

УДК 631.67

Канд. с.-хоз. наук В.Д. Гостищев<sup>1</sup>  
Т.С. Пономаренко<sup>1</sup>  
А.Н. Рыжаков<sup>1</sup>  
А.В. Бреева<sup>1</sup>

### ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОХОЖДЕНИЯ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ В РУСЛЕ РЕКИ ТЕМЕРНИК

**Ключевые слова:** максимальный расход, сток, бассейн реки, расчетный створ, гидродинамическая модель, верификация

*В статье представлены результаты гидрологических расчетов максимальных расходов с учетом морфологических особенностей реки Темерник. Рассмотрена методика, позволяющая детализировать определение исходных данных для гидродинамической модели. Представлены результаты верификации компьютерной гидродинамической модели. Графически изображена методика вынесения границ зон затопления, определенных в одномерной гидродинамической модели в план. Данные исследования позволили провести объективную оценку реальной ситуации на реке и разработать ряд предложений, дальнейшая реализация которых позволит улучшить экологическую ситуацию на данном объекте.*

**Введение.** Малые реки в зоне степей являются основными источниками водоснабжения населенных пунктов, промышленности и сельскохозяйственного производства. В условиях полусухого климата, характеризующегося малоснежной зимой и продолжительным жарким летом, экологическое состояние малых рек приобретает жизненно важное значение. Они, являясь начальными звеньями гидрографической сети, формирующими более крупные реки, в то же время наиболее чутко реагируют на прямые антропогенные воздействия (водозабор, сброс).

В России вопросами изучения проблем малых рек в разные годы занимались многие ученые. Гидрологическая изученность малых рек и особенностей их режима отражены в работах Б.В. Полякова [1], К.П. Воскресенского, М.И. Львовича, А.И. Субботина, В.Е. Водограцкого и др.

---

<sup>1</sup> ФГБНУ «РосНИИПМ», г. Новочеркасск, Ростовская область, Россия.

Географическому аспекту малых рек посвящены работы Г.Н. Петрова, Ф.Н. Милькова, С.Л. Вендрова, Р.С. Чалова и др. Вопросы комплексного использования и охраны малых рек решаются в работах В.С. Лапшенкова, А.М. Черняева [2], А.Е. Косолапова. Следует отметить появившиеся в последнее десятилетие работы по малым рекам с учетом экологического аспекта В.Ф. Бреховских [3], Л.В. Волкова, А.Н. Попова, В.Г. Дубининой, Т.Е. Павлюка, М.М. Мордвинцева [4] и др.

Исследования и практика восстановления малых рек за рубежом наиболее полно отражены в книге американских ученых под редакцией Д.А. Гора, которая была переведена на русский язык в 1989 г. Также гидрологическими вопросами занимались Г. Херст, Р. Шрейбер, Р.Е. Хортон [5].

Не меньшие изменения в гидрологическом цикле малых рек вызывают изменения ландшафта, связанные с градостроительством и сопутствующим ему устройством всевозможных инженерных сооружений (связанных с производством земляных работ по выемке и насыпи), а также прокладкой всевозможных подземных и наземных коммуникаций (каналов, трубопроводов и т.п.).

Возведение зданий, покрытие асфальтом улиц, площадей, дорог, создание водопроводной, дренажной и канализационной систем приводит к коренным преобразованиям процесса инфильтрации, поверхностной аккумуляции воды, а, следовательно, и режима стока и соотношений между его поверхностной и грунтовой составляющими. Подробные исследования данного вопроса были проведены еще в 70-х годах 20 века В.В. Куприяновым. [6] Также данное направление исследовали Л.К. Давыдов, Д.Я. Раткович, Н.И. Коронкевич [7].

В настоящее время в Ростовской области множество малых рек подверглось деградации вследствие антропогенного воздействия, которое повлияло на характер изменения поверхностного стока с водосбора, а недостаток гидрологических наблюдений, в связи с отсутствием гидрометрических пунктов, еще более усложняет изучение данного процесса. Одной из таких рек является Темерник.

Река Темерник – степная река, протекающая в Ростовской области и являющаяся правым притоком реки Дон. Длина реки – 35,5 км, из них 18 км по территории г. Ростова-на-Дону. Средний уклон русла реки 2,3 ‰, ширина русла в среднем до 10 м, глубина – 0,3...0,8 м.

Река является естественным приемником поверхностного стока с городской и прилегающей к городу местности, площадь водосбора 293 км<sup>2</sup>.

