



На правах рукописи

Коринец Екатерина Михайловна

**Развитие информационных технологий исследования речных
геосистем**

Специальность 25.00.35 – Геоинформатика

05.22.17– Водные пути сообщения и гидрография

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2018

Работа выполнена на кафедре гидрометрии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский Государственный гидрометеорологический Университет» (РГГМУ)

- Научный руководитель:** **Барышников Николай Борисович**
доктор географических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры Гидрометрии ФГБОУ ВО «Российский Государственный гидрометеорологический Университет»
- Научный консультант:** **Соколов Александр Геннадьевич**
кандидат военных наук, доцент, профессор кафедры Морских информационных систем ФГБОУ ВО «Российский Государственный гидрометеорологический Университет»
- Официальные оппоненты:** **Присяжнюк Сергей Прокофьевич**
доктор технических наук, заслуженный деятель науки РФ, заведующий кафедрой геоинформационных систем федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»
- Кляхин Валерий Николаевич**
доктор военных наук, кандидат технических наук, профессор, советник РАН, старший научный сотрудник НИИ (кораблестроения и вооружения ВМФ) ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия».
- Ведущая организация:** Акционерное общество «СПИИРАН-Научно-техническое Бюро Высоких Технологий»

Защита состоится _____ на заседании диссертационного совета Д 212.197.03 при Российском государственном гидрометеорологическом университете по адресу: 195196, Санкт-Петербург, пр. Металлистов, д. 3, ауд. ____ в ____ час. __ мин.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного гидрометеорологического университета или на сайте <http://www.rshu.ru/university/dissertations/>

Ваш отзыв на автореферат просим направлять по адресу 192007, Россия, Санкт-Петербург, ул. Воронежская, дом 79. Российский государственный гидрометеорологический университет, Диссертационный совет Д.212.197.03, Ученому секретарю.

Автореферат разослан «__» _____ 2018 г.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 212.197.03

Д. т.н., профессор

Е.П. Истомин

Актуальность работы. Системный подход, как новое направление исследований в гидрологии, стал применяться не так давно, в частности, он представляет собой анализ геосистемы «бассейн – речной поток – русло», как саморегулирующейся. Поймы являются важной составляющей в этом процессе, так как они выполняют основную роль регулятора стока воды и стока наносов. Известно, что основная масса наносов поступает в речные русла в периоды подъемов уровней во время паводков и половодий и, особенно, катастрофических, когда поймы, как правило, полностью затоплены, и пойменный поток начинает активно взаимодействовать с русловым. При этом возникает эффект взаимодействия потоков, который трансформирует поля их скоростей. Отсюда следует, что одной из главных причин неудовлетворительных результатов расчетов расходов донных наносов по формулам является недостаточная изученность вопроса о влиянии эффекта взаимодействия руслового и пойменного потоков.

Такое положение дел с информацией о стоке донных наносов свидетельствует об **актуальности научной задачи диссертации**, имеющей большое теоретическое и практическое значение: на основе модифицированной методики экспериментального прогнозирования русловых деформаций разработать базу знаний геоинформационной системы, предназначенной для сбора, систематизации и анализа пространственно-координированных данных о характеристиках русловых и пойменных потоков для управления русловыми процессами.

В настоящее время отсутствует единый открытый для исследователей и инженеров-гидрологов информационный банк, характеризующий состояние гидроресурсов страны и их использование. Причиной такого положения является разрозненность гидрологической информации, ее несогласованность, а также отсутствие обобщенных данных результатов экспериментальных лабораторных и натурных исследований.

Так как инженерная гидрология оперирует большими объемами пространственной информации **актуальной является научная проблема**

формирования геоинформационных систем, включающих структуры и инструменты управления данными, необходимые для анализа и обработки гидрологической информации о речных геосистемах.

Объектом исследований является геоинформационная система, предназначенная для сбора, систематизации и анализа пространственно-координированных данных с целью оценки транспортирующей способности руслового потока при влиянии на него пойменного.

Предмет исследований – база знаний геоинформационной системы, включающая экспериментально установленные зависимости транспортирующей способности руслового потока от особенностей морфологического строения расчетного участка, определяющего тип взаимодействия руслового и пойменного потоков.

Цель работы – формирование базы знаний геоинформационной системы на основе исследований закономерностей взаимодействия руслового и пойменного потоков.

Для достижения поставленной цели в работе решены следующие **задачи**.

1. Выполнен анализ современного состояния проблемы учета расходов и стока донных наносов в структуре речной геосистемы.
2. Проведены экспериментальные исследования по разработанным модифицированным методикам.
3. Разработан алгоритм обработки экспериментальных данных, на основании которого было проведено обобщение результатов экспериментальных исследований за все периоды их проведения, а также выявлены новые зависимости.
4. Разработано программное обеспечение по визуализации полученных зависимостей и база данных для их хранения, обработки и дальнейшего дополнения.
5. Обоснованы структура и содержание базы знаний для прогнозирования русловых деформаций.

6. Разработаны практические рекомендации по учету влияния эффекта взаимодействия руслового и пойменного потоков на транспорт донных наносов в управлении речной геосистемой.

Основные результаты, выносимые на защиту

1. **Выполнен анализ** современного состояния проблемы учета расходов и стока донных наносов в структуре речной геосистемы и сформулирована **новая научная задача**: систематизации и анализа пространственно-координированных данных о характеристиках русловых и пойменных потоков в геоинформационной системе для совершенствования методики прогнозирования русловых деформаций в части оценки влияния эффекта взаимодействия руслового и пойменного потоков на транспортирующую способность руслового потока.

2. Разработана **модифицированная методика экспериментальных исследований** взаимодействия руслового и пойменного потоков.

3. Разработана **методика обработки экспериментальных данных**, реализованная в виде **алгоритма и программного обеспечения** по визуализации полученных зависимостей

4. Обоснованы **структура и содержание базы знаний геоинформационной системы** для прогнозирования русловых деформаций на основании результатов экспериментальных исследований, систематизированных в **специализированной базе данных**.

5. Разработаны **практические рекомендации** по учету влияния эффекта взаимодействия руслового и пойменного потоков при оценке транспортирующей способности руслового потока в управлении речной геосистемой.

