

УДК 551.436:004.94+528.94

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ СРЕДСТВАМИ ArcGIS 9.3

Кацавцева А. Ю., Шипулин В. Д.

*Харьковская национальная академия городского хозяйства,
E-mail: anna.shtykh@gmail.com, vshypulin@yahoo.com*

Разработан алгоритм моделирования водосборных бассейнов на базе цифровой модели рельефа средствами Spatial Analyst Tools программного обеспечения ArcGIS 9.3. Проанализирована зависимость количества водотоков-звеньев от значения кумулятивного стока. Полученная функция может применяться для моделирования водосборных бассейнов различной степени детализации.

Ключевые слова: цифровая модель рельефа, гидрологическое моделирование, кумулятивный сток, речной бассейн.

ВВЕДЕНИЕ

Разделение территорий на бассейны рек – одна из наиболее типичных операций в гидрологических и экологических исследованиях. Речные бассейны могут выступать в качестве основной территориальной единицы при районировании территорий, оценке интенсивности эрозионных процессов и др. Применение бассейнового подхода географически и экологически обосновано (бассейн – природная и нередко природно-хозяйственная система, экосистема в природных, естественных границах) [1].

Под речным бассейном понимают часть суши, с которой поверхностные воды поступают в русло реки. Любая эрозионная форма обладает своим бассейном стока поверхностных вод или водосбором. Водосборы различных рек (водотоков) ограничены друг от друга водоразделами. В речные бассейны иногда включают ещё и толщу грунтов, из которых подземные воды поступают в ту же реку, поэтому можно говорить о поверхностном и подземном водосборах рек [2].

В дальнейшем изложении подходов разграничиваются понятия "река" и "водоток". В энциклопедическом географическом словаре «Понятия и термины» (1988) прилагается следующее определение: Река – естественный водный поток, текущий в выработанном им русле, питающийся за счёт стока с его водосбора. С понятием река тесно связано понятие водоток. В том же словаре это понятие определяется следующим образом: водоток – водный поток с движением воды в направлении уклона в углублении земной поверхности. От понятия река понятие водоток отличается тем, что оно применимо и для естественных потоков воды (рек) и для искусственных (каналов). Обратим внимание на то, что в этих определениях нет никаких ограничений по размерам водосбора. Отсюда вполне допустимо использование термина речной бассейн к водосборам эрозионных форм любого размера [3].

Технологии автоматического разграничения бассейнов рек доступны с середины 80-х годов и были внедрены в различные программные пакеты ГИС и

специализированное программное обеспечение. В геоинформационных системах моделирование речных бассейнов выполняется на базе цифровых моделей рельефа, которые предоставляют высокий уровень информации о рельефе местности [4].

Для качественного описания и численного моделирования гидрологических систем к настоящему времени разработан широкий спектр подходов и соответствующих математических моделей. Тем не менее, указанные подходы не имеют универсального характера и ориентированы на моделирование конкретных речных бассейнов или отдельных процессов, формирующих сток. Необходимость разработки заключается в построении общего алгоритма, пригодного для моделирования речных бассейнов.

1. АЛГОРИТМ МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ

Ниже предлагается алгоритм моделирования речных бассейнов средствами ArcGIS 9.3 на примере территории города Харьковской области (рис. 1). Данный алгоритм предполагает обработку цифровой модели рельефа (ЦМР) функциями гидрологического моделирования, которые встроены в расширение Spatial Analyst Tools.