Участок исследования включает часть русла р. Темерник от истока до Низового Водоохранилища, общей протяженностью 20,3 км и площадью водосбора 110 км<sup>2</sup> (рис. 1).

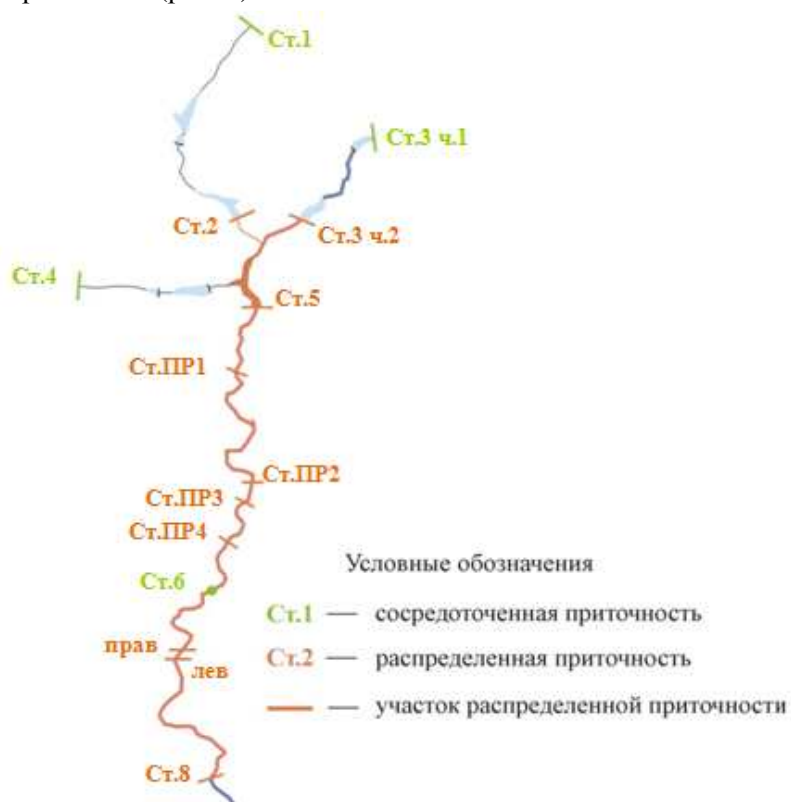


Рис. 1. Картографическая схема гидрографии и расчетных створов исследуемого участка р. Темерник.

Общая протяженность обследуемых балок боковой приточности (б. Старый Колодец, б. Хавалы, б. Краснокрымская, б. Офицерская) составляет 16 км. Территория водосборной площади исследуемого участка р. Темерник в значительной степени застроена жилыми и промышленными строениями, процент застройки составляет порядка 25 % от всего водосбора. Боковая приточность исследуемого участка реки сильно зарегулирована подпорными гидроузлами, создающими водохранилища, которые задерживают значительный объем годового стока. Всего на исследуемом участке имеется восемь основных водохранилищ общим объемом более 1 млн. м<sup>3</sup>.

**Материалы и методы.** Основными задачами данного исследования являлось определение значений максимальных расходов и проведение сценарных исследований их прохождения для установления возможных

границ и площадей затопления. Данные задачи решены при помощи расчетных методов и гидродинамического моделирования.

Для данного участка реки последние гидрометрические наблюдения фиксировались в 60-х годах 20 века, поэтому они не могли быть использованы для расчета, в связи с чем, расчет выполнен по методике, применяющейся в случае отсутствия данных наблюдений. Гидрологические расчеты проводились в соответствии с требованиями СП 11-103-97 [8], СП 33-101-2003 [9], а также пособия по определению расчетных гидрологических характеристик [10].

Основной особенностью данной реки является различие между водосборной территорией, прилегающей к различным берегам. Так в верхней части реки водосбор, прилегающий к левому берегу (по течению) более пологий, тогда как правый имеет более высокие отметки. Также отличия наблюдается в проценте застроенности территории. Чтобы учесть данный факт в гидродинамической модели и обеспечить сценарные исследования наиболее близкими к реальным, максимальные расходы определены по следующей методике. Расчетные створы определены в местах, где правый и левый водосборы по одноименным берегам имеют однородные высоты (рис. 2). Затем для каждого створа определены основные исходные данные, используемые для расчета максимальных расходов (площадь, уклон, процент застроенности и так далее). Эти данные отдельно определены для левого и правого водосборов. Полученные в результате расчета максимальные расходы для каждого из водосборов, позволили в дальнейшем детализировать сценарий моделирования.