Научная новизна и личный вклад автора. Автором была сформулирована новая научная задача, а для ее решения была разработана модифицированная методика проведения экспериментальных исследований, алгоритм обработки экспериментальных данных, позволивший установить

новые закономерности поведения речной геосистемы, составившие содержание базы знаний геоинформационной системы.

В результате проведения экспериментов выявлены закономерности воздействия эффекта взаимодействия руслового и пойменного потоков на транспортирующую способность руслового потока в стационарных условиях. Выполнена оценка влияния особенностей морфологического строения русла и поймы на транспортирующую способность руслового потока при стационарных условиях. Впервые экспериментальным путем установлено, что в результате саморегулирования в подсистеме речной поток-русло в период подъема уровней, когда в русловой поток поступает максимальное количество наносов, система перестраивается таким образом, что под воздействием эффекта взаимодействия значительно возрастают скорости и транспортирующая способность руслового потока. В период спада уровней, когда в русловой поток поступает ограниченное количество донных наносов («осветленный поток»), система вновь перестраивается, и за счет торможения пойменным потоком руслового, скорости последнего и его транспортирующая способность существенно уменьшаются.

Разработано программное обеспечение по визуализации полученных зависимостей, на основании выполненного анализа, а также проведено обобщение результатов экспериментальных исследований за все периоды их проведения.

Автор принимала непосредственное участие при проведении экспериментальных исследований и обработке результатов измерений, на основании которых была разработана специализированная база данных геоинформационной системы, характеризующая обобщенные результаты экспериментов, проводимых более десяти лет в лаборатории кафедры гидрометрии РГГМУ.

Практическая значимость и применение результатов.

Систематизация и анализ пространственно-координированных данных о характеристиках русловых и пойменных потоков в геоинформационной

системе позволяет обобщить информацию о характеристиках и закономерностях поведения потоков, совершенствуя уровень знаний. Рекомендации по совершенствованию методов расчетов расходов донных наносов, основанные на результатах данной работы, могут быть применены при проектировании и строительстве гидротехнических сооружений, так как данные о стоке наносов востребованы, а натурная информация, как правило, отсутствует или имеет высокую стоимость и низкое качество.

Полученные в ходе данного исследования методические разработки могут быть использованы при создании территориальных ГИС, корректировке СНиПов, оценке риска наводнений, а также для мониторинга и прогноза русловых деформаций, в том числе учет стока донных наносов, расчет русловых карьеров, размыв водохранилищ и опор мостовых переходов.

Публикации. Основные положения и выводы работы были изложены в публикациях в научных журналах и сборниках материалов конференций, в том числе в журналах «Ученые записки РГГМУ» (№19, 2011; №22, 2011; №23, 2011; №30, 2013; №39, 2015; реферируется ВАК), «Геоморфология» (№1, 2012; реферируется ВАК). Всего 16 печатных работ, в том числе 7 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Апробация. Результаты работы были доложены на конференциях: VII Всероссийский Гидрологический съезд (Санкт-Петербург, 2013), Научно-практическая конференция "Водные пути и русловые процессы - Гришанинские чтения", (ГУМиРФ им. адмирала С.О. Макарова, Санкт-Петербург, 2014), Всероссийская конференция «Гидрометеорология и экология: научные и образовательные достижения и перспективы развития» (Санкт-Петербург, 2017) и на заседаниях СНО РГГМУ. Проект был удостоен премии, как победитель конкурса грантов для студентов и аспирантов вузов, отраслевых и академических институтов (СПб, 2012). Получено авторское свидетельство №2018610821 о регистрации программы для ЭВМ (2018).

Соответствие диссертации Паспорту специальности.

Сформулированные в диссертации цели и задачи, а также полученные основные результаты соответствуют формуле паспорта специальности 25.00.35-«Геоинформатика» и следующим пунктам: п.4. Базы и банки цифровой информации по разным предметным областям, а также системы управления базами данных; п.5. Базы знаний по разным предметным областям; п.6. Математические методы, математическое, информационное, лингвистическое и программное обеспечение для ГИС. Также полученные результаты соответствуют формуле паспорта специальности 05.22.17-«Водные пути сообщения и гидрография» и следующим пунктам: п.2. Глубины, поверхностные и глубоководные течения; п.5. Донные грунты и грунты на прилегающих территориях.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 разделов, заключения, списка литературы из 82 наименований и 3 приложений. Работа объемом 162 стр., содержит 40 рисунков и 11 таблиц.

Во введении сформулированы основные цели и задачи исследования, описан объект исследования, раскрыта актуальность и научная новизна работы, обоснована ее практическая значимость, а также обозначен личный вклад автора. Приведено краткое описание работы по разделам, и обозначены основные результаты, выносимые на защиту.

В первом разделе «Современное состояние проблемы учета расходов и стока донных наносов в структуре речной геосистемы» приведены результаты анализа основных проблем, связанных с развитием речных геосистем, а также с методиками учета транспорта донных наносов в руслах рек.

Для решения таких задач, как выполнение оперативных расчетов, оценки водных ресурсов и изучения гидрологического режима водных объектов органы государственного управления нуждаются в использовании географических информационных систем. Особенно остро эта проблема стоит в связи с регулярным сокращением количества гидрологических станций на территории РФ, а также во многих зарубежных странах.

Использование автоматизированной системы управления русловыми процессами, основанной на ГИС, позволит усовершенствовать ее управленческие функции и механизмы, повысит уровень предотвращения аварий на гидротехнических сооружениях, а также представит потенциал для дальнейшего развития методик на основе данной системы. Таким образом, управленческое решение должно содержать модель процесса, которым оно управляет, и являться системой. Для разработки системы (модели) существует два подхода: на основе анализа или синтеза. Первый подход не позволяет формировать процессы с заранее заданными свойствами, что особенно важно при прогнозировании. На рис. 1 представлена структура основных этапов синтеза модели управленческого решения.

