

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Петровской Ольги Андреевны

«Оптимизация методов расчета расхода донных наносов с учетом гидравлических параметров рек», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.27 – Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия

В диссертационной работе Петровской Ольги Андреевны исследуется проблема транспорта наносов в реках и ставится цель оптимизации расчетов расхода донных наносов. Оптимизация достигается путем выбора наиболее достоверных данных измерений, их классификации по гидравлическим условиям, последовательного тестирования большого числа расчетных методов отдельно на каждой гидравлической группе данных и по результатам тестирования разработки научно обоснованных рекомендаций по расчету расхода донных наносов для различных гидравлических условий в реках.

Диссертация представлена на 252 страницах печатного текста, из которых 157 страниц – это основной текст и 95 страниц – приложения. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка основных условных обозначений, списка литературы, включающего 148 наименований, из которых 66 на английском языке, и 4 приложений. К работе приложен автореферат на 27 страницах.

Во введении обосновывается актуальность темы исследования, ставятся цель и задачи, формулируются защищаемые положения.

В первой главе дается обзор проблемы транспорта донных наносов.

Во второй главе приводится гидравлическая классификация рек, являющаяся одним из основных результатов работы, описываются использованные данные измерений, лежащие в основе классификации, и обосновывается их выбор. Описывается методика апробации методов расчета расхода донных наносов.

Третья и четвертая главы диссертации посвящены последовательной апробации методов расчета на основе выбранных данных измерений. Третья глава посвящена равнинным рекам, четвертая – горно-предгорным. В третьей главе получена формула для расчета высоты донных гряд в крупных равнинных реках при значении числа Фруда  $Fr < 0,2$ . В этой главе для условий равнинных рек выполнена последовательная апробация формул для высоты донных гряд, скорости донных гряд и расхода донных наносов, учитывающих гряды в явном виде, и не учитывающих. В каждом разделе формулируются рекомендации по расчету рассматриваемых величин.

В четвертой главе отдельно рассматриваются грядовое и бесструктурное движение в горно-предгорных реках. Для грядового движения получены формулы высоты гряд и расхода донных наносов. Для условий грядового движения проверяются формулы расхода донных наносов, учитывающие гряды в явном виде и не учитывающие их.

В пятой главе путем использования стандартных наблюдений на гидрологической сети, единичных целевых измерений и рекомендуемых в главе 3 формул осуществлен вывод локальных зависимостей для расхода донных наносов.

В заключении перечисляются основные результаты и выводы, и излагается точка зрения автора о пути дальнейшего развития методов расчета расхода донных наносов в реках.

Таким образом, диссертация О.А. Петровской представляет собой целостное и завершённое научное исследование.

Актуальность работы обусловлена, во-первых, отсутствием современных глобальных обобщений по проблеме расчета расхода донных наносов, в которых соответствующее внимание было бы уделено мировым и отечественным результатам в этой области. Во-вторых, отсутствием новейших общепринятых отечественных стандартов по расчетам расхода донных наносов. В-третьих, общей низкой точностью расчетов расхода донных наносов, а также отсутствием рекомендаций по выбору применяемых в расчетной практике методов определения расходов донных наносов.

Актуальность темы диссертационной работы Петровской О.А. в современных условиях не вызывает сомнения. С одной стороны, на сегодняшний день отсутствует нормативно-расчетная база в данной области исследования. Имеется значительное количество опубликованных работ с рекомендациями по определению расходов донных наносов, которые используются в расчетной и практической деятельности. Однако результаты, полученные разными авторами исследований в различных гидрологических условиях, не систематизированы и не подкреплены практическими выводами для дальнейшего использования. В каждом конкретном случае инженеры и проектировщики оказываются в значительном затруднении при выборе расчетной методики при решении конкретных задач, связанных с моделированием транспорта наносов в руслах с подвижным дном и составлением русловых прогнозов, как в естественных условиях, так и с учетом проектируемых инженерных мероприятий в руслах рек. Надежность таких прогнозов при отсутствии измеренных данных оказывается крайне невысокой.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

В диссертационной работе разработана гидравлическая классификация рек применительно к задаче расчета расхода донных наносов. Равнинные реки, по мнению автора, разделены в зависимости от числа Фруда с учетом глубины, уклона и крупности донных отложений на две категории: с  $Fr < 0,2$  – крупные реки и с  $0,2 \leq Fr \leq 0,5$ . Горно-предгорные реки разделены по форме транспорта донных наносов: с грядовой и с бесструктурной формой.