Задача по установлению границ периодически затапливаемых территорий решена при помощи гидродинамической модели. Для получения исходных данных проведены инженерно-геодезические изыскания с применением современного высокоточного оборудования. Гидродинамическая модель разработана в программном комплексе MIKE 11.

**Результаты.** Установлено, что на участке исследований максимальные расходы весеннего половодья (табл. 1) превышают максимальные расходы дождевых паводков, поэтому их значения легли в основу сценарных исследований.

Полученные гидрологические данные были использованы для определения граничных условий модели. В качестве граничных условий использовались временные ряды среднесуточных расходов максимального половодья в расчетных створах на заданные вероятности превышения стока.

Таблица 1

## Характеристика расчетных створов

| Местоположение                | Площадь водосбора, км <sup>2</sup> | Максимальный расход, м <sup>3</sup> /с |      |      |      |      |
|-------------------------------|------------------------------------|--|------|------|------|------|
|                               |                                    | 1                                      | 3    | 5    | 10   | 25   |
|                               | Створ 1                            |  |      |      |      |      |
| б. Старый Колодец, ПК 34+82 м | 13,02                              | 4,96                                   | 2,72 | 2,14 | 1,41 | 0,74 |
|                               | Створ 2                            |  |      |      |      |      |
| б. Старый Колодец, ПК 61+45 м | 9,02                               | 4,8                                    | 2,62 | 2,07 | 1,36 | 0,71 |
|                               | Створ 3 ч. 1                       |  |      |      |      |      |
| р. Темерник, ПК 7+12 м        | 9,52                               | 6                                      | 3,27 | 2,58 | 1,69 | 0,88 |
|                               | Створ 3 ч. 2                       |  |      |      |      |      |
| р. Темерник, ПК 17+96 м       | 3,63                               | 1,64                                   | 0,90 | 0,71 | 0,46 | 0,24 |
|                               | Створ 4                            |  |      |      |      |      |
| б. Хавалы, ПК 29+20 м         | 8,02                               | 5,82                                   | 3,2  | 2,51 | 1,65 | 0,86 |
|                               | Створ 5                            |  |      |      |      |      |
| р. Темерник, ПК 45+00 м       | 8,01                               | 2,58                                   | 1,41 | 1,11 | 0,73 | 0,38 |
|                               | Створ ПР. 4                        |  |      |      |      |      |
| р. Темерник, ПК 63+78 м       | 8,54                               | 6,24                                   | 3,84 | 3,03 | 2,00 | 1,04 |
|                               | Створ ПР. 3                        |  |      |      |      |      |
| р. Темерник, ПК 100+7 м       | 11,08                              | 9,10                                   | 5,60 | 4,42 | 2,91 | 1,52 |
|                               | Створ ПР. 2                        |  |      |      |      |      |
| р. Темерник, ПК 114+95 м      | 7,59                               | 6,01                                   | 3,75 | 2,96 | 1,95 | 1,02 |
|                               | Створ ПР. 1                        |  |      |      |      |      |
| р. Темерник, ПК 121+48 м      | 2,75                               | 2,7                                    | 1,7  | 1,31 | 0,86 | 0,45 |
|                               | Створ 6                            |  |      |      |      |      |
| 1,7 км от устья б. Офицерская | 4,14                               | 2,83                                   | 1,94 | 1,53 | 1,01 | 0,53 |
|                               | Створ правая ВП                    |  |      |      |      |      |
| р. Темерник, ПК 160+8         | 7,27                               | 5,38                                   | 2,94 | 2,32 | 1,53 | 0,80 |
|                               | Створ левая ВП                     |  |      |      |      |      |
| р. Темерник, ПК 160+9         | 5,57                               | 4,27                                   | 2,34 | 1,84 | 1,21 | 0,63 |
|                               | Створ 8                            |  |      |      |      |      |
| р. Темерник, ПК 204+12 м      | 8,23                               | 9,39                                   | 6,43 | 5,08 | 3,35 | 1,75 |

Для объективной работы модели в различных створах приток задан разными условиями, максимально приближенными к реальным:

- приток с водосборной площади в створах 2, 3 ч. 2, 5, ПР. 4, ПР. 3, ПР. 2, ПР. 1, 8 задан распределением по длине участка;
- в створах 1, 3 ч. 1, 6 точно.