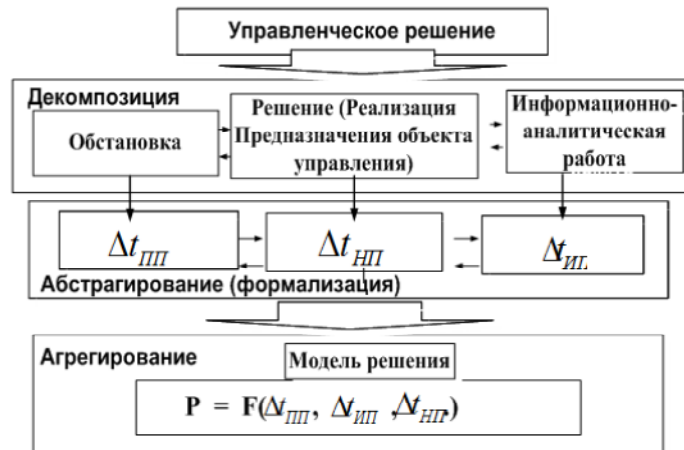


Рисунок 1 - Структурная схема этапов синтеза модели управленческого решения

где: $\Delta t_{пп}$ – время проявления проблемы; $\Delta t_{ип}$ – время идентификации (распознавание); $\Delta t_{нп}$ – время нейтрализации (устранение).

На основе полученной зависимости можно записать формулу для расчета показателя эффективности принятия управленческого решения, который характеризует вероятность идентификации ситуации и принятия адекватного решения (P).

Основное уравнение показывает вероятность нахождения системы во время состояния, когда существующая проблема решена, а новая еще не наступила.

$$P = \frac{\vartheta_1 \vartheta_2}{\lambda(\lambda + \vartheta_1 + \vartheta_2) + \vartheta_1 \vartheta_2}, \quad (1)$$

где $\vartheta_{1,2}$ – интенсивности деятельности по идентификации и нейтрализации проблемы (причем $\vartheta_1 = \frac{1}{\Delta t_{\text{тип}}}$, $\vartheta_2 = \frac{1}{\Delta t_{\text{тнн}}}$);

λ – величина, обратная среднему времени проявления проблемы ($\lambda = \frac{1}{\Delta t_{\text{пп}}}$).

В качестве примера расчетно-графического представления возможностей применения ГИС при управлении русловыми процессами можно рассмотреть обслуживание участка трубопровода через реку. На основе учета и прогноза русловых деформаций можно гарантировать бесперебойную работу данного участка.

Пусть $\Delta t_{\text{пп}}$ – время проявления одной из вышеуказанных проблем (неизвестно);

$\Delta t_{\text{тип}}$ – время идентификации (распознавание) при плановом обслуживании приблизительно 3 суток, при использовании ГИС и наличии прогноза русловых деформаций приблизительно 2 часа;

$\Delta t_{\text{тнн}}$ – время нейтрализации (комплекс мероприятий по предотвращению аварийных ситуаций на участках подводных переходов трубопроводов) приблизительно 5 суток.

Тогда, решая уравнение 1, получаем зависимость $P=f(\lambda)$ графически представленную на рис. 2. P_1 – показатель эффективности при наличии плановых мероприятий по обслуживанию участка перехода (отображается синим цветом), P_2 – при использовании ГИС (красный цвет).

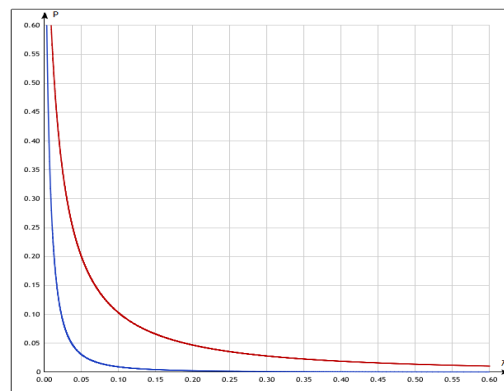


Рисунок 2 - Показатель эффективности в управлении гидротехническими сооружениями при использовании ГИС

Из данного рисунка видно, что при увеличении времени на принятие решения, включающее время идентификации и нейтрализации проблемы, можно повысить вероятность решения, отвечающего современным условиям функционирования речной геосистемы.

В качестве демонстрации потенциальных возможностей применения ГИС-технологий был выбран участок реки Оби около города Барнаула. На рис. 3 представлен результат построения этой области.



Рисунок 3 – цифровое картографическое изображение участка р. Оби

При помощи ГИС-программ (QGIS и Global Mapper) была построена цифровая карта участка бассейна р. Оби, и на ее основе был применен метод трехмерного моделирования. Так как высота местности является одним из факторов, оказывающих существенное влияние на сток, данный метод позволил создать карту пространственного распределения слоя стока (рис. 4).



Рисунок 4 – трехмерное картографическое изображение участка р. Оби

Многие геоинформационные системы имеют функции, которые позволяют работать в трехмерном пространстве, на их основе можно

построить цифровые модели рельефа (ЦМР). Пример ЦМР для участка р. Оби представлен на рис. 5. По этим моделям определяются средние высоты водосбора, уклон и объемы водных объектов.

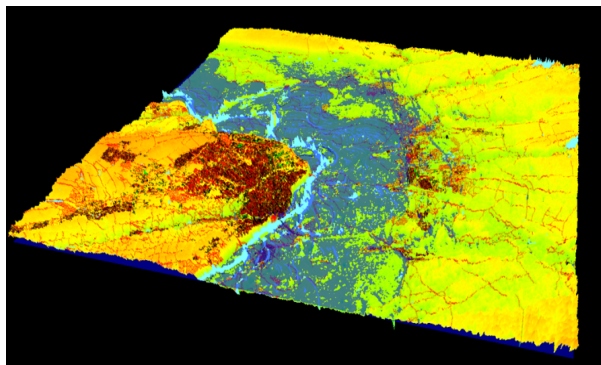


Рисунок 5 – Цифровая модель рельефа участка р. Оби

Непрерывные деформации, которым подвержены речное русло и поймы под действием текущей воды называются русловым процессом, который проявляется в виде размыва русла и поймы, а также переноса и аккумуляции наносов.