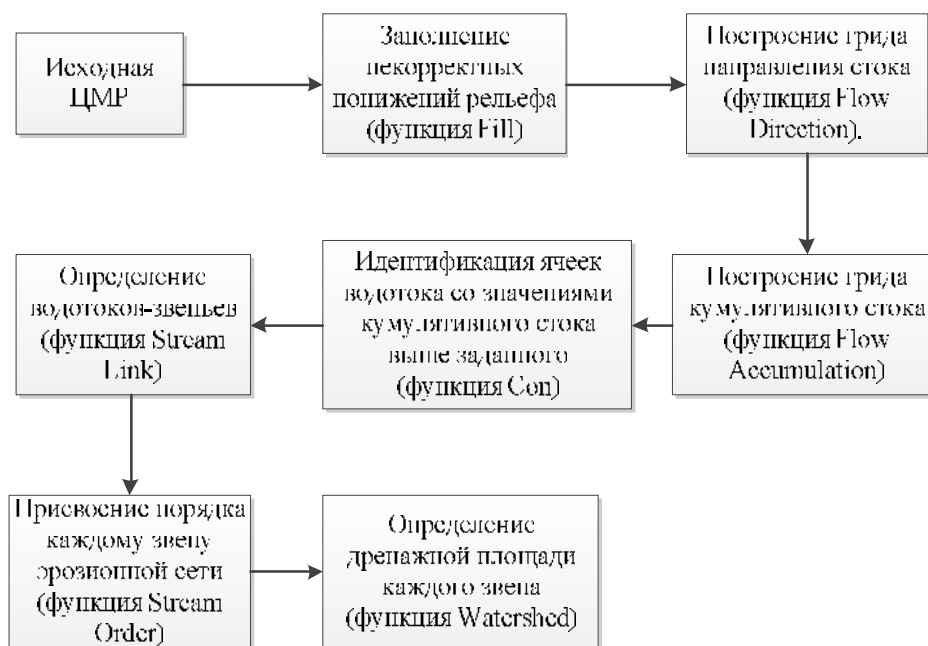


Рис. 1. Алгоритм определения водосборного бассейна реки.

Алгоритм определения водосборного бассейна реки представлен следующими шагами.

Шаг 1. Построение цифровой модели рельефа. Исходными данными послужили топографические планы масштаба 1:2000. В результате оцифровки было получено 4170 горизонталей и 5593 точек с известными высотами. На основании этих данных с помощью модуля 3DAnalyst построена ЦМР как грид с размером ячейки 25 м (рис.2).

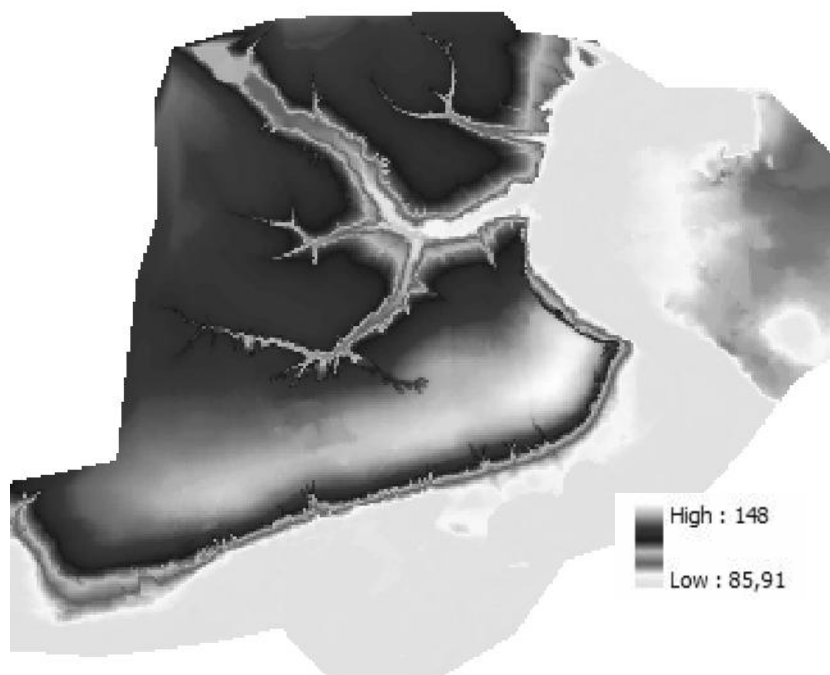


Рис. 2. Цифровая модель рельефа на территорию города

Шаг 2. Заполнение некорректных понижений рельефа. Для заполнения некорректных понижений рельефа применена функция Fill, при помощи которой выполняется коррекция грида, без которой невозможно построение грида кумулятивного стока с адекватными значениями.

Данная функция производит коррекцию значений рельефа до тех пор, пока не заполнятся все стоки в пределах определённого предела Z. Как только стоки заполнятся, становится возможным создание других стоков на границах заполненных территорий, которые будут удалены при следующей итерации.

Наглядно действие данной функции можно проследить при построении раstra кумулятивного стока для одной и той же местности. На рис. 3 представлен грид кумулятивного стока ЦМР, без обработки функцией Fill; на рис. 4 представлен грид кумулятивного стока ЦМР, обработанной функцией Fill.



