми и имеют научную и практическую ценность.

Основные результаты диссертации докладывались на научных семинарах и многих международных и всероссийских конференциях.

Результаты диссертации опубликованы в 6 работах, из которых 4 – в научных изданиях, рекомендованных ВАК и относящихся к высшей категории К1 (согласно списку Рабочей группы ВАК по категорированию научных изданий от 06.12.2022 № 02–1198). Автореферат полностью и точно отражает содержание диссертации.

Считаю, что диссертация отвечает всем квалификационным требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», а ее автор **Ян Ханьлинь** безусловно заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.16 – «Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия».

Официальный оппонент,

доктор физ.-мат. наук,

заведующий отделом нелинейных геофизических процессов Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательского центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук»

Троицкая Юлия Игоревна

« _01__» ___сентября___ 2025 г.

Подпись заведующего отделом нелинейных геофизических процессов ИПФ РАН, доктора физ.-мат. наук Троицкой Юлии Игоревны заверяю

Ученый секретарь ИПФ РАН
к.ф.-м.н. Корюкин Игорь Валерьевич

« _01__» ____сентября____ 2025 г.