Наносы являются компонентом речной геосистемы и подразделяются на взвешенные и донные, которые в свою очередь подразделяются, согласно Н.Б. Барышникову на влекомые (т.е. перемещающиеся в форме влечения, качения и сальтации) и в донно-грядовой форме перемещения. К сожалению, на сети Росгидромета не производятся наблюдения за расходами донных наносов из-за несовершенства методики их измерения, несмотря на значимость этой характеристики, что привело к разработке более 200 аналитических формул. Разработанные формулы не давали приемлемых результатов, что было подтверждено крупномасштабным экспериментальным исследованием в ГГИ под руководством З.Д. Копалиани.

На основе данных исследований по оценке формул для расчета расходов донных наносов были сделаны выводы о причинах неудовлетворительных результатов расчетов по ним. Одной из основных причин таких результатов явилось то, что для равнинных пойменных рек,

которыми богата территория РФ, не учитывался эффект взаимодействия руслового и пойменного потоков.

В разделе дано подробное описание пойм, как компонентов речной геосистемы, их основных характеристик, а также представлена, разработанная Н.Б. Барышниковым типизация взаимодействия руслового и пойменного потоков, в основу которой было положено взаимное расположение их динамических осей на участке, расположенном ниже расчетного створа. В результате было выделено пять соответствующих типов (рис 6).

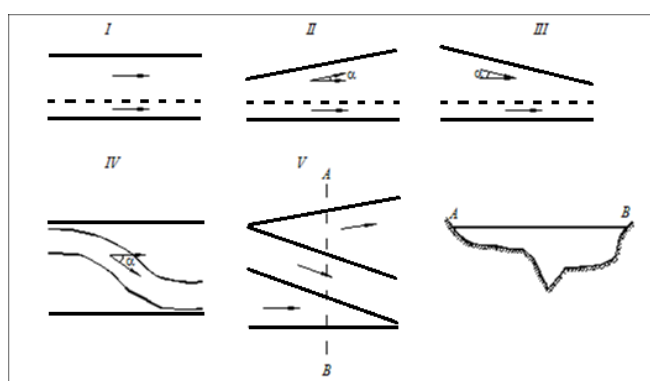


Рисунок 6 - Типы взаимодействия руслового и пойменного потоков

Было установлено, что на транспортирующую способность руслового потока влияет пойменный поток, что не учитывается в методиках определения расходов донных наносов, в связи с чем обоснована необходимость экспериментального исследования взаимодействия руслового и пойменного потоков.

В ГГИ в 60-х годах прошлого столетия были проведены наблюдения за затоплением пойменных массивов, в основном свободного меандрирования, на различных реках (Луге, Оке, Оби, Поломети и др.) в период прохождения паводков различной обеспеченности. Практически на всех исследованных реках, при высоких уровнях, наблюдалось поступление наносов из русел на поймы. Причем наблюдалось это именно в тех местах, где динамические оси руслового и пойменного потоков пересекались под наибольшими углами и где в русле располагались перекатные участки. Особенно четко это отражено

в работе З.М. Великановой и Н.А. Ярных на примере пойменного массива на р. Оби у г. Барнаула (рис.7).

На рис.7 указаны зоны отложения наносов на пойме в верхней части массива, достигающие 1,5 м толщины. Наносы откладывались в виде конусов выноса, наибольшая длина которых достигала 150—200м (от бровки). При этом в верхней части пойменного массива отмечено осаждение русловых наносов. Полученные данные о средней крупности наносов позволяют считать, что в верхней части пойменного массива отмечено осаждение русловых наносов ($\bar{k} \approx 0,16 - 0,24$ мм).

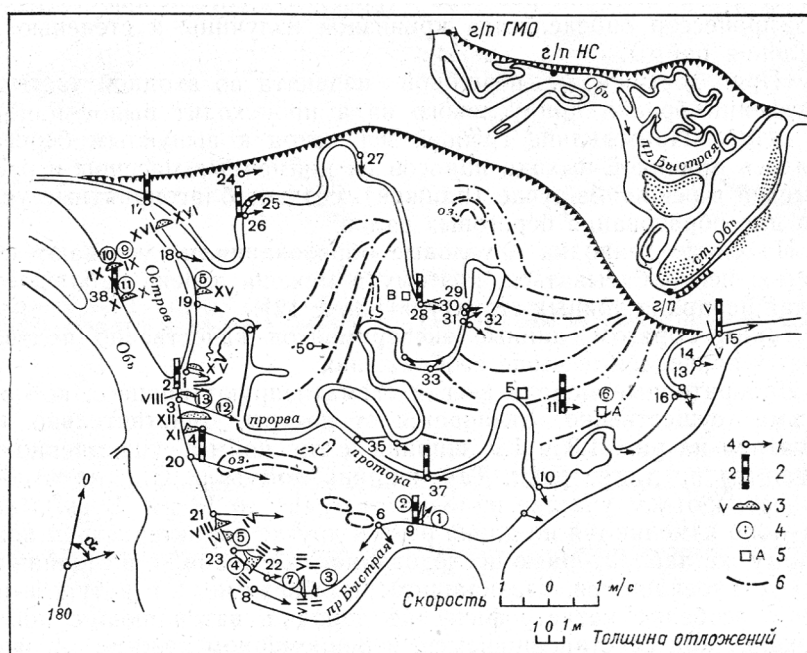


Рисунок 7 - План пойменного массива и схема всего участка р. Оби

1 - векторы поверхностных скоростей на пике половодья, 2 - водомерные посты, 3 - характерные профили отложения наносов на пойме, 4 - места отбора проб донных отложений, 5 - границы полигонов, 6 - береговые валы.

Римские цифры I–XVI обозначают зоны выноса наносов из русла на пойму.

Таким образом, в данном разделе обобщены результаты экспериментальных и натурных исследований различных авторов, посвященных выявлению влияния эффекта взаимодействия руслового и пойменного потоков на транспорт донных наносов. Приведена характеристика современного состояния проблемы учета расходов и стока

донных наносов в структуре речной геосистемы и поставлен ряд новых задач, для решения которых необходимо проведение масштабных лабораторных исследований.