Приток со всех прилегающих балок, не отображенных в модели визуалью, также учтен.

Верификация модели проведена путем сопоставления расчетных среднесуточных расходов с данными, полученными при моделировании на вероятность превышения стока 1 %. Для этого были определены контрольные створы, расчет которых получен при проведении теоретических вычислений без учета особенностей правого и левого водосборов. Данные расходы сопоставлены с результатами, полученными в модели (табл. 2).

Таблица 2

| Створ | Максимальный расход, м <sup>3</sup> /с |               |
|-------|--|---------------|
|       | расчетный                              | данные модели |
| 1     | 4,96                                   | 4,05          |
| 2     | 11,56                                  | 7,46          |
| 3     | 7,76                                   | 7,5           |
| 4     | 5,82                                   | 5,8           |
| 5     | 31,5                                   | 17,79         |
| 6     | 2,83                                   | 2,8           |
| 7     | 42,2                                   | 36,0          |
| 8     | 77,01                                  | 53            |

В четырех створах сходимость показателей 100 %. Незначительные расхождения расходов в створах 2, 7 и значительные в створах 5, 8, обусловлены наличием следующих факторов, влияние которых не учитывает теоретический расчет: работа водохранилищ, наличие мостов и переездов, шероховатость русла, а также распределение приточности по длине участка. Результаты верификации подтверждают соответствие разработанной модели фактическим параметрам реки и как следствие возможности использования ее для дальнейших расчетов.

В результате моделирования установлены уровни (абсолютные отметки) воды в русле р. Темерник, по которым определены границы периодически затопляемых территорий на расчетные проценты обеспеченности.

Основным морфологическим параметром одномерной гидродинамической модели являются поперечные сечения реки. Для определения границ зон затопления из модели была получена максимальная отметка уровня воды и плановое положение границ вероятного затопления на заданную обеспеченность в каждом поперечном сечении. Данное расстояние с учетом рельефа и максимальной отметки уровня воды было вынесено в соответствии с местоположением поперечника в план. Методом интерполяции были определены и нанесены на картографическую основу границы вероятных зон затопления. При длине реки 20 км в модели использовано порядка 200 поперечных сечений. Это позволило довольно детально опре-

делить границы вероятного затопления. Процесс определения границ данных территорий в плане представлен на рис. 2.



Рис. 2. Определение границ периодически затопляемых территорий.

В результате анализа полученных материалов, выявлено, что на некоторых участках реки в связи со слабовыраженной русловой частью в случае прохождения максимальных расходов пойма окажется затоплен-

ной, а так как в настоящее время большая часть прибрежной территории застроена – это может нанести серьезный материальный, социальный и экологический ущерб.

Согласно данным моделирования общая площадь затапливаемой территории составит: на 1 % – 2,77 км<sup>2</sup>, на 5 % – 2,09 км<sup>2</sup>, на 10 % – 1,66 км<sup>2</sup>, на 25 % – 0,7 км<sup>2</sup>.

**Обсуждение и заключение.** В результате проведенного комплекса научно-исследовательских и инженерно-изыскательских работ была оценена пропускная способность русла и гидротехнических сооружений (ГТС), расположенных на р. Темерник. Выявлены наиболее сложные участки, на которых возможно затопление. Расчетным методом с использованием компьютерного моделирования Установлены возможные уровни воды при различных вероятностях превышения стока.

Исследования позволили провести объективную оценку потенциально возможных ситуаций на реке и разработать ряд предложений, дальнейшая реализация которых, позволит улучшить экологическую ситуацию на изученном водном объекте, а также минимизировать (исключить) развитие негативных социально-экономических рисков, связанных с затоплением застроенных территорий.

Следует также отметить, что отработанные методики (основанные на совокупности инженерно-геодезических и инженерно-гидрометеорологических работ), позволят научно-обоснованно реализовать Постановление Правительства Российской Федерации от 18.04.2014 № 360 «Об определении границ зон затопления, подтопления». Данная работа по установлению границ зон затопления и подтопления проводится под эгидой Федерального агентства водных ресурсов и утверждена ее руководителем М.В. Селиверстовой 27 февраля 2015 г., а график этих работ по всем областям размещен на официальном сайте Федерального агентства водных ресурсов [12].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поляков Б.В. Гидрологические расчеты при проектировании сооружений на реках малых бассейнов. – М.; Л.: ОНТИ, 1937. – 192 с.
2. Авакян, А.В. Рациональное использование и охрана водных ресурсов: учеб. пособие / А.В. Авакян, В.М. Широков. – Екатеринбург: Виктор, 1994. – 110 с.
3. Бреховских В.Ф., Казмирук В.Д., Казмирук Т.Н. Гидрология: зарастающие мелководья водоемов (мониторинг, обустройство, оценка эко-



