

*Р. В. Романовский*¹✉

Наработка опыта в организации полевых работ для целей двумерного моделирования речной гидравлики р. Углегорка (о. Сахалин)

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет,
г. Томск, Российская Федерация
ООО "Восточная Горнорудная Компания", пгт. Шахтерск, Российская Федерация
e-mail: keny146@gmail.com

Аннотация. Для получения качественных результатов при двумерном моделировании речной гидравлики рек, изученных в гидрологическом отношении слабо, необходим определенный набор исходных данных, который позволит полноценным образом произвести калибровку и верификацию модели на этапе ее создания. В данной статье рассмотрен вариант стратегии организации полевых топографических, гидрографических работ и режимных гидрологических наблюдений, основанный на обобщенном опыте автора в области имитационного моделирования. Исходя из опыта работы с двумерной моделирующей системой HEC-RAS, руководствуясь технической документацией на данный расчетный комплекс и опытом других исследователей, автор предлагает подход к организации полевых работ на примере участка р. Углегорка (о. Сахалин), который берет в расчет технические возможности и ограничения конкретной моделирующей системы и может позволить более рационально подходить к планированию видов и объемов полевых работ.

Ключевые слова: Организация полевых работ; двумерное гидродинамическое моделирование; 2D моделирование речной гидравлики; моделирующая система HEC-RAS; подход к организации полевых работ

*R. V. Romanovskiy*¹✉

Gaining experience in organizing field work for two-dimensional modeling of river hydraulics in the Ulegorka river (Sakhalin Island)

¹National research Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation
LLC "Eastern Mining Company," Shakhtersk, Russian Federation
e-mail: keny146@gmail.com

Abstract. In order to obtain qualitative results in two-dimensional modeling of river hydraulics of poorly studied rivers (in hydrological terms), a certain set of input data, which will allow to fully calibrate and verify the model at the stage of its creation, is required. This article considers a strategy of organization of field topographic and hydrographic works, and routine hydrological observations based on the author's generalized experience in the field of simulation modeling. Taking into account his experience of work with the HEC-RAS two-dimensional modeling system, the technical documentation for this calculation complex, and the experience of other researchers, the author suggests a method of organizing field work on the example of the Ulegorka River site (Sakhalin Island). This method takes into account the technical capabilities and limitations of a particular modeling system and can provide a more rational approach to planning the types and amount of field work.

Keywords: organization of field work; two-dimensional hydrodynamic modeling; two-dimensional modeling of river hydraulics; the HEC-RAS modeling system; approach to organizing field work

Введение

Создание гидродинамических моделей участков рек для решения прикладных задач, возникающих на этапе проведения проектно-изыскательских работ сопряжено с разрешением ряда вопросов организационно-технического характера, одним из которых является задача определения стратегии моделирования [1].

Основной массив исходных данных, в случае создания гидродинамических моделей, добывается путем производства полевых топографических, гидрографических и режимных гидрологических работ и наблюдений, которые являются наиболее ресурсозатратным этапом всей работы. В этом контексте крайне важной является правильная оценка имеющихся возможностей и ресурсов организации, а также сбалансированное планирование необходимых работ.

Важность полевого этапа работ по моделированию неоднократно отмечена в работах сотрудников кафедры гидрологии НИ ТГУ, например в работе [2] применительно к задачам исследования динамики потока и русловых процессов, или в работе [3], где модели применялись в контексте исследования заторов на реках.

В связи с этим, а также по причине недостаточной разработанности данной темы, автор считает полезным осветить персональные наработки в области планирования полевых работ для моделирования участка р.Углегорка (о.Сахалин).

Исследуемый участок реки и задачи моделирования

В административном отношении участок работ (рис.1) расположен на Западном побережье центральной части о.Сахалин, МО "Углегорский муниципальный район", Сахалинской области.

Научно-исследовательская работа (НИР) по созданию гидродинамической модели участка р.Углегорка проводится в рамках научного сопровождения для проекта инженерной защиты карьерной выемки от негативного воздействия поверхностных вод. Предполагаемая область моделирования имеет протяженность около 10 км и ширину в наиболее широкой части до 4 км. По классификации, предложенной В.В. Беликовым [4], данный участок можно отнести к классу коротких участков. Исследуемый участок реки расположен более чем в 20-ти км выше по течению от устьевой части и его можно отнести к внутренним участкам рек. Территория острова Сахалин считается одним из наиболее опасных регионов нашей страны в контексте паводковой опасности [5].