Результат, выносимый на защиту: на основании анализа современного состояния проблемы учета расходов и стока донных наносов в структуре речной геосистемы сформулирована новая научная задача: ***систематизации и анализа пространственно-координированных данных о характеристиках русловых и пойменных потоков в геоинформационной системе для совершенствования методики прогнозирования русловых деформаций в части оценки влияния эффекта взаимодействия руслового и пойменного потоков на транспортирующую способность руслового потока в условиях различного расположения динамических осей взаимодействующих потоков.***

Во втором разделе «Методы экспериментальных исследований» представлена модифицированная методика проведения экспериментов по выявлению влияния эффекта взаимодействия руслового и пойменного потоков на транспорт донных наносов русловым потоком на лабораторной установке. Приведено описание лабораторного оборудования, экспериментальной модели и измеряемых характеристик, а также способы обработки и визуализации экспериментальных данных. За основу методического обеспечения экспериментов принята методика, разработанная на кафедре гидрометрии РГГМУ, представляющая собой моделирование руслового и пойменного потоков при стационарных условиях. Совершенствование методики основано на вариативном характере типа подстилающей поверхности поймы и включает шероховатость трех типов.

Представлен состав лабораторного оборудования. Проведено описание экспериментальной модели и ее отличия от существующих, а также способы обработки и визуализации экспериментальных данных, алгоритм которых представлен в виде схемы на рис.8.

Для снижения погрешностей измерения расходов наносов был применен метод сравнения, основанный на сопоставлении данных измерений транспортирующей способности руслового потока как при его изоляции от пойменного, так и при их взаимодействии.

Модифицированная методика проведения экспериментальных исследований предполагает:

- формирование системы оценки влияния параметров подстилающей поверхности поймы на транспорт донных наносов в русловом потоке при взаимодействии с пойменным;
- возможности лабораторных исследований закономерностей транспортирующей способности руслового потока при влиянии на него пойменного для различных типов взаимодействия;
- выработки требований для алгоритмов и информационных систем формализации полученных научных результатов.

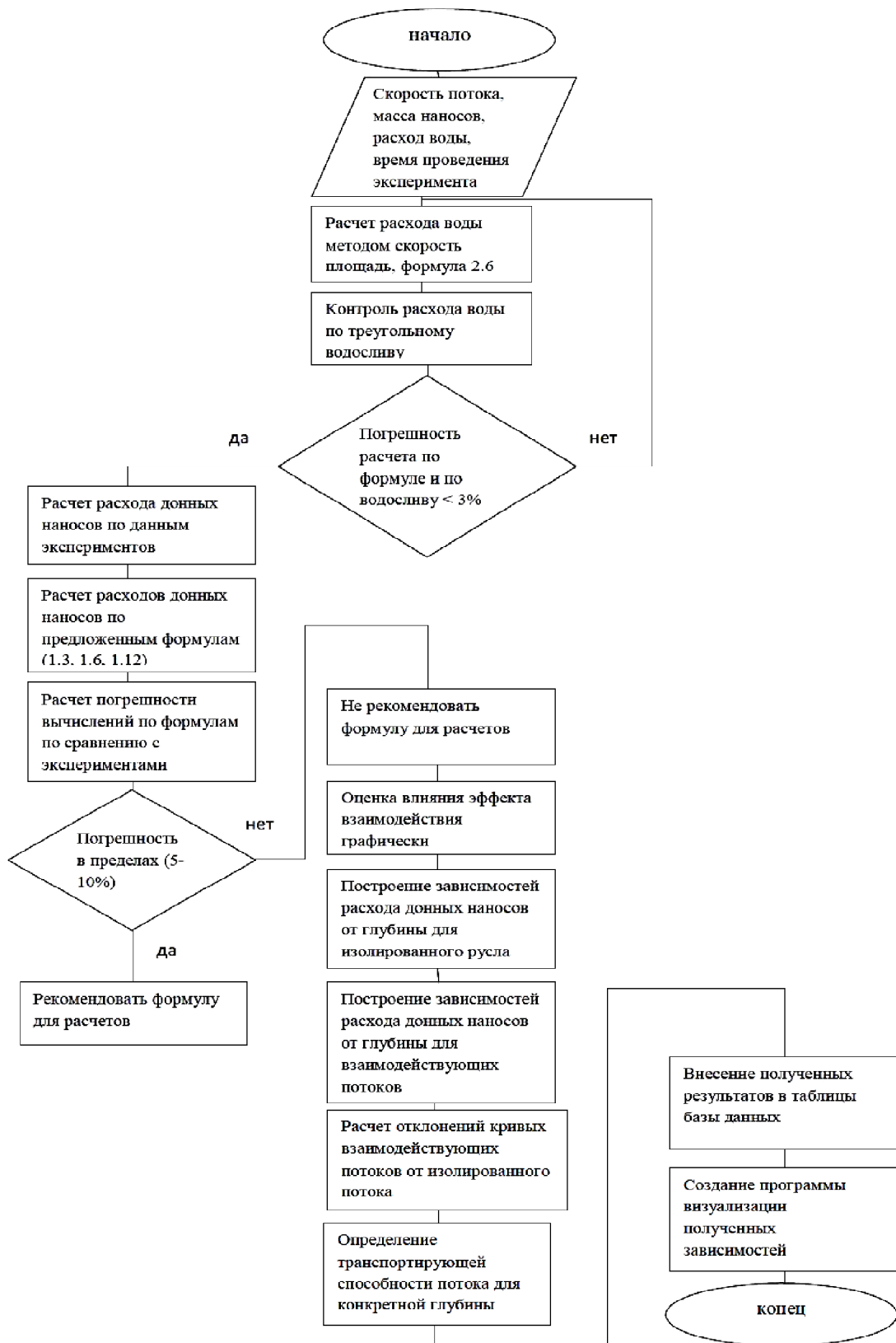


Рисунок 8 – Алгоритм обработки данных экспериментальных измерений

Для систематизации полученных результатов в геоинформационной системе автором была разработана база данных. База данных представляет собой основу для получения закономерностей, которые входят в состав базы знаний геоинформационной системы. Для ее формирования были собраны в единое информационное поле результаты всех экспериментальных исследований по выявлению влияния эффекта взаимодействия руслового и пойменного потоков на транспортирующую способность руслового потока.

