

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

О диссертации Федоровой Т.А. «Численное моделирование спрямления речных излучин», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.6.16 – Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия

На рассмотрение представлены следующие документы и материалы:

- том с текстом диссертации на 120 страницах
- автореферат диссертации на 25 страницах

Актуальность темы

Меандрирование – естественный процесс развития речного русла, проявляющийся в его горизонтальных деформациях. Плановое смещение динамической оси руслового потока происходит большей частью времени за счет постепенного размыва вогнутых берегов на излучинах при одновременном нарастании противоположных выпуклых берегов за счет аккумуляции там наносов, поступающих с вышележащих участков русла. Со временем аккумулятивные формы зарастают и превращаются в сегменты молодой поймы, причлениваясь к шпорам излучины. В зависимости от соотношения гидродинамических и геологических факторов речные излучины могут принимать различные плановые очертания и характеризоваться различными сценариями развития. Прорыв шейки излучины может произойти либо посредством постепенного сближения размываемых берегов в ее верхнем и нижнем крыле, либо в результате образования спрямляющей протоки («прорвы») на излучине, еще не достигшей предельной петлеобразной формы – так называемое «незавершенное меандрирование».

При любом сценарии развития излучины процесс ее спрямления является «стрессовым событием», которое может повлечь за собой изменение направленности и темпов русловых деформаций на смежных участках реки. В случае активного хозяйственного использования реки такой «стресс» является источником серьезного риска для населенных пунктов, а также инфраструктурных объектов, находящихся на берегах реки.

Прогноз русловых деформаций обычно выполняется посредством сопоставления разновременных карт, аэрофото- и космических снимков. При этом принимается допущение об «инерционности» русловых деформаций – то есть предполагается, что темпы наблюдаемых смещений меандрирующего русла будут сохраняться и в будущем. Такой подход вполне оправдан при прорыве излучины в результате смыкания подмываемых берегов с учетом эмпирических зависимостей для корректировки темпов их

размыва при изменении плановой кривизны русла. Однако, при таком подходе прогнозирование прорыва излучины, не достигшей предельной кривизны, является непростой задачей, требующей наличия специальных знаний, опыта и интуиции. Оценка последствий такого «стресса» и перестройки русла на нижележащем участке также выходит за рамки традиционного подхода.

Развитие вычислительной техники и компьютерных технологий предоставило возможность реализации альтернативного подхода к прогнозу русловых деформаций - посредством численного гидродинамического моделирования.

Выполненные соискателем исследования являются актуальными и имеют научную и практическую значимость.

Основные результаты

1. Концепция комплексного использования метода численного моделирования в совокупности с полевыми исследованиями и анализом данных дистанционного зондирования для исследования русловых процессов на равнинных реках реализована в масштабе времени, пригодном для применения в инженерных целях.

2. Ретроспективное моделирование с использованием программного комплекса STREAM 2D CUDA продемонстрировало его способность реалистично воспроизводить довольно сложные русловые деформации. Это подтверждает принципиальную возможность прямого численного моделирования развития излучин равнинных рек на основе двумерных физико-математических моделей. Моделирование позволило воспроизвести основные этапы и механизмы прорыва излучины – образование спрямляющей протоки, ее расширение и углубление, блокирование побочном и заиливание старого русла.

3. Технологию моделирования в комплексе со специальными полевыми исследованиями можно рассматривать как первый шаг к использованию упреждающего моделирования для сценарного прогноза русловых деформаций, которое в свою очередь позволяет разрабатывать практические меры регулирования использования пойменных земель и минимизацию неблагоприятных проявлений русловых процессов.

4. Дальнейшее совершенствование технологии моделирования плановых русловых деформаций представляется перспективным направлением и может осуществляться посредством автоматизации процедуры изменения параметров шероховатости русла и поймы в результате русловых деформаций, а также сезонных и многолетних вариаций растительного покрова поймы.

Научная новизна полученных автором результатов работы

Научная новизна состоит в первом опыте применения численной гидродинамической модели для воспроизведения и прогнозирования процессов формирования спрямляющей протоки при незавершенном меандрировании, включая процессы прорыва излучин, попятной эрозии, развития прорв и проранов, а также заиления и отмирания прорванных излучин.

Практическая значимость работы

Практическая значимость заключается в демонстрации возможности применения модели для решения задач в инженерном масштабе времени, что в перспективе позволит решать разнообразные практические задачи, связанные как с установлением причин и последовательности нежелательного развития речного русла в прошлом, так и с прогнозом дальнейших его деформаций.

Обоснованность и достоверность результатов работы

Исследование базировалось на фундаментальных законах гидродинамики, были использованы реальные натурные и экспериментальные данные о гидравлических параметрах речного потока, морфологии, морфометрии и строении речного русла на моделируемых участках. Для калибровки и верификации моделей и их отдельных блоков использовались данные лабораторных экспериментов и геоизображений, а также гидрологические данные, находящиеся в свободном доступе.

Полнота изложения материалов диссертации в опубликованных соискателем работах

По результатам исследований опубликовано 10 научных работ, из них 8 статьи в журналах и изданиях, определенных Высшей аттестационной комиссией.