Рис. 4. Грид кумулятивного стока ЦМР без обработки функцией Fill

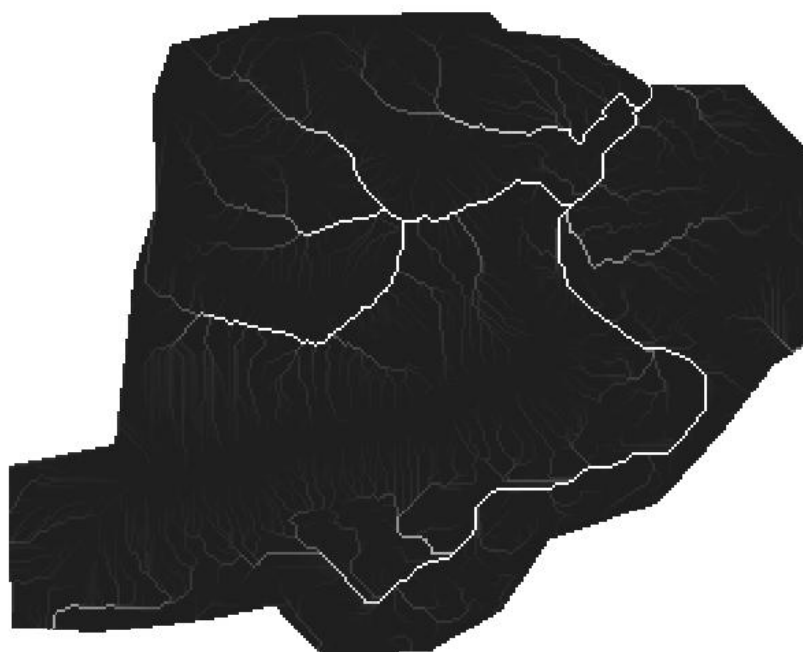


Рис. 3. Грид кумулятивного стока ЦМР, обработанной функцией Fill

Шаг 3. Построение грида направлений стока. Функция Flow Direction позволяет классифицировать направление стока по 8 румбам.

Шаг 4. Построение грида кумулятивного стока функцией Flow Accumulation. Грид кумулятивного стока строится на основании поверхности уклона, т.е. грида направления потоков, полученного на предыдущем шаге.

Шаг 5. Идентификация ячеек водотока со значениями кумулятивного стока выше заданного. На этом этапе выполняется процедура выбора предельного значения кумулятивного стока с помощью инструмента Con. Инструмент Con (сокращение от conditional, что означает «удовлетворяющий условиям») находится в наборе инструментов Условия (Conditional). Функция Con, важная часть команды ArcGrid, необходима для определения корректности значений ячеек входных данных и комплексного контроля выходных данных. Инструмент Con – упрощенная версия этой функции [5].

Шаг 6. Определение водотоков–звеньев функцией Stream Link. Водотоки-звенья – это сегменты канала потоков, связывающих два последовательных узла, узел и точку выхода или узел и точку водораздела.

Шаг 7. Присвоение порядка каждому звену эрозионной сети функцией Stream Order. Каждый водоток, являющийся звеном сети, классифицируется по присвоенному порядку, который зависит от взаимосвязи водотоков.

Шаг 8. Определение дренажной площади каждого звена функцией Watershed. Дренажная площадь или водосборная площадь бассейна водотока вычисляется на основании грида направления потоков и набора водотоков, для которых она вычисляется.

В результате выполнения данного алгоритма представляется возможным построение водосборных бассейнов различного порядка для каждого элемента гидрологической сети на основании ЦМР исследуемой местности.

2. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ

На основании проведенных исследований цифровой модели рельефа установлено, что значения коэффициента кумулятивного стока зависят от количества бассейнов, на которые необходимо разделить речную сеть.

Исследования проведены для значений кумулятивного стока в диапазоне от 25 до 1 300 с шагом 50. Для каждого значения с помощью функции Stream Link рассчитано количество водотоков-звеньев. В результате получили сводную таблицу Microsoft Excel, состоящую из 27 пар значений. На основании этих данных получен график зависимости двух параметров, приведенный на рис. 5.