Результаты, выносимые на защиту: модифицированная методика проведения экспериментальных исследований, алгоритм обработки экспериментальных данных.

В третьем разделе «Результаты экспериментальных исследований влияния эффекта взаимодействия руслового и пойменного потоков» представлены графические зависимости транспортирующей способности потока от глубины и угла между динамическими осями взаимодействующих потоков, а также характеристик подстилающей поверхности поймы, построенные на основе проведенного исследования. Полученные результаты позволяют качественно оценить влияние эффекта взаимодействия руслового и пойменного потоков на транспортирующую способность руслового потока в стационарных условиях. Экспериментальные данные были обобщены и представлены в программе визуализации графических зависимостей, разработанной автором, схема и описание которой представлено в данном разделе.

Таким образом, основные закономерности транспортирующей способности при гладкой пойме представляют собой:

- при расходящихся осях потоков, особенно под углом $\alpha=20^\circ$, наблюдается значительное увеличение транспортирующей способности руслового потока. При этом происходит более чем стократное увеличение транспортирующей способности руслового потока по сравнению с изолированным русловым потоком. Противоположное явление наблюдается при сходящихся динамических осях потоков, т.е. значительное уменьшение

транспортирующей способности руслового потока при вторжении в него пойменного. Величина этого уменьшения значительно больше, чем для условий параллельности динамических осей этих потоков.

Основные закономерности транспортирующей способности при шероховатой пойме:

- при расхождении динамических осей взаимодействующих потоков и наличии шероховатой поймы, транспортирующая способность руслового потока возрастает в десятки раз, тогда как при наличии гладкой поймы она увеличивается в сотни раз по сравнению с изолированным русловым потоком.

Полученные зависимости представлены на рисунке 9.

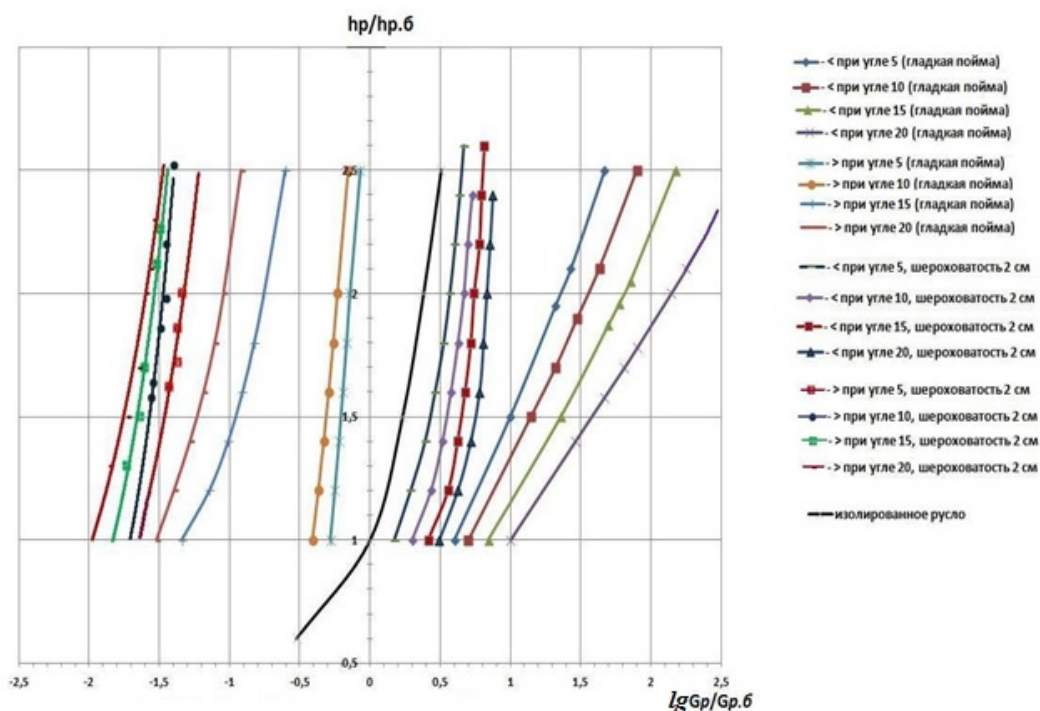


Рисунок 9 – Зависимости $G_p/G_{p.б} = f(h_p/h_{p.б}, \alpha)$ для условий расходящихся и сходящихся динамических осей потоков при наличии гладкой и шероховатой пойм

Экспериментальные данные были обобщены и представлены в программе визуализации графических зависимостей, разработанной автором, принцип работы которого представлен в виде блок-схемы на рис. 10. На рис. 11 показан пример интерфейса программы визуализации.