Статьи, опубликованные в рецензируемых изданиях из списка ВАК, в т.ч. индексируемых в базах данных Scopus и Web of Science:

1. **Федорова Т.А.**, Алабян А.М., Беликов В.В., 2021 Моделирование прорыва излучины при свободном меандрировании // ГеоРиск. Том XV, № 1, с. 28–42, DOI: 10.25296/1997-8669-2021-15-1-28-42
2. **Федорова Т.А.**, Васильева Е.С., Беликов В.В. Численное моделирование через гребень плотины треугольного профиля // Гидротехническое строительство, №4, 2020, 30-33. [**Fedorova, T.A.**, Vasil'eva, E.S., Belikov, V.V. Numerical simulation of triangular

dam overflow // *Power Technol. Engineering*, 54, pp. 354–357, 2020
DOI <https://doi.org/10.1007/s10749-020-01215-w>].

3. Belikov V. V., Borisova N. M., **Fedorova T. A.**, Petrovskaya O. A., Katolikov V. M. On the effect of the Froude number and hydromorphometric parameters on sediment transport in rivers. *Water Resources*, 46(1): 20–28, 2019. [DOI <https://doi.org/10.1134/S0097807819070029>]

4. Vasil'eva E. S., Belyakova P. A., **Fedorova T. A.**, Belikov V. V.. Numerical modeling of the behavior of a destructive rain flood on a mountain river. *Water Resources*, 46(1): 43–55, 2019. [DOI <https://doi.org/10.1134/S0097807819070169>]

5. В. В. Беликов, А. И. Алексюк, Н. М. Борисова, **Т. А. Федорова**. Применение ям-ловушек для уменьшения заиления водохранилищ ГЭС на горных реках. *Гидротехническое строительство*, (6):12–24, 2019. [Belikov V.V., Alekseyuk A. I., Borisova N. M., **Fedorova T. A.** Using of accumulation basins to reduce silting of reservoirs of hydroelectric power plants located on mountain rivers. 53(4). 2019. 429-439 DOI <https://doi.org/10.1007/s10749-019-01095-9>]

6. Alabyan, A., Belikov, V., Krylenko, I., Fingert, E., **Fedorova, T.** Retrospective simulation of an extreme flood on the Oka river at the city of Ryazan and impact assessment of urban and transport infrastructure. *Water Resources* 45, S1 (2018), 1–10. [DOI <https://doi.org/10.1134/S0097807818050263>]

7. Alekseyuk, A. I., Belikov, V. V., Borisova, N. M., **Fedorova, T. A.** Numerical modeling of non-uniform sediment transport in river channels. *Water Resources* 45, S1 (2018), 11–17. [DOI <https://doi.org/10.1134/S0097807818050275>]

8. С. В. Лебедева, А. М. Алабян, И. Н. Крыленко, **Т. А. Федорова**. Наводнения в устье Северной Двины и их моделирование. *Геориск*, (1):18–25, 2015.

Публикации в других изданиях:

9. **Fedorova T.**, Belikov V., Alabyan A. Simulation of the meander cut-off by 2D hydrodynamic model for erodible bed. в сборнике European Geosciences Union General Assembly 2021, серия Geophysical Research Abstracts, издательство Copernicus GmbH on behalf of the European Geosciences Union (Germany), том 23, тезисы, с. 6016, 2021.

10. Alekseyuk A.I., Belikov V.V., Borisova N.M., **Fedorova T.A.** Numerical Modeling of Channel Deformation Taking into Account Sediment Fractions Distribution. В сборнике *Climate Change Impacts on Hydrological Processes and Sediment Dynamics: Measurement, Modelling and Management*, серия Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences, место издания Springer Nature Switzerland AG Cham, Switzerland, с. 29-33, 2019.

Публикации автора представляют интерес для широкого круга специалистов в области численного моделирования русловых процессов и опасных гидрологических явлений. В представленных работах приведены все научные результаты, полученные автором в рамках диссертационного исследования.

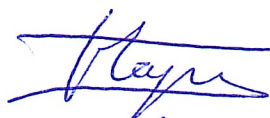
Выводы

Комиссия, рассмотревшая диссертационную работу Т.А. Федоровой, считает, что она может быть представлена к защите в Диссертационный совет 24.1.040.01 при Институте водных проблем РАН, поскольку отвечает требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям по специальности 1.6.16 «Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия», посвящена актуальной теме, содержит новые, научно значимые результаты, имеет очевидную практическую применимость. Работа выполнена диссертантом самостоятельно.

Высказанные при обсуждении замечания рекомендуется учесть при подготовке доклада к защите.

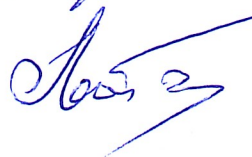
Члены комиссии:

Главный научный сотрудник ИВП РАН,
д.г.н.



Б.И. Гарцман

Главный научный сотрудник ИВП РАН,
д.г.н.



Ю.Г. Мотовилов

Старший научный сотрудник ИВП РАН,
к.г.н.



И.Н. Крыленко