В целом с таким предложением согласиться можно, однако следует попытаться обосновать значения критериев, в данном случае числа Фруда, выбранные в качестве параметра гидравлической классификации для установления категории водного потока. Возможно, есть связь числа Фруда с величиной расхода донных наносов, и она может оказаться различной на реках

разной категории. Однако автором такого анализа проведено не было. Принятые в работе критериальные значения числа Фруда с целью классификации рек автором не обоснованы.

В общем случае в качестве определяющих факторов могут быть особенности морфологии рек, физические условия потока и транспорта наносов, или другие гидравлично-морфометрические факторы, которые значимо изменяются при переходе от одной категории рек к другой. В приведенных автором диссертации данных (см. табл.1, стр.10 автореферата) минимальные значения части гидравлических параметров для группы рек первой категории, оказываются практически в середине диапазона значений для группы рек второй категории. Проблема создания такой классификации, основанной на изучении физических факторов руслового процесса, вообще говоря, может стать предметом самостоятельного исследования.

Автором проводится апробация большого числа методов отдельно для каждой из выделенных групп рек (около 60 000 расчетов РДН и характеристик гряд). Для каждой из групп автором в разных случаях выявлены те или иные расчетные формулы, которые дают лучшее сопоставление с натурными данными. В ряде случаев они удовлетворительно работают на реках, относящихся к обеим группам, в ряде случаев нет. Каких-либо конкретных выводов по материалам такого сопоставления получить автору не удалось.

Связано это, прежде всего, на наш взгляд с несовершенством предложенного варианта классификации рек. С привлечением новых дополнительных данных измерений автор диссертационной работы убедительно подтвердила удовлетворительную работу основных расчетных формул, полученных ранее в ГГИ для расчета параметров донных гряд. Это является обнадеживающим результатом для использования данного подхода при использовании в расчетной практике. Полученные автором новые эмпирические формулы для высоты гряд и расхода наносов, вычисляемого по параметрам гряд, практически идентичны по структуре и по точности установленным ранее расчетным зависимостям (Кондратьев Н.Е., Попов И.В., Снисченко Б.Ф., 1982), что подтверждает высокое качество проведенных ранее исследований.

Следует согласиться с утверждением автора о том, что принятое Шильсом значение критического касательного напряжения в области квадратичного сопротивления представляется, завышенным. Так, в частности, в результате проведения экспериментальных исследований В.С. Кнорозом (1958 г.) в гидравлическом лотке шириной 0.625 м с девятью разновидностями отсортированных песчаных и гравелистых частиц диаметром от 0.164 мм до 18.4 мм величина критического касательного напряжения  $\theta_{0c}$ , отвечающего началу сдвига частиц в области больших значений числа Рейнольдса, была получена равной 0.0262, что в два раза меньше, чем у Шильдса. На это неоднократно и ранее обращали внимание целый ряд отечественных и зарубежных авторов. Выполненные нами обширные тестовые расчеты по материалам измерений на судоходных реках (Гладков Г.Л., 1995) показали существенное повышение качества вычислений с использованием этих данных исследований.

Следует согласиться с автором и в той части, что расчетные зависимости, имеющие структуру формулы Мейер-Петера и Мюллера (Meyer-Peter, E. and Muller, R., 1948) не дают

удовлетворительных результатов при вычислении расхода наносов относительно мелких по крупности частиц, в области малых значений критического касательного напряжения  $\theta_{0c}$ . Это утверждение не вызывает сомнения, т.к. исходные эксперименты по установлению критических значений проводились с однородным материалом при безгрядовом дне. При этом, в области относительно мелких грунтов, значения критического касательного напряжения по Шильдсу для безгрядового дна оказались очень близкими экспериментальным данным В.С. Кнороза.

Для использования расчетной формулы Мейер-Петера и Мюллера в реальных условиях, отличающихся от условий проведения экспериментов в гидравлических лотках, в расчетной практике вводится система дополнительных коэффициентов.