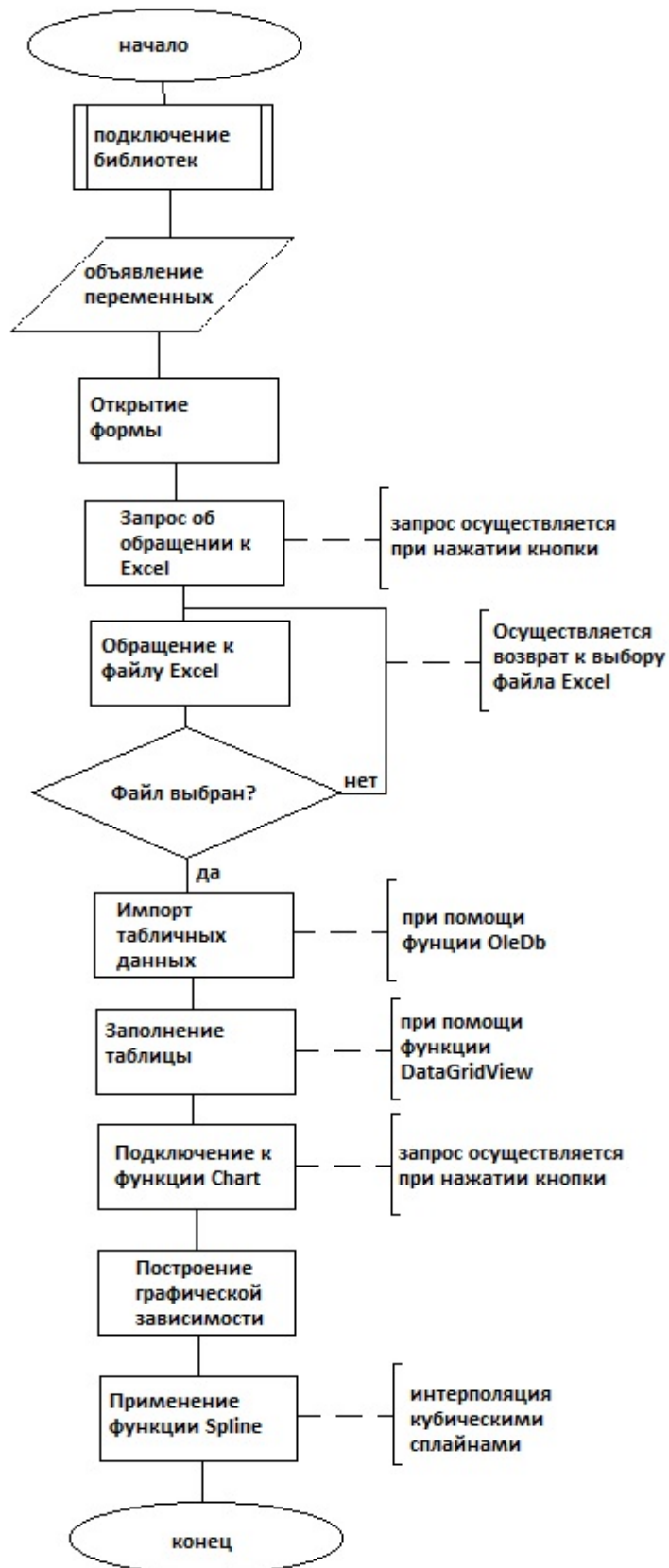


Рисунок 10 – Блок-схема алгоритма построения графических зависимостей

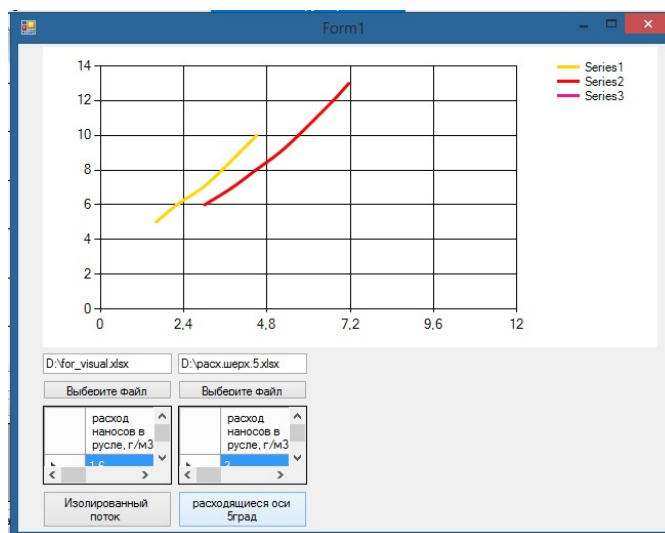


Рисунок 11 – Интерфейс программы визуализации

Исходные данные для программы визуализации получены из разработанной автором базы данных экспериментальных измерений в программе Microsoft Access – системе управления базами данных (СУБД), предназначенной для обеспечения доступа к обобщенной за все этапы проведения лабораторных исследований информации.

Основные задачи, которые были решены при разработке программного продукта:

- наглядно представить графические зависимости вида $G_p/G_{p.б.} = f(h_p/h_{p.б.}, \alpha)$ – т.е. зависимости, отражающие, какое количество наносов может переносить русловой поток при различных глубинах затопления поймы, фиксированном значении угла α и различных типах взаимодействия;

- генерировать различные комбинации графических зависимостей на усмотрение пользователя для качественной оценки процессов, происходящих при взаимодействии руслового и пойменного потоков.

База знаний, полученная на основании установленных закономерностей, позволит сформировать единое информационное поле научного эксперимента на физической модели, посвященного эффекту взаимодействия руслового и пойменного потоков, а архитектура этой базы

может быть адаптирована к множеству еще не рассмотренных условий, которые охватывает данная проблематика.

Таким образом, база знаний должна включать в себя:

- закономерности, выявленные на основе экспериментальных данных, характеризующие изменение транспортирующей способности руслового потока под действием на него пойменного

- рекомендации по учету представленных закономерностей при разработке прогнозов русловых деформаций

Результат, выносимый на защиту: методика обработки экспериментальных данных, реализованная в виде алгоритма и программного обеспечения по визуализации полученных зависимостей.

В четвертом разделе «Практические рекомендации по учету влияния эффекта взаимодействия руслового и пойменного потоков на транспорт донных наносов в управлении речной геосистемой» были сформулированы основные выводы по итогам данного исследования, даны рекомендации по совершенствованию методики учета стока донных наносов, а также сформирована и обоснована структура базы знаний для прогнозирования русловых деформаций. Физические процессы, которые наблюдаются в натуральных условиях, подтверждают результаты экспериментальной работы.

Выявленные закономерности включают:

- итоговые расчеты, выполненные по формулам, рекомендованным для расчетов расходов донных наносов, - формулы ГГИ, Гончарова, Шамова и др., показали, что погрешности расчетов по ним значительно превышают допустимые пределы;

- экспериментально было подтверждено влияние эффекта пространственности на транспортирующую способность руслового потока, суть которого заключается в трансформации скоростных полей руслового потока, которая на малых реках приводит к увеличению донных скоростей при тех же значениях средних, а, следовательно, и к увеличению транспортирующей способности потока;

- установлено, что при сходящихся осях взаимодействующих потоков наблюдается торможение руслового потока пойменным при его вторжении в русло во время разгрузки поймы. Это приводит к значительному уменьшению расходов донных наносов. При расходящихся осях потоков наблюдается противоположное явление;

- увеличение скоростей руслового потока при шероховатой пойме и 2-ом типе взаимодействия потоков значительно меньше, чем при гладкой пойме, но также приводит к существенному увеличению его транспортирующей способности;

- результаты анализа натуральных и лабораторных данных подтверждают наличие принципа саморегулирования в системе речной поток – русло.