- логического состояния) // Инженерная экология: Научно-аналит. журн. – 2001. – № 4. – С. 34-50.
4. Мордвинцев М.М. Речные водохозяйственные системы на малых степных реках. – Ростов н/Д: СКНЦ ВШ, 2001. – 382 с.
  5. Хортон Р.Е. Эрозионное развитие рек и водосборных бассейнов. Гидрофизический подход к количественной морфологии. – М.: Государственное издательство иностранной литературы, 1948. – 158 с.
  6. Куприянов В.В. Гидрологические аспекты урбанизации. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 173 с.
  7. Коронкевич Н.И., Закруткин В.Е., Долгов С.В., Зайцева И.С., Подольский А.Д., Шапоренко С.И. Антропогенные изменения водного компонента окружающей среды в Ростовской области // Изв. РАН. Сер. геогр. – 1999. – № 6. – С. 48-54.
  8. СП 11-103-97. Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства. Утв. приказом Департамента развития научно-технической политики и проектно-изыскательских работ Госстроя России 10.07.97 № 9-1-1/69: введ. в действие с 15.08.97. – М.: 1997. – 32 с.
  9. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. Утв. постановлением Госстроя России № 218 от 26.12.2003. – М.: Госстрой России, 2004. – 85 с.
  10. Шмидт Т.С. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 444 с.
  11. Агентство водных ресурсов: График определения границ зон затопления, подтопления [Электронный ресурс]. – 2015. – URL: <http://favr.ru/regulatory/detail.php?ID=7743> (дата обращения 12.05.2017).

Поступила 14.04.2018

Ауыл.-шар. ғылымд. канд. В.Д. Гостищев  
Т.С. Пономаренко  
А.Н. Рыжаков  
А.В. Бреева

**ТЕМЕРНИК ӨЗЕНІ АРНАСЫНАН ӨТЕТІН МАКСИМАЛДЫ  
АҒЫНЫНЫҢ ГИДРОЛОГИЯЛЫҚ ЕСЕПТЕУЛЕРІ ЖӘНЕ  
КОМПЬЮТЕРЛІК МОДЕЛДЕУ НӘТИЖЕЛЕРІ**

**Түйін сөздер:** максималды ағын, ағын, өзен алабы, есептеу жарма, гидродинамикалық модель, верификация

*Мақалада Темерник өзенінің морфологиялық ерекшеліктері ескерілген, максималды ағынның гидрологиялық есептеулер нәтижелері келтірілген. Гидродинамикалық моделге арналған бастапқы мәліметтерді анықтауды нақтылауға мiмiкiндiк беретiн әдiстеме қарастырылған. Компьютерлiк гидродинамикалық моделдiң верификациялау нәтижелерi келтiрiлген. Су басу аумағының шекараларын бiр өлшемдi гидродинамикалық моделде анықталып жоспарға шығаратын әдiстеме суреттелген. Зерттеу мәліметтері өзендегі нақты жағдайға тура баға беруге және оны ары қарай жүзеге асуыру берілген нысанның экологиялық жағдайын жақсартуға мүмкіндік береді.*

Gostishchev V.D., Ponomarenko T.S., Ryzhakov A.N., Breeva A.V.

### **HYDROLOGICAL CALCULATIONS AND RESULTS OF COMPUTER MODELING OF THE MAXIMUM WATER FLOW IN THE TEMERNIK RIVER**

**Key words:** hydrological calculations, maximum flow, runoff, river basin, calculated target, hydrodynamic model, verification

*The article presents the results of hydrological calculations of maximum water flow, taking into account the morphological features of the Temernik river. A technique is considered that allows one to detail the definition of the initial data for the hydrodynamic model. The results of verification of the computer hydrodynamic model are presented. Graphically depicts the technique of making the boundaries of the flood zones defined in the one-dimensional hydrodynamic model in the plan. These studies made it possible to carry out an objective assessment of the actual situation on the river and develop a number of proposals, the further implementation of which will improve the ecological situation at the Temernik river.*