Рис. 1. Контур предполагаемой области моделирования на спутниковом снимке местности (ГП – гидрологический пост, ГС 1 и 2- гидрологические створы для временных наблюдений за режимом реки)

Лимитирующей фазой водного режима по объему стока является весеннее половодье, такая ситуация характерна для большинства рек района [6]. Участок, для которого планируется моделирование, согласно уточненному в работе В.Е. Беликова [7] гидрологическому районированию территории о.Сахалин, относится к Центральному или Тымовскому району.

Определение стратегии моделирования участка реки

В используемой автором моделирующей системе HEC-RAS, для двухмерного моделирования используются 4 типа внешних граничных условий [8], которые задаются по внешнему периметру области моделирования:

- 1) Гидрограф отметок уровней воды (stage hydrograph);
- 2) Гидрограф расходов воды (flow hydrograph);
- 3) Нормальная глубина (normal depth);
- 4) Кривая зависимости расхода от уровня воды (rating curve).

Внутренних граничных условий, которые могут задаваться внутри области моделирования, в данной системе существует 2 вида:

- 1) Гидрограф расходов воды (flow hydrograph);
- 2) Атмосферные осадки (precipitation).

В качестве потенциальных вариантов граничных условий в будущей стратегии моделирования могут быть выбраны следующие:

- 1) Входной створ - гидрограф расходов воды, выходной створ - нормальная глубина;
- 2) Входной створ - гидрограф расходов воды, выходной створ - гидрограф отметок уровней воды;
- 3) Входной створ - гидрограф расходов воды, выходной створ - кривая зависимости расхода от уровня воды.

Вариант 1 в конкретном случае оказывается неприемлем, так как данное граничное условие (нормальная глубина) работает адекватно только в том случае,

когда выходной створ отодвинут от области моделирования вниз по течению на довольно значительное расстояние [9, 10]. Для его использования необходимо производить дополнительную топографическую съемку местности.

Варианты 2 и 3 задают условия на верхней и нижней границах моделируемой области достаточно строго, а необходимости в дополнительной дорогостоящей досъемке местности не возникает.

Поэтому, в качестве потенциальных вариантов граничных условий, можно определить варианты 2 и 3 и планировать полевые работы исходя из этого выбора.

Планирование полевых работ

Техническим заданием на проведение работ по моделированию для подготовки и сбора данных определен годовой период с ноября 2024 г. по ноябрь 2025 г. включительно.

Топографические работы. Топографическая съемка местности (пойма и прилегающая территория) будет производиться при помощи технологии лидарной съемки БПЛА (беспилотный летательный аппарат) DJI Matrice 300 RTK или его аналогом. Руслевая съемка должна быть произведена профессиональным эхолотом с гидролокатором бокового обзора и встроенным модулем GPS.

По завершению этапа гидрографических работ (руслевая съемка эхолотом) и обработки данных, две ЦМР – руслевая и прилегающей местности, должны быть сшиты в единую рабочую ЦМР, на основе которой и будет далее разрабатываться гидродинамическая модель.

Исследуемая река Углегорка по классификации Б.Д. Зайкова может быть условно отнесена к группам рек "с половодьем в теплую часть года и типу "дальневосточный". Данный вывод можно сделать исходя из формы ее гидрографа (рис.2). В течение отведенного на сбор данных периода выполнять топографические работы методом лидарной съемки целесообразно в период, во-первых, низкой водности реки, во-вторых, минимального количества растительности. Исходя из анализа гидрографа реки, оптимальным периодом для исследуемой реки будет апрель-май, когда местность уже освободится от снежного покрова, а редкая растительность позволит получить более точную ЦМР. Работы по руслевой съемке будет возможным выполнить только после полного схода льда и снижения уровней воды до безопасных значений, а это период с первой декады июня по начало ноября, за исключением дождевых паводков.



Рис. 2. Гидрограф уровней воды р.Углегорка – с.Краснополье за 2009 г.