- Теоретические предложения: методика обоснования целесообразности использования ГИС в интересах совершенствования управления русловыми процессами с последующей реализацией в подразделениях органов Ростехнадзора

- Прикладные предложения: данные научно-практические результаты целесообразно использовать в технологиях оперативного управления русловыми процессами в части проектирования и строительства гидротехнических сооружений, при прокладке трубопроводов, расчетах русловых карьеров, как методика организации деятельности проектных организаций. Разработать СНиП по автоматизации процессов управления на основе применения современных ГИС-технологий.

Результаты, выносимые на защиту: структура и содержание базы знаний геоинформационной системы для прогнозирования русловых деформаций на основании результатов экспериментальных исследований, систематизированных в ***специализированной базе данных***. Разработаны ***практические рекомендации*** по учету влияния эффекта взаимодействия руслового и пойменного потоков при оценке транспортирующей способности руслового потока в управлении речной геосистемой.

В заключении сформулированы основные научные результаты, которые отвечают задачам, поставленным в данном исследовании.

Основные результаты, выносимые на защиту опубликованы:

в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Скоморохова (Коринец) Е.М. Влияние эффекта взаимодействия руслового и пойменного потоков на гидравлику руслового потока и транспорт донных наносов / Барышников Н.Б., Субботина Е.С., Скоморохова (Коринец) Е.М., Поташко Е.А.// Ученые записки РГГМУ, 2011. №19, С.5-13.

2. Скоморохова (Коринец) Е.М. Антропогенное воздействие на пойменные процессы и гидравлику русловых и пойменных потоков / Барышников Н.Б., Субботина Е.С., Скоморохова (Коринец) Е.М., Поташко Е.А.// Ученые записки РГГМУ, 2011. №22, С.7-12.

3. Скоморохова (Коринец) Е.М. Разработка принципов оптимального размещения гидротехнических сооружений на берегах и руслах рек в целях минимизации гидрологических рисков / Барышников Н.Б., Субботина Е.С., Скоморохова (Коринец) Е.М., Соболев М.В. Поташко Е.А.// Ученые записки РГГМУ, 2011. №22, С.58-68.

4. Скоморохова (Коринец) Е.М. Коэффициенты шероховатости пойм / Барышников Н.Б., Субботина Е.С., Скоморохова (Коринец) Е.М., Поташко Е.А.// Ученые записки РГГМУ, 2011. №23, С.13-20.

5. Скоморохова (Коринец) Е.М. Определяющее воздействие морфологии русел и пойм на гидравлику руслопойменных потоков / Барышников Н.Б., Скоморохова (Коринец) Е.М., Соболев М. В., Поташко Е.А.// Геоморфология, 2012. №1, С.22-25.

6. Скоморохова (Коринец) Е.М. Морфометрические характеристики русел и пойм и их использование в гидравлических расчетах / Барышников Н.Б., Субботина Е.С., Скоморохова (Коринец) Е.М. // Ученые записки РГГМУ, 2013. №23, С.36-41.

7. Коринец Е.М. Донные наносы / Коринец Е.М., Барышников Н.Б.// Ученые записки РГГМУ, 2015. №39, С.44-49

Публикации в иных материалах:

8. Скоморохова (Коринец) Е.М. Анализ и оценка формул для расчета расхода донных наносов / Барышников Н.Б., Субботина Е.С., Скоморохова (Коринец) Е.М., Поташко Е.А. // Межвузовское координационное совещание по эрозионным и русловым процессам, Арзамас, 2011, С.65-67.

9. Скоморохова (Коринец) Е.М. Об учете эффекта взаимодействия руслового и пойменного потоков в методах расчетов расходов донных наносов на пойменных створах / Барышников Н.Б., Субботина Е.С., Скоморохова (Коринец) Е.М. // Водные пути и русловые процессы, ФБОУ ВПО "Санкт-Петербургский государственный университет водных коммуникаций", 2012., С.134-146.

10. Скоморохова (Коринец) Е.М. Влияние эффекта взаимодействия руслового и пойменного потоков на расходы донных наносов / Скоморохова (Коринец) Е.М. // Тезисы XVII Санкт-Петербургской Ассамблеи молодых ученых и специалистов, 2012, С.120.

11. Скоморохова (Коринец) Е.М. Воздействие пойменного потока на транспортирующую способность руслового потока / Барышников Н.Б., Субботина Е.С., Скоморохова (Коринец) Е.М. // 28 пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов, Пермь, 2013, С.60-61.

12. Скоморохова (Коринец) Е.М. О воздействии эффекта взаимодействия руслового и пойменного потоков и пространственности на расходы донных наносов / Барышников Н.Б., Субботина Е.С., Скоморохова (Коринец) Е.М. // Материалы VII Всероссийского гидрологического съезда, 19-21 ноября 2013 г., Санкт-Петербург

13. Скоморохова (Коринец) Е.М. Использование сведений о донных наносах при проектировании гидротехнических сооружений / Барышников Н.Б., Скоморохова (Коринец) Е.М., Овсейко П.П. // 29 пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов, Ульяновск, 2014, С.49-50.

14. Коринец Е.М. Влияние эффекта взаимодействия руслового и пойменного потоков на транспортирующую способность руслового потока / Барышников Н.Б., Коринец Е.М. // труды Всероссийской научно-практической конференции и XXXII межвузовского координационного совещания, Уфа, 2017, С.77-79

15. Коринец Е.М. Особенности создания геоинформационной системы на основе экспериментальных исследований по учету стока донных наносов в реках с поймами / Коринец Е.М., Коринец А.М. // Труды Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: научные и образовательные достижения и перспективы развития», Санкт-Петербург, 2017, С.273-276

16. Коринец Е.М. Практические рекомендации по учету эффекта взаимодействия руслового и пойменного потоков на транспортирующую способность руслового потока при формировании геоинформационной системы / Коринец Е.М. // «Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право», ООО «Андреевский издательский дом», Санкт-Петербург, 2017, С.71-75.

17. Свидетельство о полезной программе №2018610821 о регистрации программы для ЭВМ (2018)