Анализ материалов исследований ряда зарубежных авторов показывает, что исходная модель транспорта наносов, имеющая структуру формулы Мейер-Петера и Мюллера, может быть улучшена путем уточнения оценки “ripple”- фактора с использованием параметра  $\mu_j$ , позволяющего выделить относительную долю зернистой шероховатости при определении величины касательного напряжения на дне потока. При этом наилучшие результаты по материалам выполненных ранее тестовых расчетов дают расчетные формулы Эйнштейна- Ялина (см. Sehngen B., Kellerman Y., Loy G. Modelling of the Danube and Isar rivers morphological evolution, 1992).

По результатам исследований Рибберинка (Ribberink J.S. Mathematical modelling of one dimensional morphological changes in rivers with non uniform sediment, 1987) вычисление расхода наносов разнозернистых грунтов рекомендуется вести пофракционно. Для учета различной вероятности сдвига частиц различной крупности в смеси грунта на дне потока (т.н. “hiding”- эффект) в упомянутой выше работе Sehngen B. и др. используются рекомендации, полученные по материалам исследований Ашида- Егизарова (Ashida, K. and Kishi, T. The bed configuration and roughness of alluvial streams, 1973).

Тестовые расчеты, выполненные на основе данных рекомендаций, позволили получить удовлетворительные результаты на основе исходной расчетной формулы Мейер-Петера и Мюллера. Однако при этом получаются достаточно сложные модели транспорта наносов, содержащие большое количество различных коэффициентов.

В этом смысле большой интерес могут представлять результаты, полученные автором для горно-предгорных рек с использованием методов, учитывающих в явном виде характеристики гряд. По мнению автора представляется возможным расширить область применения широко апробированных методик ГГИ, построенных на использовании формул расхода наносов, основанных на использовании измеренных или рассчитанных характеристик донных гряд.

При этом нужно установить и ограничить пределы возможного применения этих зависимостей по гидравлическим факторам, для того, чтобы обеспечить правомерность их применения в данных условиях. Т.е., для практических целей в рамках разработанной гидравлической классификации необходимо установить критерии, при которых происходит срыв гряд и изменяется форма движения наносов с грядовой формы на бесструктурную форму.

Имея в виду, что натуральных данных по исследованию параметров гряд на горно-предгорных реках крайне мало, возможность предлагаемого автором расширения области применения полученных ранее зависимостей для донных гряд в равнинных реках на эту группу речных потоков будет зависеть от решения следующих вопросов.

1. В какой мере соблюдается подобие размеров и скорости перемещения донных гряд в реках и в гидравлических лотках. Как показали ранее результаты исследований Б.Ф. Снищенко, а это подтверждается автором диссертационной работы, связь между высотой гряд и глубиной потока в гидравлических лотках и в равнинных реках оказывается различной.

2. В равнинных реках, сложенных преимущественно песчаными грунтами средней крупности, измеренные параметры гряд – их длина и высота – не зависят от крупности частиц. Это условие подтверждается для всего диапазона крупности песчаной фракции грунтов, слагающих донные гряды. В какой мере это утверждение можно обосновать для донных гряд горно-предгорных рек, сложенных относительно более крупными грунтами донных отложений.

3. Наконец, грунты донных отложений в равнинных реках, из которых формируются грядовые образования, являются преимущественно однородными или близкими к однородным. В горно-предгорных реках неоднородность грунтов существенно выше. Как это сказывается на параметрах образующихся донных гряд и скорости их перемещения.

Достоверность и новизна исследования, полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Новизна диссертации заключается в следующем:

1. Автор диссертационной работы, используя широкий охват данных измерений на реках и в гидравлических лотках (444 измерения) и большое количество различных методов расчета расхода донных наносов и характеристик гряд (133 формулы) систематизировала основные имеющиеся научные результаты в данной области. Это было достигнуто путем разработки гидравлической классификации рек применительно к расчетам расхода донных наносов и в результате апробации методов расчета по гидравлическим группам рек, каждая из которых представлена существенным количеством измерений.