Наблюдения за расходами и уровнями воды, является крайне важным этапом для создания адекватной модели. Исходя из имеющихся границ области моделирования и положения ведомственного поста Росгидромета, были определены два гидрологических створа – гидроствор 1 и гидроствор 2 (ГС-1 и ГС-2). Располагать их целесообразно в районе предполагаемых входного и выходного створов будущей модели (рис.1).

Ведомственный гидрологический пост (ГП) на р.Углегорка расположен в с. Краснополье и на нем велись наблюдения с 04.08.1947 г., однако, наблюдения за расходами воды, проводившиеся в период с 1952 по 1996 гг., имеют ряд пропусков внутри этого периода, что впоследствии потребует работ по восстановлению ряда данных [11]. Расположен пост в 3 км выше гидроствора ГС-1 и в 1,3 км выше входного створа участка моделирования. Исходя из расположения гидрологического поста ГП, значения уровней воды и расходов можно будет непосредственно переносить во входной створ модели (для уровней с учетом уклона водной поверхности) и использовать в качестве граничных условий.

Стратегия моделирования, в части граничных условий, будет основываться на создании модельного гидрографа уровней воды или расходов в верхнем створе. Для данной цели запланированы режимные наблюдения за расходами и уровнями по гидроствору ГС-2, а также измерения уклонов водной поверхности от гидропоста (ГП) до гидроствора ГС-2 в разные фазы водного режима.

Наблюдения за ледовыми явлениями (рис.3) необходимы, чтобы перед началом этапа моделирования хорошо представлять характер их развития. В том случае, если имеют место факторы заторообразования, участки образования заторов должны быть зафиксированы на местности и при калибровке модели в этих областях будут подбираться отличные от табличных коэффициенты шероховатости, чтобы учесть влияние затора в двумерной модели.



Рис. 3. Визуальные наблюдения за ледовыми явлениями на моделируемом участке р.Углегорка – забереги (а) и процесс установления ледостава (б) осенью.

Опрос местных жителей или сотрудников предприятия должен быть запланирован при наличии такой возможности (если район исследований обитаем). В случае исследуемого участка р.Углегорка подобный опрос будет организован как из числа жителей ближайшего с.Краснополье, так и среди сотрудников угледобывающего предприятия, указанные сведения должны быть зафиксированы на местности при помощи геодезического оборудования.

Результаты

На примере подготовительных работ по моделированию участка р.Углегорка в моделирующей системе НЕС-RAS 6.5 намечен метод планирования объемов полевых работ на начальной стадии, он представлен в табличной форме ниже (табл.1).

Таблица 1

Виды и объемы необходимых полевых работ в зависимости от типа граничных условий модели

Тип выбираемых граничных условий		
№1	№2	№3
Необходимые полевые работы		
1. Топографическая съемка моделируемого участка + 1-2 длины участка ниже выходного створа	1. Топографическая съемка только моделируемого участка	1. Топографическая съемка только моделируемого участка
2. Нивелирование продольных уклонов водной поверхности от ГП до ГС-2 (который будет смещен на 1-2 длины участка)	2. Нивелирование продольных уклонов водной поверхности от ГП до ГС-2	2. Нивелирование продольных уклонов водной поверхности от ГП до ГС-2
3. Организация режимных наблюдений за расходами и уровнями воды на ГС-1 и ГС-2 в течении, как минимум, годового периода	3. Организация режимных наблюдений за расходами и уровнями воды на ГС-1 и ГС-2 в течении, как минимум, годового периода	3. Организация режимных наблюдений за расходами и уровнями воды на ГС-1 и ГС-2 в течении, как минимум, годового периода
4. Организация визуальных и, при необходимости, инструментальных наблюдений за ледовым режимом	4. Организация визуальных и, при необходимости, инструментальных наблюдений за ледовым режимом	4. Организация визуальных и, при необходимости, инструментальных наблюдений за ледовым режимом
5. Организация опроса местных жителей или сотрудников предприятия	5. Организация опроса местных жителей или сотрудников предприятия	5. Организация опроса местных жителей или сотрудников предприятия
6. Определение коэффициентов шероховатости при рекогносцировочном обследовании и их картирование	6. Определение коэффициентов шероховатости при рекогносцировочном обследовании и их картирование	6. Определение коэффициентов шероховатости при рекогносцировочном обследовании и их картирование

Как видно из таблицы 1, объем работ для выбранных граничных условий №№ 2-3 является идентичным, а граничные условия по типу №1 для рассматриваемой ситуации являются неприемлемыми ввиду достаточно значительных объемов по дорогостоящей топографической съемке, которую нужно будет выполнить, чтобы данный метод работал корректно и давал точные результаты.