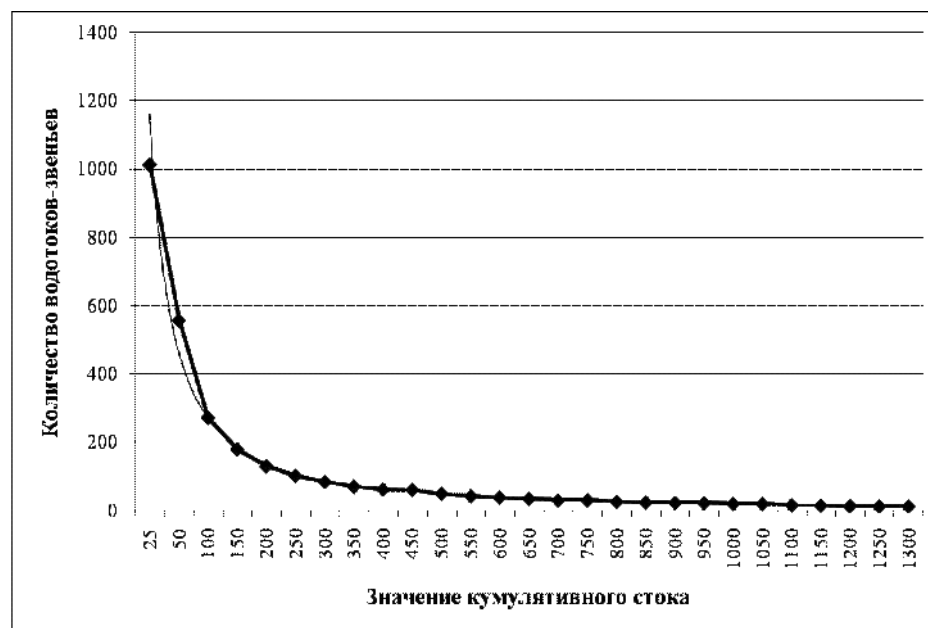


Рис. 5. График зависимости количества водотоков-звеньев от значения кумулятивного стока

На рис. 5 приведен набор практически полученных значений двух параметров и график функции, полученной на основе набора этих данных с помощью инструмента Microsoft Excel «Линия тренда». Полученная функция имеет следующий вид:

$$y = \frac{1162,7}{x^{1,322}} \quad (1)$$

Из графика следует, что при увеличении значения кумулятивного стока более 500 количество водотоков звеньев изменяется незначительно и колеблется от 20 до 14.

Данная зависимость справедлива для моделирования бассейнов водотоков на территории Харьковской области, т.е. территории, рельеф которой представляет собой волнистую равнину, уклон рельефа варьируется до 25 %. Также значение кумулятивного стока зависит от точности исходных данных, на базе которых создавалась ЦМР.

На рис. 6 и 7 приведены примеры разделения водосборной территории на водосборные бассейны для разного количества водотоков-звеньев. На рис. 6 значение кумулятивного стока составляет 500, количество водотоков-звеньев – 51. На рис. 7 значение кумулятивного стока составляет 1 300, количество водотоков-звеньев – 14.