2. Созданы три специализированные базы данных натуральных и лабораторных измерений РДН, достоверность которых подтверждена критическим анализом; созданы две базы данных отечественных и зарубежных методов расчета РДН, основанных на различных методических подходах, в том числе из тех, которые ранее в отечественной научной литературе не рассматривались.

3. Получены новые эмпирические формулы: для расчета высоты донных гряд и РДН; получены локальные зависимости РДН для отдельных рек Севера и Северо-Запада в створах Гидрометслужбы при минимальной гидравлической информации.

4. Разработаны научно обоснованные рекомендации по расчету РДН для различных видов речных русел и форм движения донных наносов; разработаны рекомендации по расчетам расхода донных наносов для различных гидравлических условий в реках.

5. Использование в диссертационной работе специализированных баз данных натуральных и лабораторных измерений РДН подтверждает достоверность полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Значимость для науки и практики полученных автором результатов.

Теоретическая значимость работы состоит, во-первых, в том, что разработана гидравлическая классификация рек применительно к расчетам расхода донных наносов. Во-вторых, в том, что благодаря выполненной автором апробации на обширных данных многие расчетные методы получили научное обоснование. В-третьих, в ходе апробации автором уточнена технология расчета расхода донных наносов.

Основным практическим результатом диссертации являются новые рекомендации по расчетам расхода донных наносов в реках с различными гидравлическими условиями. Полученные рекомендации могут быть использованы в расчетах расхода донных наносов при решении многих водохозяйственных задач.

Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.

Основные результаты, полученные в диссертационной работе Петровской О.А. и сформулированные автором выводы и практические рекомендации, позволят повысить точность определения расходов донных наносов в реках с подвижными грунтами в ходе гидравлических расчетов, выполняемых при составлении анализа и прогноза русловых формирований в естественных условиях, а также при проектировании инженерных мероприятий на равнинных и горно-предгорных реках в различных областях водохозяйственной деятельности.

Созданные в работе специализированные базы данных натуральных и лабораторных измерений РДН позволят повысить качество верификации математических моделей, используемых в расчетной практике.

Следующим шагом на пути стандартизации результатов проведенных исследований в данной области, следует поставить задачу создания соответствующего свода правил по определению расхода донных наносов в реках с деформируемым ложем для обеспечения нужд практики при выполнении исследовательских и проектных работ.

Выводы и рекомендации.

В целом, диссертационная работа Петровской О.А. выполнена на современном научном уровне и представляет собой завершенную самостоятельную научно-квалификационную работу, в которой на основе выполненных автором исследований в области транспорта наносов в речных руслах, анализа материалов натуральных и лабораторных исследований и современной практики гидравлических расчетов решена актуальная научная задача, направленная на повышение надежности определения расхода донных наносов с целью оптимизации методов расчета расхода донных наносов с учетом гидравлических параметров рек.

Автором по теме диссертационной работы опубликовано 19 печатных работ, в которых отражены основные положения диссертационной работы, из них 2 опубликованы в рецензируемых научно-технических журналах по перечню ВАК РФ.

Диссертация представлена на достойном профессиональном уровне, оформлена аккуратно, материалы изложены в логической последовательности, содержат необходимые выводы и рекомендации.

Автореферат отражает содержание диссертационной работы и оформлен в соответствии с требованиями ВАК РФ. Стиль изложения способствует пониманию научной проблемы и позволяет объективно оценить результаты исследований.

Заключение.

Исходя из изложенного, считаю, что по актуальности, научной новизне, практической значимости диссертационная работа Петровской Ольги Андреевны «Оптимизация методов расчета расхода донных наносов с учетом гидравлических параметров рек» отвечает требованиям пункта 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013г. №842, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а ее автор, Петровская Ольга Андреевна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.27 – Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия.

Официальный оппонент, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой водных путей и водных изысканий Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова»

Гладков Геннадий Леонидович.



Сарнацкая Н.А. удостоверяю  
руководителя этого отдела  
Н.А. Сарнацкая  
2019 г.

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»  
Двинская, д. 5/7, г. Санкт-Петербург, 198035  
Тел.: (812) 748-96-92, (812) 748-96-33.  
E-mail: otd\_o@gumrf.ru, gladkovgl@gumrf.ru