Заключение и обсуждение

Единого рецепта для всех ситуаций не существует и в каждом отдельном случае специалист, который занимается моделированием, должен исходить, во-первых, из поставленных перед ним задач, во-вторых, определить инструмент моделирования – моделирующую систему, коих на сегодняшний день существует множество, как коммерческих, так и бесплатных, а в-третьих, четко осознавать необходимые силы и средства, которые нужно будет затратить изыскательской организации для решения поставленной задачи.

При планировании полевых работ необходимо, в первую очередь, учитывать возможности используемой моделирующей системы, и еще на предварительном этапе определиться с будущей стратегией моделирования, от нее будет зависеть объем полевых изысканий.

Также, необходимо уделять особое внимание проведению качественного предварительного сбора исходных данных и материалов изысканий и исследований прошлых лет, могущих помочь в создании модели, в том числе поиск и оценку глобальных цифровых моделей рельефа на исследуемую территорию, сбор архивной гидрометеорологической информации по гидрологическим постам системы Росгидромет или иным ведомственным постам, запрос имеющихся данных у заказчика работ.

Благодарности

Автор выражает благодарность научному руководителю Земцову Валерию Алексеевичу, профессору кафедры гидрологии Национального Исследовательского Томского Государственного Университета, за помощь и консультации при написании данной публикации.

Настоящая публикация использует материалы работ, выполняемые автором по заказу ООО "Восточная Горнорудная Компания" (пгт. Шахтерск). В связи с этим, автор благодарит руководство компании за предоставленную возможность работать над данным проектом и разрешение на использование материалов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алабян А. М., Крыленко И. Н., Лебедева С. В., Панченко Е. Д. Мировой опыт численного моделирования динамики потока в устьях рек // Водные ресурсы. – 2022. – Том 49. – № 5. – С. 552-567.
2. Земцов В.А., Вершинин Д.А., Инишев Н.Г. Исследования в области динамики потоков, стока наносов и русловых деформаций на сибирских реках методом компьютерного моделирования // Тридцатое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. доклады и краткие сообщения. Межвузовский научно-координационный совет по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов при МГУ. – 2015. – С. 59-72.
3. Земцов В.А., Вершинин Д.А., Инишев Н.Г. Имитационное моделирование заторов (на примере р. Томь, Западная Сибирь) // Лёд и Снег. – 2014. – № 3 (127). – С. 59-68.
4. Беликов В. В., Алексюк А. И., Борисова Н. М., Васильева Е. С., Глотко А. В. Опыт численного гидродинамического моделирования протяженных участков рек // Водные ресурсы. – 2023. – Том 50. – № 4. – С. 367-384.

5. Третьи виноградовские чтения. Грани гидрологии : Сборник докладов международной научной конференции памяти выдающегося русского гидролога Юрия Борисовича Виноградова / СПб. гос. ун-т ; [под ред. О.М. Макарьевой]. Санкт-Петербург : Изд-во Научное издание технологий. – 2018. – 982 с. URL : <http://publishing.intelgr.com/archive/hydrology-facets.pdf>.
6. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 18. Дальний Восток. Выпуск 4. Сахалин и Курилы. – Л : Гидрометеиздат, 1973 г. – 263 с.
7. Беликов В.Е., Католикова Н.И. Водный режим как фактор руслоформирования (на примере рек Сахалина) // Метеорология и гидрология. – 2008. – №1. – С.90-97.
8. US Army Corps of Engineers. HEC-RAS River analysis system. 2D Modeling user's manual. Version 5.0., 2016. – 171 p.
9. US Army Corps of Engineers. HEC-RAS Hydraulic Reference Manual. Version 6.0 Beta, 2020. – 520 p.
10. Two-Dimensional Hydraulic Modeling for Highways in the River Environment. Reference Document – 2019: Reference document / U.S. Department of transportation Federal Highway Administration., 2019.
11. СП 529.1325800.2023. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. Введ. 12.10.2023. М.: Минстрой России, 2023. – 118 с.

© *Р. В. Романовский, 2025*