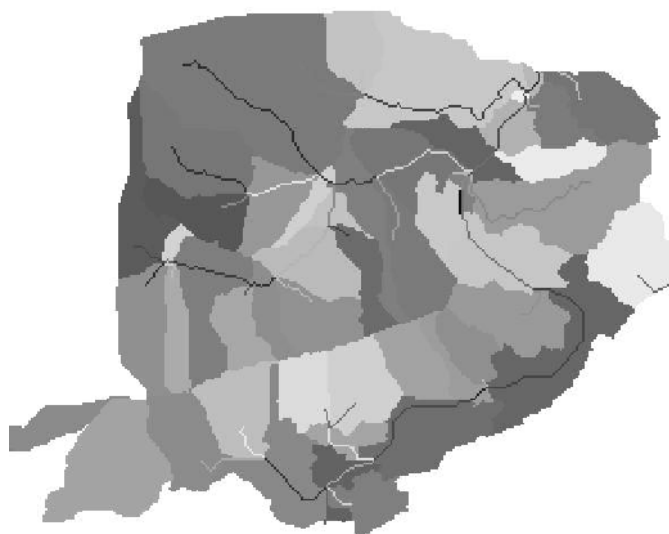


Рис. 6. Разделение водосборной территории на 51 водосборный бассейн

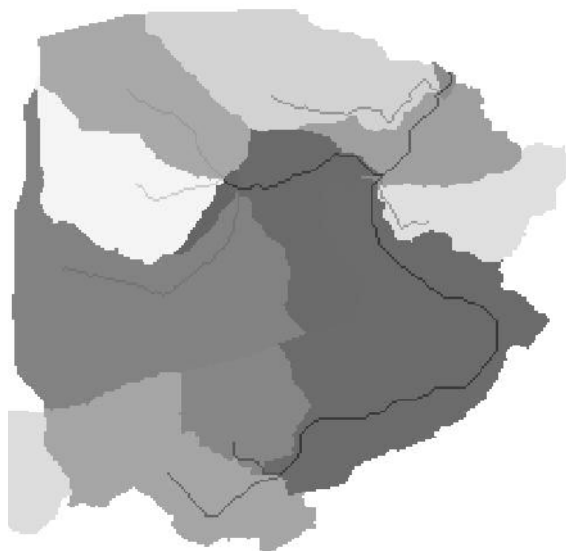


Рис. 7. Разделение водосборной территории на 14 водосборных бассейнов

Таким образом, степень детализации водотоков зависит от значения кумулятивного стока, на который влияют характеристики рельефа, в частности, от уклона местности. Необходимость детализации водотоков главным образом зависит от решаемых задач, одной из которых может быть планирование системы водоотведения.

ВЫВОДЫ

В статье рассмотрен алгоритм построения водосборных бассейнов рек на базе цифровой модели рельефа средствами ArcGIS 9.3. Данный алгоритм реализован на территорию города Харьковской области. Рассмотрена методика выбора предельного значения кумулятивного стока с помощью инструмента Conditional программного обеспечения.

На основании данного подхода получена зависимость предельного значения кумулятивного стока от количества водотоков-звеньев, которая справедлива для моделирования бассейнов водотоков на территории Харьковской области. Данная методика подлежит апробации при моделировании водосборных бассейнов рек на разных категориях рельефа.

Список литературы

1. Павлова А. Н. Геоинформационное моделирование речного бассейна по данным спутниковой съёмки SRTM (на примере бассейна р. Терешки). // Известия Саратовского государственного университета. – 2009. – Т. 9. – С. 39 – 44.
2. Симонов Ю. Г., Симонова Т. Ю. Речной бассейн и бассейная организация географической оболочки. / Ю. Г. Симонов, Т. Ю. Симонова. // Эрозия почв и русловые процессы. – Вып. 14. – 2004. – 201 с., ил.
3. Географический энциклопедический словарь. Понятия и термины / Глав. ред. А. Ф. Трешников. – М.: Сов. энциклопедия, 1988. – 432 с., ил.
4. Djokic D., Zichuan Ye. DEM Preprocessing for Efficient Watershed Delineation / ESRI. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://proceedings.esri.com/library/userconf/proc99/proceed/papers/pap676/p676.htm>. – 10.04.2011.
5. Медведева О. Расширенные возможности пространственного анализа в ArcGIS 9 / ООО «Дата+». [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.dataplus.ru/ARCREV/Number_30/10_modul.htm. – 10.04.2011.

Кашавцева А. Ю. Моделювання річкових басейнів засобами ArcGIS 9.3 / Кашавцева А. Ю., Шипулін В. Д. // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Географія. – 2011. – Т.24 (63). – № 3 – С.85-92.

Розроблений алгоритм моделювання водозбірних басейнів на базі цифрової моделі рельєфу засобами Spatial Analyst Tools програмного забезпечення ArcGIS 9.3. Проаналізована залежність кількості водотоків-ланок від значення кумулятивного стоку. Отримана функція може застосовуватися для моделювання водозбірних басейнів різного ступеню деталізації.

Ключові слова: цифрова модель рельєфу, гідрологічне моделювання, кумулятивний стік, річковий басейн.

Kashchavtseva A. J. Optimization of networks for maintenance of roads by the tools of GIS-analysis / Kashchavtseva A. J., Shypulin V. D. // Scientific Notes of Taurida National V. I. Vernadsky University. – Series: Geography. – 2011. – Vol. 24 (63). – № 3 – P. 85-92.

Watersheds modelling algorithm based on the digital elevation mode is developed with Spatial Analyst Tools included in ArcGIS 9.3 software. Dependence of stream links quantity on the value of accumulated stream is analysed. Resulting function can be used for the modelling of different granularity watersheds.

Keywords: digital elevation model, hydrologic modelling, accumulated stream, watershed.

Поступила в редакцію 13.04.2011 г.